



“Red Temática sobre Aprovechamiento Sostenible de Biomasa
Lignocelulósica mediante Herramientas Biotecnológicas en la Transición a
una Bioeconomía Circular, RED2024-153800-T”



XXI REUNIÓN DE LA RED TEMÁTICA LIGNOCEL

La Cristalera, 29-30 Septiembre del 2025

Miraflores de la Sierra (Madrid)



XXI REUNIÓN DE LA RED TEMÁTICA LIGNOCEL

La Cristalera, 29-30 Septiembre del 2025

Miraflores de la Sierra (Madrid)

La Red Temática LIGNOCEL “Red Temática sobre Aprovechamiento Sostenible de Biomasa Lignocelulósica mediante Herramientas Biotecnológicas en la Transición a una Bioeconomía Circular” está financiada por el programa “Redes de Investigación” en el marco del Programa Estatal de Transferencia y Colaboración, del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2024-2027 (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades).

MICIU/AEI /10.13039/501100011033

La XXI reunión está organizada por el grupo de investigación Valorización de Biomasa Lignocelulósica: Bioenergía y Bioproductos (ValBioLig) del Instituto de Ciencias Forestales, INIA-CSIC.

Coordinación y organización general

David Ibarra Trejo, María Eugenia Eugenio Martín y Raquel Martín Sampedro. Instituto de Ciencias Forestales, INIA-CSIC.



PROGRAMA

Lunes 29 de Septiembre de 2025

13:00	Salida autobús desde Madrid a La Cristalera (Miraflores de la Sierra)
14:00-14:30	Llegada, registro y recogida de documentación
14:30-15:30	Comida
15:30-15:40	Bienvenida e Introducción de la Reunión INIA-CSIC (Coordinador de la Red Lignocel)
SESIÓN I. Nuevas Tecnologías para un aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica: Bioproductos y Bioenergía. Moderadores: María Teresa García Cubero y Antonio David Moreno García	
15:40-16:00	Cristina Álvarez Vaquerizo. CIEMAT Valorización integral de los residuos leñosos municipales
16:00-16:20	Camila Muñoz Realpe. Universidad de Jaén Producción de furfural a partir de sarmientos de vid pretratados por microondas
16:20-16:40	Mónica Coca Sanz. Universidad de Valladolid Aplicación de la tecnología de microondas en la valorización de destrío de remolacha roja: obtención de compuestos bioactivos
16:40-17:00	Cristina Valls Vidal. Universidad Politécnica de Cataluña Valorización del residuo del cáñamo industrial para la obtención de subproductos de alto valor añadido
17:00-17:20	Raquel Martín Sampedro. INIA-CSIC Nanopapeles compuestos de quitosano y lignina con propiedades bioactivas para aplicaciones en envases alimentarios
17:20-17:50	Pausa café
SESIÓN II. Microorganismos y sus enzimas para un aprovechamiento sostenible de la biomasa lignocelulósica. Moderadores: Patricia Ferreira Neila y Jorge Barriuso Maica	
17:50-18:10	Sara Santos de Dios. INIA-CSIC Identificación de la microbiota de insectos xilófagos y detección de algunas capacidades enzimáticas
18:10-18:30	Elisa Rodríguez Castro. IMDEA-Energía Bioaumentación de la fermentación anaerobia como estrategia para la producción selectiva de carboxilatos a partir de prehidrolizados lignocelulósicos detoxificados
18:30-18:50	Gabriela de Jesús Domínguez Ruiz. Universidad de Alcalá

	Ligninas técnicas funcionalizadas con lacasas microbianas para la obtención de material activo destinado a envases de la industria alimentaria
18:50-19:10	Diego Moldes Moreira. Universidad de Vigo Elaboración de biocomposites para impresión 3D con bioplásticos y pasta termomecánica modificada enzimáticamente
20:30	Cena

Martes 30 de Septiembre de 2025

SESIÓN III. Mejora de microorganismos y sus enzimas para un aprovechamiento sostenible de la biomasa lignocelulósica. Moderadores: Encarnación Ruiz Ramos y Diego Moldes Moreira	
9:30-9:50	Juan Carro Aramburu. CIB-CSIC Nuevas enzimas para la producción de ácido 2,5-furandicarboxílico a partir de 5-hidroximetilfurfural derivado de biomasa
9:50-10:10	Patricia Ferreira Neila. Universidad de Zaragoza Nuevas aril-alcohol oxidasas bacterianas: del genoma a la aplicación biotecnológica
10:10-10:30	Jorge Barriuso Maica. CIB-CSIC Valorización de residuos poliméricos utilizando microorganismos, consorcios microbianos y sus enzimas
SESIÓN IV. Otras aplicaciones biotecnológicas: biotransformación y biorremediación. Moderadores: Encarnación Ruiz Ramos y Diego Moldes Moreira	
10:30-10:50	Jose Luis González Alfonso. ICP-CSIC Recuperación de polifenoles a partir de residuos agroalimentarios y su mejora mediante glucosilación y/o acilación enzimática
10:50-11:10	Alejandro Beltrán Nogal. ICP-CSIC Evolución dirigida de una peroxigenasa inespecífica altamente estable y selectiva para la síntesis de índigo
11:10-11:40	Pausa café
MESA REDONDA. Evolución de los retos biotecnológicos para la valorización de la biomasa durante los más de 30 años de la Red Lignocel. Nuevas perspectivas	
11:40-12:40	Ponentes: Ángel Tomás Martínez Ferrer. CIB-CSIC. Biodegradación de la lignocelulosa: Estudios básicos y aplicaciones industriales/medioambientales

	Francisco Javier Pastor Blasco. Universidad de Barcelona. Enzimas lignocelulolíticas de aplicación industrial Gloria Caminal Saperas. IQAC-CSIC. Aportaciones del grupo Biorem a la evolución de la temática de la red Teresa Vidal Lluciá. Universidad Politécnica de Cataluña. Ingeniería y Biotecnología de Materiales lignocelulósicos y Papeleros Mercedes Ballesteros Perdices. CIEMAT. Producción y utilización de biomasa como recurso energético renovable María Jesús Martínez Hernández. CIB-CSIC. Aplicación de hongos filamentosos y/o sus enzimas en la degradación de la biomasa vegetal y sus posibles aplicaciones biotecnológicas María Teresa Vicent Huguet. Universidad Autónoma de Barcelona. Hongos ligninolíticos en la degradación de contaminantes industriales Paloma Manzanares Secades. CIEMAT. Producción y utilización de biomasa como fuente de energía renovable María Enriqueta Arias Fernández. Universidad de Alcalá. Aplicaciones microbianas para la economía circular y el valor añadido Juan Manuel Lema Rodicio. Universidad de Santiago de Compostela. Los extraordinarios, sorprendentes y caprichosos hongos ligninolíticos
12:40-13:00	CONCLUSIONES FINALES, PROPUESTAS Y ANUNCIOS
13:30	Comida
15:30	Salida en autobús hacia Madrid

SESIÓN I.

Nuevas Tecnologías para un aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica: Bioproductos y Bioenergía

Valorización integral de los residuos leñosos municipales

Cristina Álvarez¹, Silvia Suárez², Manuel F. Blanco¹, José M. Oliva¹, Antonio D. Moreno¹, Alberto González¹, Ángela M. Lao², María J. Negro¹, Ignacio Ballesteros¹

Unidad de biocarburante Avanzados y Bioproductos¹, Análisis y Tratamiento Fotocatalítico de Contaminantes en Aire², CIEMAT, Avda. Complutense, 40, 28040, Madrid.

E-mail: cristina.alvarez@ciemat.es

La utilización eficiente de los residuos leñosos municipales (RLM) generados a partir de actividades rutinarias como la poda urbana, el mantenimiento de zonas verdes y la limpieza de espacios públicos representa una oportunidad para poder desarrollar nuevas cadenas de valor basadas en la bioeconomía circular. Siguiendo el concepto de biorrefinería lignocelulósica los azúcares contenidos en este tipo de residuos se han utilizado para la obtención de ácido láctico (AL), mientras que la fracción de lignina para la obtención de carbón activo (CA). El AL es una valiosa plataforma química para diferentes aplicaciones industriales (industrias alimentarias y no alimentarias), existiendo un aumento en la demanda de AL para la industria de los bioplásticos. El CA obtenido a partir de lignina es una opción versátil y efectiva para una amplia gama de aplicaciones debido a su alta capacidad de adsorción y propiedades fisicoquímicas.

En este estudio el RLM fue sometido a un pretratamiento hidrotérmico, explosión de vapor catalizado con ácido sulfúrico, como método de fraccionamiento, obteniéndose un slurry que posteriormente es filtrado obteniéndose fracción líquida (FL) donde se encuentran los azúcares hemicelulósicos y una fracción sólida insoluble en agua (FSIA) formada por la celulosa y la lignina restantes. Esta fracción sólida fue sometida a un proceso de hidrólisis enzimática para obtener la glucosa que contiene y recuperar un residuo rico en lignina. En la etapa de pretratamiento, la recuperación de carbohidratos fue del 98 % y el 88 % para la celulosa y la hemicelulosa, respectivamente. La celulosa se recuperó principalmente en la fracción sólida (85 %), mientras que hasta el 85 % de los azúcares hemicelulósicos se encontró en la fracción líquida. La fracción FSIA se sometió a un proceso de HE con un contenido de sólidos del 10 % p/p, en un biorreactor de tambor rotatorio utilizando un cóctel celulolítico comercial. El contenido de azúcares obtenidos en la FL y el HE del medio FSIA fue de 46 y 55 g/L, respectivamente. Ambas corrientes de azúcares se utilizaron para la producción de ácido láctico. El material pretratado completo (slurry) también se utilizó como medio de producción de AL. El slurry presentó un contenido total de sólidos del 20,3%, correspondiente al 12% y el 8,3% de sólidos insolubles y solubles, respectivamente. La suspensión fue sometida a HE para obtener los azúcares que contiene, alcanzando una concentración final de azúcares de 109 g/L. Como microorganismo productor de AL se utilizó la bacteria *Heyndrickxia coagulans* DSM 2314. Los ensayos de fermentación se realizaron en fermentadores de 0,5 L a 50 °C con agitación magnética a pH 6,0. Se obtuvo una concentración máxima de AL de 55 g/L, 40 g/L y 83 g/L a 96 h, para los medios de HE, FSIA y slurry, respectivamente.

Por otro lado, el residuo rico en lignina (77%) obtenido tras la HE de FSIA se sometió a un proceso de pirólisis en atmósfera de nitrógeno en dos condiciones diferentes (500 °C y activación química y posterior pirólisis a 600 °C). Como resultado se observó que la capacidad de adsorción de CO₂ de ambos biocarbones era superior a la de un carbón activo comercial utilizado como referencia, siendo la del biocarbón obtenido por activación química un 9% superior (1982 μmol CO₂·g⁻¹) debido a un aumento del área superficial (BET Área de 672 m²/g).

Agradecimientos:

Grant TED2021-132024B-C22 by MCIN/AEI /10.13039/501100011033 by the "European Union NextGenerationEU/PRTR". BIOFORAIR project funded by the Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades (PID2022-1386820B-I00) and PTA2022-022087-I.

Producción de furfural a partir de sarmientos de vid pretratados por microondas

Camila C. Muñoz-Realpe, María del Mar Contreras, Alfonso M. Vidal, Encarnación Ruiz, Inmaculada Romero, Eulogio Castro

Departamento de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales, Universidad de Jaén, 23071, Jaén, España. Instituto de Investigación en Biorrefinerías (I3B), Universidad de Jaén, 23071, Jaén, España
E-mail: ccmunoz@ujaen.es

Las biorrefinerías representan una alternativa clave para el desarrollo de procesos sostenibles, al permitir el aprovechamiento integral de residuos agrícolas y agroindustriales. Teniendo en cuenta la gran diversidad de compuestos plataforma que pueden obtenerse a partir de estos residuos biomásicos de composición lignocelulósica, la investigación actual se centra en diseñar procesos eficientes para transformarlos en productos de alto valor añadido que puedan reemplazar a los basados en recursos fósiles. En este marco, los sarmientos, un residuo obtenido anualmente de la poda de la vid, con rendimientos de entre 2 y 4 toneladas por hectárea, resultan muy atractivos debido a su carácter residual, abundancia y elevado contenido en hemicelulosas que pueden convertirse en productos químicos renovables de interés como el furfural [1].

El furfural se clasifica, a nivel industrial, entre los compuestos plataforma de mayor relevancia, como intermediario clave en la síntesis de más de ochenta derivados destinados a la refinación de hidrocarburos, la producción de polímeros y los sectores farmacéutico y agroquímico [2]. Su obtención se fundamenta exclusivamente en la valorización de la fracción hemicelulósica de la biomasa. Su obtención consiste primero en la solubilización de las pentosas, en especial la xilosa, mediante hidrólisis ácida y, posteriormente, en llevar a cabo su deshidratación para la formación de furfural [3].

Este estudio evaluó la producción de furfural a partir de sarmientos de vid, un recurso lignocelulósico renovable. La biomasa se sometió a un pretratamiento ácido con calentamiento por microondas en condiciones previamente optimizadas (160 °C, H₂SO₄ al 0.8 % p/v, 5 min), con lo cual se alcanzó una recuperación de xilosa del 80 % con un consumo energético reducido. El licor prehidrolizado obtenido en dichas condiciones se empleó como sustrato para producir furfural mediante deshidratación de xilosa catalizada por diferentes sales de cloruro, como LiCl, MgCl₂, FeCl₃ y SnCl₄. Se estudió el efecto del catalizador, su concentración y el tiempo de reacción en la conversión de xilosa a furfural. El máximo rendimiento de furfural, 80 %, con una selectividad del 94 %, se obtuvo con LiCl 0.3 M tras 5 min de reacción. No obstante, cuando la deshidratación de xilosa se efectuó sin adición de sales, se logró un rendimiento máximo de 75.5 % y una selectividad del 86 %, aunque el tiempo de reacción fue considerablemente mayor.

Como conclusión, este trabajo evidencia el potencial de los sarmientos de vid como recurso lignocelulósico prometedor para la producción de compuestos plataforma como el furfural, que resulta esencial como compuesto intermedio en diversas industrias. Estos resultados refuerzan el valor de los residuos agrícolas en el desarrollo de procesos industriales sostenibles y orientados a la generación de productos de alto valor añadido, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS), especialmente al ODS-7 (Energía asequible y no contaminante), ODS-12 (Producción y consumo responsables) y ODS-13 (Acción por el clima).

Referencias

- [1] M. Troilo, G. Difonzo, V. M. Paradiso, C. Summo, F. Caponio, Bioactive compounds from vine shoots, grape stalks, and wine lees: Their potential use in agro-food chains, *Foods* 10 (2021) 342, <https://doi.org/doi:10.3390/foods10020342>.
- [2] J.-P. Lange, Furfural manufacture and valorization – A selection of recent developments, *Catal. Today*. 435 (2024) 114726, <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2024.114726>.

[3] T. Xu, X. Wang, H. Wang, J. Yao, F. Kong, J. Ren, S. Wang, Efficient conversion of xylose and corncob to furfural using a novel carbon-based solid acid derived from black liquor lignin-tin complexes, J Environ Chem Eng 12 (2024) 114516, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114516>.

Agradecimientos:

Camila Muñoz agradece al Ministerio de Ciencia e Innovación (MCIN) por el contrato predoctoral para la formación de doctores/as, convocatoria 2021 (PRE2021-097970). Proyecto PID2020-112594RB-C31 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por “FEDER Una manera de hacer Europa”.

Aplicación de la tecnología de microondas en la valorización de destrío de remolacha roja: obtención de compuestos bioactivos

Esther del Amo-Mateos, Mónica Coca, Susana Lucas, Juan Carlos López-Linares, M^a Teresa García-Cubero

Institute of Sustainable Processes, Dr. Mergelina s/n, 47011, Valladolid, Spain

E-mail: monica.coca@uva.es

Tradicionalmente, los residuos orgánicos que se generan en el procesado de frutas y verduras se utilizan en alimentación animal, producción de energía, compostaje o se eliminan en vertederos si no se dispone de otra opción de interés. Debido a su composición, estos residuos pueden ser una alternativa de bajo coste para obtener compuestos de valor añadido en el marco de una economía circular. La remolacha roja es conocida por su composición rica en compuestos bioactivos como fenoles, carbohidratos, fibra, vitaminas y betalaínas. Los pigmentos naturales se encuentran principalmente en el zumo, mientras que la pulpa es rica en hidratos de carbono, principalmente galacturonano (32%).

Este estudio presenta una propuesta para valorizar destrío de remolacha roja (DRR) mediante la recuperación de compuestos bioactivos. La fracción líquida (zumo) obtenida después del licuado del residuo demostró ser una fuente de compuestos antioxidantes, fenoles, flavonoides y pigmentos, con un contenido superior al de algunos zumos comerciales. La fracción sólida (pulpa) se sometió a un tratamiento de extracción asistida con microondas (MAE) para recuperar pectooligosacáridos (POS) con potenciales propiedades prebióticas. La extracción MAE permite obtener mayores rendimientos y reducir el tiempo de operación, evitando la degradación de las biomoléculas. Se encontró que las condiciones óptimas para la extracción de pectooligosacáridos fueron 160°C y 5,3 min. El extracto se purificó mediante un proceso de ultrafiltración con una membrana de polietersulfona (PES) de 3 kDa de tamaño de corte. La corriente de retenido (concentrado obtenido en las membranas) fue liofilizada obteniéndose un rendimiento global de 34 kg de producto/kg DRR, con un contenido en POS del 64%. Se analizaron las propiedades antioxidantes del producto aplicando los métodos DPPH, FRAP y ABTS y se analizó su potencial prebiótico mediante su uso como sustrato en el crecimiento de las cepas *Lactobacillus rhamnosus* y *Bifidobacterium longum*, comparando sus propiedades con prebióticos comerciales (inulina, fructooligosacáridos). Se demostró que el producto obtenido a partir de remolacha roja tiene propiedades antioxidantes mayores que los prebióticos comerciales. Por otra parte, se observaron velocidades de crecimiento de las bacterias similares o superiores a las obtenidas usando los prebióticos comerciales. Los resultados confirman que el destrío de remolacha roja es una fuente de compuestos bioactivos con potencial para su aplicación comercial como ingredientes de valor añadido.

Agradecimientos:

Los autores agradecen el apoyo económico del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades a través de los proyectos PID2020-115110RB-I00/AEI/10.13039/501100011033 y PID2023-147967OB-I00/MCIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, EU. Esther del Amo Mateos agradece a la Junta de Castilla y León la ayuda recibida a través de su contrato predoctoral (EDU/875/2021).

Referencias

Del Amo-Mateos et al. (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135995>

Del Amo-Mateos et al. (2024). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109955>

Valorización del residuo del cáñamo industrial para la obtención de subproductos de alto valor añadido

Cristina Valls, Úrsula Fillat, Oriol Cusola, M.B. Roncero

CELBIOTECH_Paper Engineering Research Group, Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech (UPC), Colom, 11, 08222 Terrassa.

E-mail: cristina.valls@upc.edu

Ante el actual contexto de emergencia climática, resulta imprescindible avanzar hacia un modelo de Bioeconomía y Economía circular. Una vía estratégica para contribuir a esta transición es el aprovechamiento de fuentes renovables para la producción de biocombustibles, bioproductos y biomateriales. En este contexto, la biomasa lignocelulósica se perfila como un recurso de gran potencial, generando un creciente interés a nivel global. Los residuos agrícolas representan una fuente lignocelulósica renovable, abundante y aún poco valorizada, con gran potencial para aplicaciones sostenibles.

En los últimos años, ha resurgido con fuerza el cultivo del cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L., variedad con bajo contenido en THC), especialmente en países europeos. En España, por ejemplo, los datos del Ministerio de Agricultura reflejan un notable incremento: de 61 hectáreas cultivadas en 2016 se pasó a 510 hectáreas en 2020, producción que ha seguido aumentando recientemente. El cáñamo industrial es un cultivo de ciclo corto (90–120 días), con baja demanda hídrica y sin necesidad de pesticidas ni intervenciones durante su crecimiento, lo que lo hace ideal para las condiciones climáticas de España. Su principal ventaja es el aprovechamiento integral de la planta: la fibra del liber (33%) se usa en industrias como la textil o papelera y la semilla (10–12%) en alimentación. Por otro lado, una gran parte del tallo (50–70%) corresponde a la cañamiza, un residuo lignocelulósico con propiedades higroscópicas y antibacterianas. Aunque ya se aplica en sectores como la construcción o el biocombustible, su creciente producción exige desarrollar nuevos usos de mayor valor añadido para evitar su infrautilización.

El objetivo de este proyecto es revalorizar este residuo con la finalidad de encontrar nuevas aplicaciones tanto para la industria alimentaria como para la papelera. Para ello, se han extraído primeramente parte de las hemicelulosas que lo conforman mediante un proceso de autohidrólisis, obteniendo un efluente rico en xilooligosacáridos y con una elevada capacidad antioxidante. Posteriormente, de la fracción sólida resultante del proceso anterior, se han separado las fibras celulósicas disolviendo o degradando la lignina que las mantiene unidas en el vegetal mediante una combinación de procesos químicos y mecánicos. A partir de éstas se han obtenido papeles y se han evaluado sus propiedades físico-mecánicas. Finalmente, a partir de la lignina disuelta durante el proceso químico se han obtenido nanopartículas con actividad antimicrobiana.

Agradecimientos:

Este trabajo forma parte de una "Activitat de demostració de transferència de coneixements", del "Programa de Desenvolupament Rural de Catalunya 2014-2022" del "Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural (Generalitat de Catalunya)". Actividad cofinanciada por la Unión Europea a través de la intervención 7201 del Plan Estratégico de la PAC 2023-2027. También se enmarca en el proyecto PID2020-114070RB-I00 (CELLECOPROD), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. Los autores agradecen el apoyo del grupo de investigación consolidado AGAUR 2021 SGR 00852. Cristina Valls y Oriol Cusola son profesores del Plan Serra Húnter.

Nanopapeles compuestos de quitosano y lignina con propiedades bioactivas para aplicaciones en envases alimentarios

Raquel Martín-Sampedro¹, Gabriela Domínguez², Margarita Darder³, Manuel Hernández²,
María E. Arias², David Ibarra¹, María E. Eugenio¹

¹*Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR-INIA), CSIC. Ctra. de la Coruña, km 7.5. 28040, Madrid;*

²*Departamento de Biomedicina y Biotecnología. Universidad de Alcalá. 28805 Alcalá de Henares,*

Madrid; ³*Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM), CSIC, C/Sor Juana Inés de la Cruz 3, 28049, Madrid.*

E-mail: raquel.martin@inia.csic.es

La sociedad actual demanda el desarrollo de nuevos materiales renovables capaces de sustituir a los plásticos no biodegradables derivados del petróleo, especialmente en el sector del embalaje. En este contexto, los biopolímeros obtenidos a partir de biomasa representan una alternativa prometedora, en particular aquellos que se generan como subproductos de procesos industriales, como la lignina (procedente de la fabricación de pasta de papel) y el quitosano (presente en los crustáceos).

En este trabajo, ambos biopolímeros se han estudiado para desarrollar nanopapeles compuestos adecuados para aplicaciones de envasado de alimentos. Los nanopapeles compuestos de quitosano-lignina se prepararon mediante evaporación, incorporando lignina en proporciones del 30 % y 50 % (p/p), con o sin glicerol. Se estudiaron dos tipos de lignina: una lignina kraft comercial y una lignina alcalina. Además, ambas ligninas fueron sometidas a un tratamiento enzimático utilizando una lacasa recombinante bacteriana SilA de *Streptomyces ipomoeae*, con el fin de evaluar el impacto de este pretratamiento en las propiedades finales de los nanopapeles.

Los resultados mostraron que la incorporación de lignina en los nanopapeles de quitosano mejoraba su estabilidad térmica, su capacidad antioxidante y su capacidad de protección UV, lo que contribuye a una mayor protección de los alimentos envasados, mejorando su conservación. Estas ventajas fueron más significativas con la lignina kraft que con la lignina alcalina. Además, el pretratamiento enzimático con lacasa contribuyó a mejorar las propiedades mecánicas de los nanopapeles.

Agradecimientos:

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos PID2022-141965OB-C21 (MCIN/AEI/<https://doi.org/10.13039/501100011033> y “ERDF A way of making Europe”), TED 2021-132122B-C1 (MCIN/AEI/<https://doi.org/10.13039/501100011033> y “European UnionNextGenerationEU/PRTR”); y AgroSUSTEC-CM TEC-2024/BIO-27 (Comunidad de Madrid).

SESIÓN II.

**Microorganismos y sus enzimas para un
aprovechamiento sostenible de la biomasa
lignocelulósica**

Identificación de la microbiota de insectos xilófagos y detección de algunas capacidades enzimáticas

Maite de Troya ^{1,2}, Francisco Llinares ², Javier Arranz ², Sara Izpura-Luis ², Sara Santos ¹, Lee Robertson ¹

¹ICIFOR, INIA-CSIC, Ctra. de La Coruña, Km 7.5, 28040 Madrid.

E-mail: troya@inia.csic.es

² Facultad de Farmacia, Universidad San Pablo, Urbanización Montepríncipe, Ctra. Boadilla del Monte, km 5300, 28668- Boadilla del Monte, Madrid.

Los insectos xilófagos son los que pueden alimentarse de la madera. En general, la digestión de la madera se realiza con la combinación de un procesamiento mecánico por parte del insecto, celulasas endógenas, flagelados y bacterias. Muchos de ellos tienen dotación enzimática lignocelulolítica, pero otros, necesitan de una microbiota asociada que proporcionan al insecto nutrientes como nitrógeno y vitaminas, o enzimas líticas para digerir los componentes de la madera (celulosa, hemicelulosa y lignina). La identificación de esos microorganismos, así como su papel en la digestión de muchos sustratos no se conoce bien del todo.

Hasta hace relativamente poco tiempo, la protección de la madera frente al ataque de insectos xilófagos se ha realizado mediante el tratamiento con productos biocidas, posteriormente, y debido a la contaminación que supone la aplicación de estos productos, se han ido buscando tratamientos alternativos menos contaminantes para proteger la madera, como la furfurilación, acetilación, la aplicación de resinas o incluso nanotecnología con productos ecocompatibles. El uso de inhibidores del metabolismo microbiano podría suponer una alternativa para el control de estos insectos.

Se conoce desde hace tiempo que para la ruptura de la lignocelulosa, las termitas necesitan los microorganismos presentes en su tubo digestivo que se transmiten entre los miembros de las colonias por trofalaxis, estableciéndose de esta forma un proceso simbiótico entre ellos, que incluso ha ayudado a estos insectos a adaptarse a diversos ambientes, estilos de vida y dietas. Por otro lado, insectos causantes de carcoma, solo digieren un 20 % de la madera que atacan, echando el 80 % a través de las heces; y a pesar de que presentan también una simbiosis con ciertos microorganismos no suelen utilizarlos para la degradación de la celulosa.

Por ello, el objetivo de este trabajo ha sido la identificación de las bacterias presentes en *Reticulitermes grassei*, la especie de termita más abundante en la Península Ibérica, y de *Hyloterpes bajulus*, representante de los Cerambícidos más frecuentes en Europa causante de la carcoma grande, con el fin de determinar ciertas actividades enzimáticas (celulasas, quitinasas y proteasas), que podrían desempeñar un papel importante en la degradación de la madera.

Bioaumentación de la fermentación anaerobia como estrategia para la producción selectiva de carboxilatos a partir de prehidrolizados lignocelulósicos detoxificados

Elisa Rodríguez-Castro¹, Cristina González-Fernández^{1,2,3}, Elia Tomás-Pejó¹

¹Unidad de Procesos Biotecnológicos, IMDEA Energía, 28935 Móstoles, Madrid. ²Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Medioambiental, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Valladolid, 47011, Valladolid, España. ³Instituto de Procesos Sostenibles, 47011, Valladolid, España.

E-mail: elisa.rodriquez@imdea.org

La actividad humana ha conducido a la acumulación de residuos lignocelulósicos que pueden valorizarse para producir productos químicos de alto valor añadido. Cuando se utilizan estos residuos, es a menudo necesario realizar una etapa de pretratamiento para alterar su estructura polimérica y favorecer su conversión posterior. Pretratamientos como la explosión por vapor resultan en la liberación de compuestos potencialmente inhibitorios para los microorganismos encargados de la valorización del residuo. En ese contexto, el carbón activo puede emplearse como agente detoxificante para reducir la cantidad de inhibidores en el medio (p. ej. furfural e hidroximetilfurfural).

Este trabajo se centra en la valorización de la fracción líquida detoxificada proveniente de residuos de poda de jardines y parques pretratados por explosión por vapor. Para ello, a diferencia del enfoque más tradicional de fermentación con cultivos puros, se utilizó una novedosa estrategia de fermentación anaerobia mediante cultivos mixtos no estériles. Durante este trabajo se operaron dos reactores continuos de tanque agitado utilizando fango anaerobio de una estación depuradora de aguas residuales como inóculo. Uno de los bioreactores se bioaumentó desde el inicio de la fermentación con un 10% (v/v) de precultivo de *Lactobacillus pentosus* MAX2 con el objetivo de favorecer la producción de ácido láctico y dirigir el proceso a una mayor selectividad metabólica. Como control, se empleó un reactor operado en las mismas condiciones sin bioaumentar la población microbiana. Ambos reactores operaron a un tiempo de retención hidráulico de 15 días, una tasa de carga orgánica de 1 g DQO/(L*d), y un pH de 4.5. El reactor bioaumentado produjo 56.8% y 40.5% p/p de ácidos láctico y acético, respectivamente, lo que se atribuyó al metabolismo heteroláctico de *L. pentosus* MAX2. Por otro lado, el perfil de ácidos del reactor no bioaumentado fue más diverso presentado 9.4% de ácido láctico, 12.0% de ácido acético, 63.1% de ácido butírico, y 15.5% p/p de otros ácidos. Esto demuestra que la estrategia de bioaumentación promovió la selectividad del proceso. La presencia de *L. pentosus* MAX2 se confirmó en el reactor bioaumentado mediante PCR tras 14 días de proceso, lo que evidenció la persistencia de este microorganismo en el cultivo. Estos resultados demuestran que la fermentación anaerobia es una estrategia adecuada para la obtención de productos químicos de alto valor añadido a partir de residuos lignocelulósicos. Además, este trabajo evidencia que, pese a la complejidad asociada a la bioaumentación por la posible eliminación de los microorganismos en el efluente, se logró mantener de manera exitosa a la bacteria introducida.

Agradecimientos:

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto "RESOPLA" (TED2021-132024B-C21), subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación – Unión Europea NextGenerationEU – PRTR, dentro del Programa Estatal para Impulsar la Investigación Científico-Técnica y su Transferencia (Proyectos Estratégicos Orientados a la Transición Ecológica y a la Transición Digital).

Ligninas técnicas funcionalizadas con lacasas microbianas para la obtención de material activo destinado a envases de la industria alimentaria

Gabriela Domínguez, Juana Rodríguez, Carmen Fajardo, José Manuel Molina Guijarro,
Francisco Guillén y Manuel Hernández

*Departamento de Biomedicina y Biotecnología. Universidad de Alcalá. Crta. Madrid-Barcelona, km
33,600. Alcalá de Henares 28805 Madrid.*

E-mail: gabriela.dominguez@uah.es

La globalización de los mercados ha diversificado el suministro de alimentos, pero también ha hecho más compleja su cadena de distribución, incrementando el riesgo de contaminación microbiana. Una estrategia prometedora para garantizar la seguridad alimentaria y extender la vida útil de los productos es el desarrollo de envases activos con propiedades antimicrobianas capaces de inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y/o su deterioro. En este contexto, y ante la creciente preocupación social por el impacto ambiental de los residuos plásticos se han desarrollado por casting y extrusión películas de ácido poliláctico (PLA) que incorporan nanopartículas de hidroxinitrato de cobre(II) (CuHN) como agente antimicrobiano. Sin embargo, las películas procesadas térmicamente a 190 °C perdieron completamente su actividad antimicrobiana.

Por este motivo, en este trabajo se evaluó la incorporación de ligninas técnicas residuales como aditivos funcionales, provenientes de residuos lignocelulósicos generados en la industria papelera y de bioprocesos. Estas ligninas, de bajo coste y elevada disponibilidad, representan una fuente alternativa y sostenible de aditivos funcionales, alineándose con los principios de economía circular.

Para ello, se funcionalizaron lignina kraft utilizando la lacasa SilA de *Streptomyces ipomoeae* y lignina ácido-soluble con la lacasa de *Corioliopsis rigida*. Aunque inicialmente se consideró principalmente el uso de lignina kraft, su escasa compatibilidad con la matriz polimérica limitó su incorporación. Así, se optó por la lignina ácido-soluble funcionalizada enzimáticamente (LGF), la cual mostró una excelente dispersión y compatibilidad con el PLA. Los resultados demostraron que las películas de PLA con CuHN (0,1–0,5 % p/p) y LGF obtenidas por extrusión a alta temperatura presentaron una buena eficacia antimicrobiana. La sinergia entre la doble sal metálica y la lignina funcionalizada potenció significativamente el efecto biocida de las nanopartículas, especialmente frente a bacterias grampositivas, además de mejorar las propiedades mecánicas de las películas.

En conclusión, la lignina ácido-soluble funcionalizada enzimáticamente no solo mejora la estabilidad térmica, la dispersión y la eficacia biocida de las nanopartículas de CuHN en la matriz de PLA durante el procesamiento a altas temperaturas, sino que también actúa como un aditivo estructural que refuerza la resistencia del material. Su origen residual y su carácter renovable convierten a estas ligninas en un recurso estratégico clave para el desarrollo de materiales funcionales, sostenibles y de bajo impacto ambiental. Este enfoque representa una solución industrialmente viable para la producción de envases antimicrobianos de nueva generación, eficaces y respetuosos con el medio ambiente, contribuyendo a una transición hacia sistemas de envasado más circulares y sostenibles.

Agradecimientos:

Investigación financiada por el Proyecto TED2021-131847-C22 del Ministerio de Ciencia e Innovación

Elaboración de biocomposites para impresión 3D con bioplásticos y pasta termomecánica modificada enzimáticamente

Daniel Filgueira¹, Solveig Holmen², Johnny K. Melbo³, Diego Moldes¹, Andreas T. Echtermeyer², Gary Chinga-Carrasco³

¹CINTEX. Departamento de Ingeniería Química. Universidade de Vigo; ²Department of Mechanical and Industrial Engineering, NTNU, Trondheim, Noruega; ³RISE PFI, Trondheim, Noruega.

E-mail: diego@uvigo.gal

Los composites con biopolímeros representan una alternativa sostenible a los materiales convencionales, ya que consiguen combinar matrices renovables con refuerzos naturales. Su desarrollo permite reducir la dependencia de recursos fósiles y el impacto ambiental, a la vez que fomenta la economía circular. Estos biocomposites tienen aplicaciones diversas en diferentes campos, entre los que se pueden citar el embalaje, el sector de la automoción o la impresión 3D. Respecto a la impresión 3D, es una técnica que destaca porque permite fabricar multitud de objetos complejos de forma rápida y personalizada, optimizando recursos y abriendo nuevas posibilidades en diseño, medicina e ingeniería sostenible.

En este estudio se presenta la elaboración de biocomposites completamente biobasados para su aplicación en impresión 3D, mediante la modificación enzimática de fibras de pasta termomecánica (TMP). La naturaleza hidrofílica de las fibras TMP fue modificada mediante reacciones de “grafting” o injerto mediados por la enzima lacasa, utilizando compuestos hidrofóbicos como el octil galato (OG) y el lauril galato (LG). Esta funcionalización mejoró notablemente las propiedades hidrofóbicas de las fibras, que se emplearon como refuerzo en dos matrices poliméricas biobasadas: ácido poliláctico (PLA) y polietileno biobasado (BioPE). En los sistemas con PLA, todos los filamentos fueron aptos para impresión 3D, pero destacaron aquellos con fibras modificadas con OG, ya que mostraron una menor absorción de agua y mejor adhesión interfacial, lo que favoreció también un mejor comportamiento mecánico de los filamentos obtenidos. En paralelo, los biocomposites con BioPE mostraron mejoras en la calidad de los filamentos (menor fracción de vacíos y variabilidad en el espesor). La adición de un 10–20% de fibras TMP mejoró la imprimibilidad y redujo significativamente la absorción de humedad.

Por tanto la modificación enzimática de las fibras TMP ha permitido la elaboración de filamentos para impresión 3D a través de una estrategia sostenible que consigue mejorar la compatibilidad fibra-matriz en materiales renovables.

SESIÓN III.

**Mejora de microorganismos y sus enzimas para un
aprovechamiento sostenible de la biomasa
lignocelulósica**

Nuevas enzimas para la producción de ácido 2,5-furandicarboxílico a partir de 5-hidroximetilfurfural derivado de biomasa

Juan Carro¹, Isabel Ocampos¹, Rodrigo Rincón-Sanz¹, José Manuel González-Fornell¹, Mireia Martínez-Sugrañes², Rubén Muñoz-Tafalla², Martin Floor², Victor Guallar², Susana Camarero¹ y F. Javier Ruiz-Dueñas¹

¹*Centro de Investigaciones Biológicas Margarita Salas, CSIC, Ramiro de Maeztu 9, 28040, Madrid*

²*Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación, Plaça Eusebi Güell 1-3, 08034, Barcelona*

E-mail: jcarro@cib.csic.es

El 5-hidroximetilfurfural (HMF) es una plataforma química de origen renovable con gran potencial en química sintética. Derivado de azúcares C6 abundantes en la biomasa vegetal, su versatilidad se debe a los dos grupos funcionales reactivos presentes en su estructura. Esto le permite actuar como precursor de una amplia gama de compuestos químicos biobasados, incluyendo solventes, resinas, adhesivos, fragancias y monómeros para poliésteres. Entre estos últimos destaca el ácido 2,5-furandicarboxílico (FDCA), que, al condensarse con etilenglicol, da lugar al polietilénfuranoato (PEF), un poliéster biodegradable con propiedades comparables a las del polietilentereftalato (PET), destinado a la fabricación de envases sostenibles. En nuestro grupo de investigación, exploramos el empleo de flavoenzimas de la familia de las hidroximetilfurfural oxidasas (HMFO) para catalizar la conversión de HMF en FDCA mediante tres oxidaciones sucesivas, a través de dos intermediarios. A pesar del potencial industrial de estas enzimas, su uso se ha visto limitado debido a que solo se han descrito cuatro HMFO salvajes en la literatura. Con objeto de ampliar este repertorio enzimático, hemos empleado métodos de bioprospección y simulaciones computacionales, que nos han permitido identificar, en diferentes bases de datos, nuevas oxidasas activas sobre estos compuestos furánicos. Por una parte, las hemos expresado y caracterizado bioquímicamente y, por otra, hemos analizado en detalle sus propiedades catalíticas. De esta manera, hemos podido describir enzimas salvajes altamente especializadas en la conversión de cada uno de los compuestos involucrados en la ruta. Además, hemos aplicado técnicas de ingeniería de proteínas con el objetivo de mejorar su estabilidad bajo condiciones operacionales. Finalmente, hemos optimizado las condiciones de reacción para maximizar la conversión de HMF en FDCA mediante el uso de varias enzimas en cascada.

Agradecimientos:

Proyecto FURENPOL (PLEC2021-007690) financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR.

Proyecto ROBUSTOO financiado por la Unión Europea (Grant Agreement No 101135119).

Nuevas aril-alcohol oxidasas bacterianas: del genoma a la aplicación biotecnológica

Paula Cinca-Fernando^{1,2}, Christian Ascaso-Alegre³, Aurora Vázquez-Rodríguez^{1,2}, Emma Sevilla¹,
Marta Martínez-Júlvez^{1,2}, Juan Mangas-Sánchez⁴, Patricia Ferreira^{1,2}

¹Departamento de Bioquímica y Biología Molecular y Celular, Universidad de Zaragoza

²Instituto de Biocomputación y Física de los Sistemas Complejos, Universidad de Zaragoza

³Departamento de Química Orgánica, Universidad de Zaragoza

⁴IUQOEM, Departamento de Química Orgánica e Inorgánica, Universidad de Oviedo

E-mail: ferreira@unizar.es

Las aril-alcohol oxidasas (AAOs) constituyen un grupo de enzimas dependientes de flavina pertenecientes a la superfamilia de oxidorreductasas glucosa-metanol-colina (GMC), que catalizan la oxidación de una amplia variedad de alcoholes primarios a sus correspondientes aldehídos, generando peróxido de hidrógeno como subproducto. Aunque estas enzimas han sido tradicionalmente estudiadas en hongos ligninolíticos, estudios recientes han identificado homólogos funcionales en bacterias, revelando una diversidad estructural y funcional inesperada, y destacando su potencial en múltiples aplicaciones biotecnológicas. Entre estas se incluyen procesos de biotransformación de biomasa vegetal, tratamiento de efluentes industriales y biosíntesis de compuestos de alto valor añadido.

En un estudio reciente, llevamos a cabo un análisis bioinformático y experimental enfocado en la identificación y caracterización de nuevas AAOs bacterianas, lo que permitió clasificar distintas variantes estructurales en función del canal de acceso al sitio activo y la arquitectura del centro catalítico. La caracterización funcional de dos de estas enzimas, reveló una entrada al sitio activo notablemente más abierta en comparación con sus homólogos fúngicos, una característica que podría estar relacionada con su mayor promiscuidad de sustrato. Su uso en reacciones a escala preparativa y la capacidad de operar con altas concentraciones de sustrato también demostraron su potencial en la química sintética. Además, su disponibilidad como proteínas recombinantes solubles y activas ha permitido su aplicación en forma de extractos libres de células, lo que refuerza aún más su potencial para la producción a gran escala de compuestos carbonílicos de interés industrial.

En conjunto, estas características sugieren que las AAOs bacterianas poseen un notable potencial para su integración en estrategias biotecnológicas orientadas al aprovechamiento sostenible de biomasa lignocelulósica.

Valorización de residuos poliméricos utilizando microorganismos, consorcios microbianos y sus enzimas

Alicia Prieto, María Jesús Martínez, Jorge Barriuso

Sistemas Microbianos e Ingeniería de Proteínas. Departamento de Biotecnología. Centro de Investigaciones Biológicas (CIB-Margarita Salas). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid.

E-mail: jbarriuso@cib.csic.es

Los residuos poliméricos son los más abundantes en el planeta y se presentan como una materia prima prometedora para la bioproducción de compuestos de interés dentro del concepto de economía circular. Entre ellos, encontramos polímeros hidrolizables naturales provenientes de la biomasa lignocelulósica, como la celulosa, las hemicelulosas, las ceras y las cutinas, así como polímeros sintéticos con un alto impacto ambiental, como los plásticos convencionales (e.g. tereftalato de polietileno, PET).

La valorización biotecnológica de estos residuos implica habitualmente un pretratamiento, seguido de una etapa de digestión enzimática en la que se liberan los monómeros. Para ello, nuestro grupo investiga activamente en el desarrollo de nuevos catalizadores enzimáticos, así como en la utilización de los productos de degradación obtenidos como sustrato para distintos microorganismos (hongos y bacterias) y/o consorcios microbianos. Estos microorganismos, bien nativos o modificados genéticamente para dotarles nuevas rutas metabólicas, pueden transformar los monómeros liberados en compuestos de valor añadido.

La expresión heteróloga de las enzimas despolimerizadoras en las distintas cepas microbianas puede dar lugar a bioprocesos consolidados (CBP), en los que un solo microorganismo produce tanto las enzimas que degradan el residuo como el compuesto de interés. Como alternativa, la utilización de consorcios microbianos puede ser ventajosa frente a los monocultivos, ya que permite abarcar un mayor rango de funcionalidades, la compartimentalización de las tareas, y evitar las sobrecargas metabólicas. Sin embargo, el establecimiento de distintas poblaciones en consorcios microbianos, ya sean naturales o artificiales, requiere un profundo estudio de las interacciones existentes entre ellas.

Actualmente, estamos estudiando diferentes tipos de consorcios con distintas aplicaciones. Para la valorización de celulosas y hemicelulosas, trabajamos con consorcios naturales hongo filamentoso/bacteria, o sintéticos, empleando distintas poblaciones de la levadura *Yarrowia lipolytica* modificada, mientras que para la valorización del PET evaluamos co-cultivos bacterianos de especies de *Comamonas* y *Pseudomonas*. En estos sistemas microbianos clonamos las enzimas degradativas, diseñamos sistemas con intercambio nutricional obligado entre los miembros del consorcio, estudiamos la señalización química entre los microorganismos, y las asociaciones físicas mutualistas en forma de biofilms. Gracias a la ingeniería de estos consorcios podemos valorizar los residuos poliméricos transformándolos en biocombustibles y bioplásticos.

Por último, y de cara a la implementación industrial de estos procesos, el CIB dispone de una planta piloto operativa, con reactores de hasta 150 L, destinados a la producción de biocombustibles a partir de residuos agroindustriales. Estas instalaciones, financiadas por la plataforma TransEner del CSIC, permitirán escalar y optimizar estos procesos y otros que actualmente estamos desarrollando.

Agradecimientos:

Proyectos MICODE (MCIN/AEI, PID2020-114210RB-I00) y DEMO (MCIN/AEI/"NextGenerationEU"/PRTR, TED2021-130096B-I00) y H2V2021-05-003 (EU-Programa CSIC, PRTR), BioPlastOmics Project (EU, Biodiversa+ call Biodiversa2023-248, AEI, PCI2025-163217).

SESIÓN IV.

**Otras aplicaciones biotecnológicas:
biotransformación y biorremediación.**

Recuperación de polifenoles a partir de residuos agroalimentarios y su mejora mediante glucosilación y/o acilación enzimática

Jose L. Gonzalez-Alfonso¹, David Rodriguez-Garcia¹, Carlos Uceda¹, Laura Barahona², María Fernandez-Lobato² y Francisco J. Plou¹

¹ICP-CSIC, Marie Curie 2, 28049 Madrid. ²CBMSO-CSIC, Nicolas Cabrera 1, 28049 Madrid.

E-mail: jose.l.g@csic.es

Los polifenoles son compuestos de origen vegetal ampliamente reconocidos por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y su potencial en la prevención de diversas patologías, entre ellas el cáncer, enfermedades neurodegenerativas o metabólicas [1]. Estas características los convierten en compuestos de gran interés para los sectores alimentario, cosmético y farmacéutico.

Además de encontrarse en alimentos como frutas, verduras, té o vino, los polifenoles están presentes en residuos agroindustriales, como el alperujo (subproducto de la producción de aceite de oliva), el orujo de uva (procedente de la fabricación del vino) o el bagazo de manzana (residuo de la elaboración de zumo). La valorización de estos residuos permite, por tanto, obtener productos de alto valor añadido al tiempo que se reduce el impacto ambiental asociado a su acumulación. En este contexto, nuestro grupo participa en el proyecto europeo LIFE CYCLOPS (Fig. 1), cuyo objetivo es desarrollar procesos sostenibles para la extracción de polifenoles a partir de residuos de las industrias del aceite de oliva y del vino.

Por otro lado, la baja solubilidad en agua, estabilidad y absorción de muchos polifenoles limita significativamente su biodisponibilidad y, por tanto, su eficacia *in vivo*. Con el fin de superar estas limitaciones, en nuestro grupo desarrollamos procesos de modificación enzimática, en particular glucosilación y acilación, que permiten mejorar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los polifenoles [2-3]. Estas transformaciones se llevan a cabo con altos rendimientos mediante el uso de enzimas específicas y son compatibles con la escala industrial.



Figura 1. Esquema de obtención de polifenoles de la industria del aceite de oliva (proyecto LIFE CYCLOPS) y su posterior modificación enzimática para mejorar su aplicabilidad industrial.

Referencias:

- [1] Gonzalez-Alfonso JL et al. **2019**, *Front. Nutr.*, 6, 30, doi: [10.3389/fnut.2019.00030](https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00030).
- [2] Gonzalez-Alfonso JL et al. **2021**, *Adv. Synth. Catal.*, 12, 3079–3089, doi: [10.1002/ADSC.202100201](https://doi.org/10.1002/ADSC.202100201).
- [3] Gonzalez-Alfonso JL et al. **2024**, *J. Agric. Food Chem.* 72, 4325–4333, doi: [10.1021/ACS.JAFC.3C09261](https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.3C09261).

Agradecimientos:

Este trabajo ha sido financiado por los siguientes proyectos: (1) PDC2022-133134-C21/C22 “ACYLGLUFLAV_APP” del MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y de la “Unión Europea NextGenerationEU/PRTR”, (2) Subvención 101074544 “Programa LIFE” (LIFE21-ENV-ES-CYCLOPS) financiada por la Unión Europea, y (3) PID2022-136367OB-C31/-C32 “GLYCOENZ-GREEN” del MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y FEDER, una manera de hacer Europa.

Evolución dirigida de una peroxigenasa inespecífica altamente estable y selectiva para la síntesis de índigo

Alejandro Beltrán Nogal, Ivan Mateljak, Dianelis Toledo Monterrey, Miquel Galmes Ordinas,
David González Pérez, Miguel Alcalde

Evolución Dirigida de Enzimas, ICP-CSIC, Calle Marie Curie 2, 28049, Madrid.

E-mail: malcalde@icp.csic.es

La producción industrial de índigo, uno de los colorantes más utilizados en la industria textil, depende en gran medida de procesos químicos que consumen derivados del petróleo y generan residuos contaminantes. Ante esta problemática, la biocatálisis emerge como una alternativa más sostenible. En este trabajo, presentamos una nueva peroxigenasa inespecífica (UPO) proveniente del hongo *Daldinia* sp. EC12, (*Dsp*UPO-I), que ha sido diseñada por evolución dirigida en una forma altamente activa y estable para la producción directa de índigo. Con una regioselectividad superior al 90% para la formación de 3-indoxilo (indoxil), precursor directo del índigo, y una notable resistencia a la inactivación por peróxido de hidrógeno, hemos completado la síntesis enzimática de índigo a escala semipreparativa (0.7 g/L).

La variante evolucionada ha sido caracterizada a nivel bioquímico y computacional, empleando dinámica molecular, para tratar de elucidar las razones que expliquen su alta selectividad de para sintetizar índigo a partir de indol. Las características bioquímicas de esta UPO la convierten en una herramienta poderosa para la producción ecológica de índigo, demostrando el potencial biotecnológico de las enzimas fúngicas ligninolíticas en procesos industriales más sostenibles.

Agradecimientos:

Este proyecto ha sido realizado en colaboración con EvoEnzyme S.L. (I. Mateljak). Este trabajo fue financiado por los proyectos PID2019-106166RB-100-OXYWAVE, PDC2021-121673-100-GALILEO y PID2022-142074OB-I00-RAINBOW, con el apoyo del MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y de la Unión Europea Next Generation EU/PRTR. A. Beltrán Nogal agradece al Ministerio de Universidades (España) por su beca FPU (FPU20/01380). I. Mateljak agradece al Ministerio de Ciencia e Innovación por su contrato Torres Quevedo en el marco del proyecto PTQ2019-010467, financiado por el MCIN/AEI/10.13039/501100011033 dentro del programa NextGenerationEU/PRTR. D.T. Monterrey agradece al Ministerio de Ciencia (España) por su beca FPI (PRE2020-095288). D. González Pérez agradece a la Comunidad de Madrid por el proyecto Atracción de Talento Modalidad 1, 2022-T1/BIO-23851/ECOCHM.

MESA REDONDA.

Evolución de los retos biotecnológicos para la valorización de la biomasa durante los más de 30 años de la Red Lignocel. Nuevas perspectivas

La Red Temática LIGNOCEL, centrada en el aprovechamiento sostenible de biomasa lignocelulósica mediante herramientas biotecnológicas en el marco de la transición hacia una bioeconomía circular, cuenta con una trayectoria de aproximadamente 30 años. En estos años, la Red ha conseguido reunir y coordinar las actuaciones de un importante número de grupos científicos y tecnológicos españoles con intereses en la revalorización de biomasa vegetal, tanto de cultivos dedicados como de residuos de origen agrícola y forestal, para obtener energía y productos bio-basados (químicos, bioplásticos y biomateriales) de utilidad para la sociedad. Así, la Red aglutina una gran riqueza de conocimiento básico acerca de la composición química (celulosa, hemicelulosa y lignina) y estructural de la biomasa lignocelulósica, así como sobre el aprovechamiento integral de los componentes de la misma para la obtención de nuevos materiales, la producción de biocombustibles y productos químicos de bloque. Además, la Red tiene una amplia experiencia en la degradación microbiana y enzimática de los materiales lignocelulósicos, aplicando dicha experiencia para abordar los problemas industriales y medioambientales concretos derivados de los procesos de conversión de la biomasa en biomateriales, bioplásticos, químicos y combustibles. Por todo ello, la Red tiene un claro enfoque multidisciplinar e interdisciplinar, aunando especialistas de reconocido prestigio que abordan este reto desde distintas perspectivas (Tecnología Química, Medioambiental y de Materiales, Biotecnología y Microbiología Industrial, Biología Molecular).

En torno a la presente mesa de discusión se reúnen diferentes expertos para reflexionar sobre como la Red ha ido evolucionando en cuanto a grupos y temáticas en estos años, así como sobre las nuevas perspectivas que se plantean en el contexto actual de transición hacia la Bioeconomía Circular guiada por la hoja de ruta del Pacto Verde Europeo (con objetivo de cero emisiones netas para 2050), y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por la ONU en 2015 (Objetivos de desarrollo sostenible).

Ponentes:

Ángel Tomás Martínez Ferrer. CIB-CSIC. Biodegradación de la lignocelulosa: Estudios básicos y aplicaciones industriales/medioambientales

Francisco Javier Pastor Blasco. Universidad de Barcelona. Enzimas lignocelulolíticas de aplicación industrial

Gloria Caminal Saperas. IQAC-CSIC. Aportaciones del grupo Biorem a la evolución de la temática de la red

Teresa Vidal Llucía. Universidad Politécnica de Cataluña. Ingeniería y Biotecnología de Materiales lignocelulósicos y Papeleros

Mercedes Ballesteros Perdices. CIEMAT. Producción y utilización de biomasa como recurso energético renovable

María Jesús Martínez Hernández. CIB-CSIC. Aplicación de hongos filamentosos y/o sus enzimas en la degradación de la biomasa vegetal y sus posibles aplicaciones biotecnológicas

María Teresa Vicent Huguet. Universidad Autónoma de Barcelona. Hongos ligninolíticos en la degradación de contaminantes industriales

Paloma Manzanares Secades. CIEMAT. Producción y utilización de biomasa como fuente de energía renovable

María Enriqueta Arias Fernández. Universidad de Alcalá. Aplicaciones microbianas para la economía circular y el valor añadido

Juan Manuel Lema Rodicio. Universidad de Santiago de Compostela. Los extraordinarios, sorprendentes y caprichosos hongos ligninolíticos

RELACIÓN DE ASISTENTES

Alejandro Beltrán Nogal. Grupo Evolución Dirigida de Enzimas. Instituto de Catálisis y Petroquímica (ICP, CSIC). Marie Curie 2, Cantoblanco, 28049 Madrid; (alejandrobeltan@csic.es)

Alfonso Manuel Vidal Castro. Dpto. Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas s/n, 23071 Jaén; (amvidal@ujaen.es)

Alicia Prieto Orzanco. Grupo Sistemas Microbianos e Ingeniería de Proteínas. Centro de Investigaciones Biológicas (CIB, CSIC). Ramiro de Maeztu 9, 28040 Madrid; (aliprieto@cib.csic.es)

Ana Isabel Susmozas Torres. Unidad de Biocarburantes y Productos Avanzados (BIOCAR, CIEMAT). Avda. Complutense 40, 28040 Madrid; (anaisabel.susmozas@ciemat.es)

Ángel Tomás Martínez Ferrer. Grupo Biotecnología para la Biomasa Lignocelulósica. Centro de Investigaciones Biológicas (CIB, CSIC). Ramiro de Maeztu 9, 28040 Madrid; (atmartinez@cib.csic.es)

Antonio David Moreno García. Unidad de Biocarburantes y Productos Avanzados (BIOCAR, CIEMAT). Avda. Complutense 40, 28040 Madrid; (david.moreno@ciemat.es)

Blanca Roncero Vivero. Cellbiotech. Ingeniería Papelera. Dpto de Ingeniería Gráfica y Diseño. Universidad Politécnica de Cataluña. Colom 11, 08222 Terrassa; (blanca.roncero@upc.edu)

Camila Muñoz Realpe. Dpto. Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas s/n, 23071 Jaén; (ccmunoz@ujaen.es)

Cristina Álvarez Vaquerizo. Unidad de Biocarburantes y Productos Avanzados (BIOCAR, CIEMAT). Avda. Complutense 40, 28040 Madrid; (Cristina.Alvarez@ciemat.es)

Cristina Valls Vidal. Cellbiotech. Ingeniería Papelera. Dpto de Ingeniería Gráfica y Diseño. Universidad Politécnica de Cataluña. Colom 11, 08222 Terrassa; (cristina.valls@upc.edu)

David Ibarra Trejo. Grupo Valorización de Biomasa Lignocelulósica: Bioenergía y Bioproductos (ValBioLig). Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR, INIA-CSIC). Ctra. de La Coruña, Km 7.5, 28040 Madrid; (ibarra.david@inia.csic.es)

Diego Moldes Moreira. Grupo Bioingeniería y Procesos Sostenibles. Dpto Ingeniería Química. Universidad de Vigo. Campus Universitario Lagoas-Marcosende, 36310 Vigo; (diego@uvigo.gal)

Elia Tomás Pejó. Unidad de Procesos Biotecnológicos. IMDEA-Energía. Avenida Ramón de la Sagra 3, 28935 Móstoles, Madrid; (elia.tomas@imdea.org)

Elisa Rodríguez Castro. Unidad de Procesos Biotecnológicos. IMDEA-Energía. Avenida Ramón de la Sagra 3, 28935 Móstoles, Madrid; (elisa.rodriguez@imdea.org)

Elvira Romero Guzmán. Unidad de Procesos Biotecnológicos. IMDEA-Energía. Avenida Ramón de la Sagra 3, 28935 Móstoles, Madrid; (elvira.romero@imdea.org)

Encarnación Ruiz Ramos. Dpto. Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas s/n, 23071 Jaén; (erui@ujaen.es)

Francisco Javier Pastor Blasco. Dpto. Genética, Microbiología y Estadística. Universidad de Barcelona. Avda. Diagonal 643, 08028 Barcelona; (fpastor@ateneu.ub.edu)

Francisco José Plou Gasca. Grupo Biocatálisis Aplicada. Instituto de Catálisis y Petroquímica (ICP, CSIC). Marie Curie 2, Cantoblanco, 28049 Madrid; (fprou@icp.csic.es)

Gabriela de Jesús Domínguez Ruiz. Dpto. Biomedicina y Biotecnología. Universidad Alcalá de Henares. Autovía A-2, Km 33.600, 28805 Alcalá de Henares, Madrid; (gabriela.dominguez@uah.es)

Gloria Caminal Saperas. Instituto de Química Avanzada de Cataluña (IQAC, CSIC). Jordi Girona 16-26, 08034 Barcelona; (gloria.caminal@uab.cat)

Ignacio Ballesteros Perdices. Unidad de Biocarburantes y Productos Avanzados (BIOCAR, CIEMAT). Avda. Complutense 40, 28040 Madrid; (ignacio.ballesteros@ciemat.es)

Jorge Barriuso Maica. Grupo Sistemas Microbianos e Ingeniería de Proteínas. Centro de Investigaciones Biológicas (CIB, CSIC). Ramiro de Maeztu 9, 28040 Madrid; (jbarriuso@cib.csic.es)

José Luis González Alfonso. Grupo Biocatálisis Aplicada. Instituto de Catálisis y Petroquímica (ICP, CSIC). Marie Curie 2, Cantoblanco, 28049 Madrid; (josel.g@csic.es)

José Manuel Molina Guijarro. Dpto. Biomedicina y Biotecnología. Universidad Alcalá de Henares. Autovía A-2, Km 33.600, 28805 Alcalá de Henares, Madrid; (josemanuel.molina@uah.es)

José Miguel Oliva Domínguez. Unidad de Biocarburantes y Productos Avanzados (BIOCAR, CIEMAT). Avda. Complutense 40, 28040 Madrid; (josemiguel.oliva@ciemat.es)

Juan Carro Aramburu. Grupo Biotecnología para la Biomasa Lignocelulósica. Centro de Investigaciones Biológicas (CIB, CSIC). Ramiro de Maeztu 9, 28040 Madrid; (jcarro@cib.csic.es)

Juan Manuel Lema Rodicio. Grupo Biotecnología Medioambiental. Universidad Santiago de Compostela. Campus Vida-Rúa Lope Gómez de Marzoa, s/n., 15782 Santiago de Compostela; (juan.lema@usc.gal)

Juana Rodríguez Bullido. Dpto. Biomedicina y Biotecnología. Universidad Alcalá de Henares. Autovía A-2, Km 33.600, 28805 Alcalá de Henares, Madrid; (juana.rodriguez@uah.es)

Lucía Chamizo Jimeno. Grupo Valorización de Biomasa Lignocelulósica: Bioenergía y Bioproductos (ValBioLig). Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR, INIA-CSIC). Ctra. de La Coruña, Km 7.5, 28040 Madrid; (lucia.chamizo@inia.csic.es)

Luisa Leonor García Fuentevilla. Grupo Valorización de Biomasa Lignocelulósica: Bioenergía y Bioproductos (ValBioLig). Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR, INIA-CSIC). Ctra. de La Coruña, Km 7.5, 28040 Madrid; (luisa.garcia@inia.csic.es)

Manuel Pascual Hernández Cutuli. Dpto. Biomedicina y Biotecnología. Universidad Alcalá de Henares. Autovía A-2, Km 33.600, 28805 Alcalá de Henares, Madrid; (manuel.hernandez@uah.es)

María Enriqueta Arias Fernández. Dpto. Biomedicina y Biotecnología. Universidad Alcalá de Henares. Autovía A-2, Km 33.600, 28805 Alcalá de Henares, Madrid; (enriqueta.arias@uah.es)

María Eugenia Eugenio Martín. Grupo Valorización de Biomasa Lignocelulósica: Bioenergía y Bioproductos (ValBioLig). Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR, INIA-CSIC). Ctra. de La Coruña, Km 7.5, 28040 Madrid; (meugenia@inia.csic.es)

María Jesús Martínez Hernández. Grupo Sistemas Microbianos e Ingeniería de Proteínas. Centro de Investigaciones Biológicas (CIB, CSIC). Ramiro de Maeztu 9, 28040 Madrid; (mjmartinez@cib.csic.es)

María José Negro Álvarez. Unidad de Biocarburantes y Productos Avanzados (BIOCAR, CIEMAT). Avda. Complutense 40, 28040 Madrid; (mariajose.negro@ciemat.es)

María Teresa García Cubero. Instituto de Procesos Sostenibles. Universidad de Valladolid. Pso. Prado de la Magdalena 3-5, 47011, Valladolid (Spain); (mtgarcia@uva.es)

María Teresa Vicent Huguet. Dpto. Ingeniería Química, Biológica y Medio Ambiental. Escuela de Ingeniería. Universidad Autónoma de Barcelona (teresa.vicent@uab.cat)

Mercedes Ballesteros Perdices. Dpto. Energía. CIEMAT. Avda. Complutense 40, 28040 Madrid; (m.ballesteros@ciemat.es)

Mónica Coca Sanz. Instituto de Procesos Sostenibles. Universidad de Valladolid. Pso. Prado de la Magdalena 3-5, 47011, Valladolid (Spain); (monica.coca@uva.es)

Oriol Cusola Aumedes. Cellbiotech. Ingeniería Papelera. Dpto de Ingeniería Gráfica y Diseño. Universidad Politécnica de Cataluña. Colom 11, 08222 Terrassa; (oriol.cusola@upc.edu)

Paloma Manzanares Secades. Unidad de Biocarburantes y Productos Avanzados (BIOCAR, CIEMAT). Avda. Complutense 40, 28040 Madrid; (p.manzanares@ciemat.es)

Patricia Ferreira Neila. Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular y Celular, Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza; (ferreira@unizar.es)

Paula Sanz Rodríguez. Grupo Evolución Dirigida de Enzimas. Instituto de Catálisis y Petroquímica (ICP-CSIC). Marie Curie 2, Cantoblanco, 28049 Madrid; (paula.sanz.r@icp.csic.es)

Raquel Martín Sampedro. Grupo Valorización de Biomasa Lignocelulósica: Bioenergía y Bioproductos (ValBioLig). Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR, INIA-CSIC). Ctra. de La Coruña, Km 7.5, 28040 Madrid; (raquel.martin@inia.csic.es)

Sara Santos de Dios. Dpto. Productos Forestales. Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR, INIA-CSIC). Ctra. de La Coruña, Km 7.5, 28040 Madrid; (santos@inia.csic.es)

Susana Lucas Yagüe. Instituto de Procesos Sostenibles. Universidad de Valladolid. Pso. Prado de la Magdalena 3-5, 47011, Valladolid (Spain); (susana.lucas.yague@uva.es)

Teresa Vidal Lluciá. Cellbiotech. Ingeniería Papelera. Dpto de Ingeniería Gráfica y Diseño. Universidad Politécnica de Cataluña. Colom 11, 08222 Terrassa; (teresa.vidal@upc.edu)

Úrsula Fillat Latorre. Cellbiotech. Ingeniería Papelera. Dpto de Ingeniería Gráfica y Diseño. Universidad Politécnica de Cataluña. Colom 11, 08222 Terrassa; (ursula.fillat@upc.edu)

