



Universidad  
Zaragoza



# ● BIORREFINERÍAS BASADAS EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES



Instituto Universitario de Investigación  
en Ciencias Ambientales  
de Aragón  
Universidad Zaragoza

Documento elaborado por Pablo Martín-Ramos y Jesús Martín-Gil bajo licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - CompartirIgual 4.0 International License





## Autores

### UICA, Universidad de Zaragoza

**Pablo Martín Ramos**

Dpto. CC. Agrarias y del Medio Natural, EPS,  
Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte  
s/n, 22071, Huesca. [pmr@unizar.es](mailto:pmr@unizar.es)

### ETSIIAA, Universidad de Valladolid

**Jesús Martín Gil**

Dpto. Ing<sup>a</sup> Agroforestal, ETSIIAA, Universidad de  
Valladolid, Avda. Madrid 44, 34004, Palencia.  
[jesusmartingil@gmail.com](mailto:jesusmartingil@gmail.com)

## MÓDULO 4:

**Casos prácticos de conversión de la biomasa de varias especies vegetales a bioproductos mediante procesos de química verde**



# 1

## Introducción

Sobre casos prácticos de conversión de la biomasa de varias especies vegetales  
Uso de líquidos iónicos en procesos de química verde: ventajas de la utilización de los DES.

Uso de microondas en procesos de química verde

Condiciones optimizadas para la producción de azúcares, furfural y 5-HMF



## Sobre casos prácticos de conversión de la biomasa de varias especies vegetales

- Como materias primas objeto de procesamiento se han utilizado hojas, tallos delgados, tallos gruesos y raíces, tanto de jara como de brezo, hojas desecadas de palma de carnauba, y pulpa y cáscara de macaúba.
- La jara (*Cistus ladanifer*) y el brezo (*Erica arborea*) son arbustados de amplia distribución en la Península Ibérica que, pese a su potencialidad como sumideros de carbono, combustibles y precursores de productos de alto valor añadido, sólo recientemente han empezado a recibir atención como posible material para biorrefinerías.





## Sobre casos prácticos de conversión de la biomasa de varias especies vegetales

- La carnaúba (*Copernicia prunifera* Miller) y la macaúba (*Acromonia aculeata* Jacq.) son palmas que se encuentran en el NE y S de Brasil, respectivamente.
- Las hojas de carnaúba solo han encontrado aplicación en la extracción de la cera que las recubre.
- La pulpa de macaúba es utilizada para la fabricación de jabones a cuenta de su contenido en aceite, y la cáscara del fruto (15-20% en peso) se viene empleando como alimento de ganado y combustible de hornos



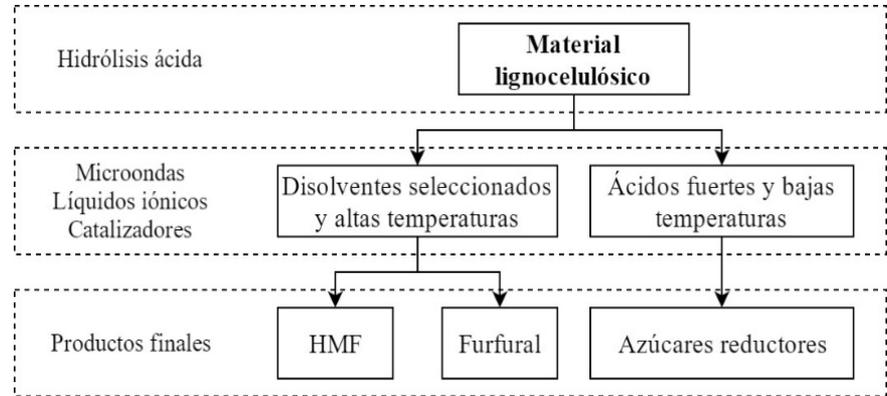


## Sobre casos prácticos de conversión de la biomasa de varias especies vegetales

- La conversión ácida de celulosa y hemicelulosa (fundamentalmente xilano) a azúcares, furfural y 5-HMF puede ser medida por una amplia variedad de ácidos (HCl, oxálico, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, etc.) y catalizadores (CrCl<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, etc.):

celulosa → glucosa → 5-HMF

hemicelulosa (xilanos) → xilosa → furfural + huminas





## Uso de líquidos iónicos en procesos de química verde: ventajas de la utilización de los DES

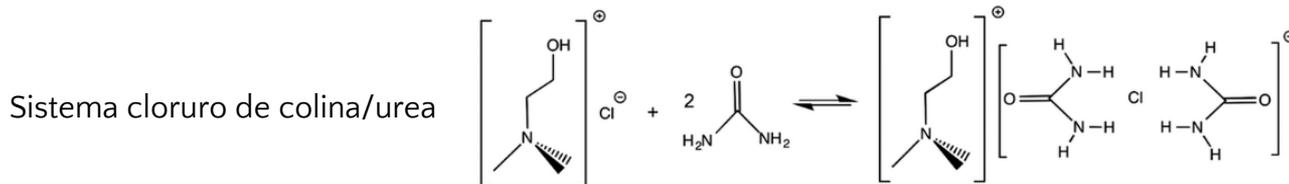
- Los líquidos iónicos son sales con un catión orgánico voluminoso (imidazolio, piridinio, fosfonio o amonio) unido débilmente a un anión inorgánico más sencillo ( $\text{BF}_4^-$ ;  $\text{PF}_6^-$ ;  $\text{CF}_3\text{SO}_3^-$  o  $\text{N}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2^-$ ) que se caracterizan por poseer baja presión de vapor, alta estabilidad térmica, incombustibilidad, miscibilidad con el agua y disolventes orgánicos, todas ellas próximas a los que presentan los compuestos
- El hecho de que la fuerza del enlace iónico sea mucho más débil que en las sales inorgánicas convencionales determina que sean líquidos a temperatura ambiente y que su punto de fusión resulte ser inferior a  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .
- Sin embargo, los líquidos iónicos presentan dos características que limitan sus aplicaciones: sus altos costes de producción y su toxicidad. Estas dos limitaciones están siendo superadas con la utilización de lo que se denominan Disolventes Eutécticos Profundos, DES.



## Uso de líquidos iónicos en procesos de química verde: ventajas de la utilización de los DES



- Los DES son líquidos iónicos formados por una sal con un enlace iónico débil, pero no lo suficiente para ser líquida a temperatura ambiente. Por tanto, necesitan ser mezclados con otro compuesto que disminuya el enlace catión-anión a través de la formación de enlaces de puente de hidrógeno. Un ejemplo son los DES formados entre el cloruro de colina (una sal amina cuaternaria) y diversos donores de hidrógeno como aminas, alcoholes o ácidos carboxílicos.



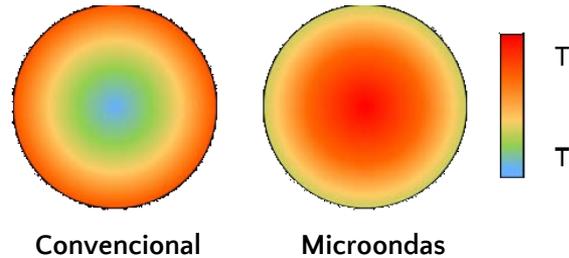
- La característica más importante de los DES como disolventes es que pueden solubilizar tanto compuestos polares como no-polares, lo que lleva a que algunos bioproductos se solubilicen mejor en DES que en agua



## Uso de microondas en procesos de química verde

- Existen muchos proyectos de pirólisis de la biomasa llevados a la práctica que no han tenido éxito por razones como la baja conductividad térmica de la biomasa o la dificultad para alcanzar y mantener altas temperaturas del material en un proceso continuo.
- La tecnología de calentamiento por MW soluciona estos problemas, ya que las MW provocan la excitación de las moléculas presentes en el material orgánico; es decir, el calentamiento no se produce por convección. Esto permite un control preciso del proceso de calentamiento.

Gradientes de temperatura producidos por MW y calentamiento convencional





## Uso de microondas y ultrasonidos en procesos de química verde

- Las MW, en tanto pueden transferir energía directamente a las especies reactivas (el llamado “calentamiento molecular”), promueven transformaciones que no son posibles empleando calentamiento convencional.

- Por otra parte, la tecnología de ultrasonidos, como pretratamiento para la hidrólisis enzimática a partir de la celulosa, facilita su conversión en glucosa.



# Condiciones optimizadas para la producción de azúcares, furfural



## y 5-HMF

Condiciones operativas seguidas en el procesado de la biomasa objeto de estudio.

ChCl = cloruro de colina;  
TEAC = cloruro de tetraetilamonio;  
TEAB = bromuro de tetraetilamonio;  
TsOH = ácido p-toluenosulfónico.

Parámetros	Producción de HMF / furfural	Producción de azúcares reductores	Comentarios
Líquidos iónicos	ChCl:urea (1:1), ChCl:ácido oxálico (1,5:1); CHCl:betaína (3:1) y TEAC	ChCl:urea (1:1), ChCl:ácido oxálico (1,5:1); TEAB y TEAC	Buen disolvente de la biomasa. Las mezclas eutécticas son más económicas que los líquidos iónicos convencionales
Ácidos	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5%), HCl /6%), HNO <sub>3</sub> (10%), H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (10%) y TsOH (5%) Dosis: 5-15%	Importante catalizador de la reacción, ampliamente usado en la producción de azúcares
Dosis de agua	1, 2, 3 y 5 mL	-	La dosis óptima de agua es importante debido a que su uso influencia el rendimiento de la producción de compuestos furanos
Temperatura	120, 140, 160, 180 y 200 °C	120, 130 y 140 °C	Un aumento de temperatura aumenta la velocidad de reacción. Es importante conocer la temperatura para la que se producen los mejores rendimientos
Tiempo	5, 15, 30, 45 y 60 minutos	5, 15, 30, 45 y 60 minutos	Es importante conocer el tiempo para el que se producen los mejores rendimientos y la menor degradación del producto
Cinética	Modelo de Seaman	Modelo de Seaman	Se trata de un modelo simplificados muy utilizado en el seguimiento de las cinéticas involucradas en la producción de biocombustibles
Pretratamiento	Ultrasonidos	-	Reduce significativamente el tamaño de la celulosa cristalina, incrementa la velocidad de reacción, mejora los rendimientos y reduce el gasto de energía
Microondas con agitación	Microondas con agitación al 50% del máximo permitido	-	La agitación hace que la solución sea más homogénea y que los sustratos sean más fácilmente atacables



## Condiciones operativas para la producción de azúcares, furfural y 5-hidroximetilfurfural

- La principal diferencia en la producción de furanos respecto de la de azúcares reductores totales se encuentra en la temperatura de reacción:
  - De acuerdo con los resultados de nuestros ensayos, cuando se opera a altas temperaturas ( $>140^{\circ}\text{C}$ ), la producción de compuestos furanos es elevada y no se producen apenas azúcares reductores totales.
  - Cuando se opera a temperaturas inferiores a  $120^{\circ}\text{C}$ , la producción de azúcares es elevada y la producción de furanos resulta baja.
- Por consiguiente, **mientras la reacción de producción de furfural e HMF debe ser realizada en el intervalo de  $120^{\circ}\text{C}$  a  $200^{\circ}\text{C}$ , la de azúcares reductores totales ha de ser llevada a cabo en el intervalo de  $120^{\circ}\text{C}$  a  $140^{\circ}\text{C}$** . En ambos casos se elige un tiempo de tratamiento de entre 5 y 60 min.

2

## **Procesado de biomasa de arbustados en DES asistido por microondas**

Caracterización de las especies bajo estudio a efectos de su procesado

Obtención de furfural, 5-HMF, azúcares y lignina a partir de la biomasa de jara y brezo

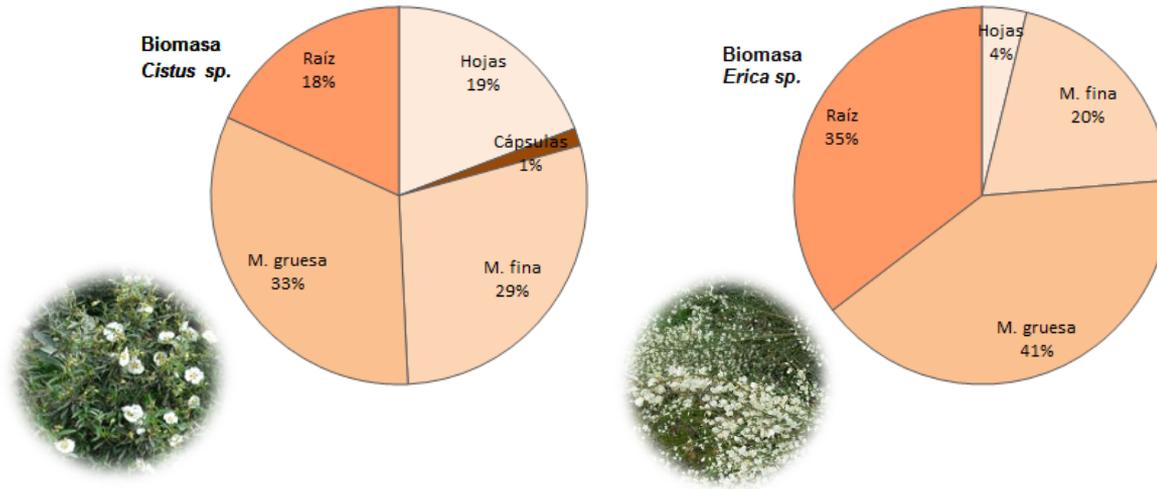
Métodos de determinación de azúcares, lignina, furfural e 5-HMF

Resultados



## Caracterización de las especies bajo estudio a efectos de su procesado

- Distribución de la biomasa en *Cistus ladanifer* y *Erica arborea*:

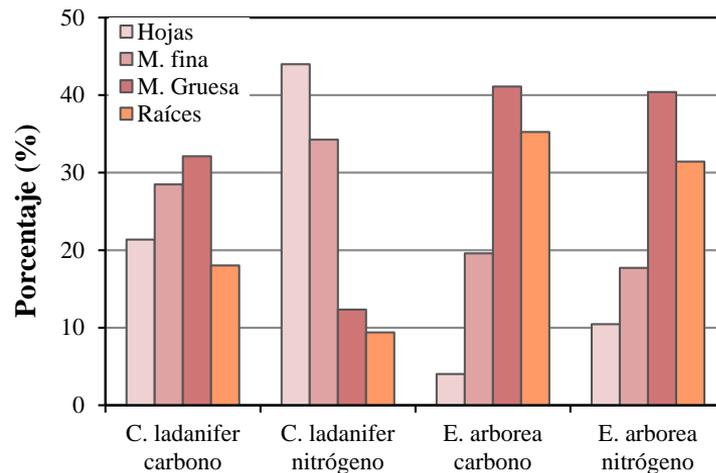




## Caracterización de las especies bajo estudio a efectos de su procesado

- Distribución de los contenidos en C y N:

	<i>Cistus ladanifer</i> L.				<i>Erica arborea</i> L.			
	Hojas	Ramas delgadas	Ramas gruesas	Raíces	Hojas	Ramas delgadas	Ramas gruesas	Raíces
Contenido en C (mg·g <sup>-1</sup> )	500,72 (0,37)	481,20 (0,27)	475,60 (0,59)	477,76 (0,47)	528,20 (0,22)	493,38 (0,13)	502,62 (0,31)	498,24 (1,23)
Contenido en N (mg·g <sup>-1</sup> )	18,89 (0,02)	8,42 (0,00)	2,66 (0,18)	3,62 (0,02)	10,46 (0,03)	3,41 (0,18)	3,78 (0,04)	3,40 (0,16)
Relación C:N	26,50 (0,05)				50,52 (0,14)			

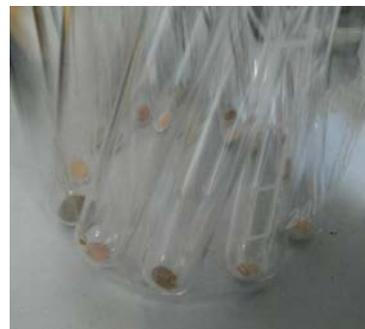
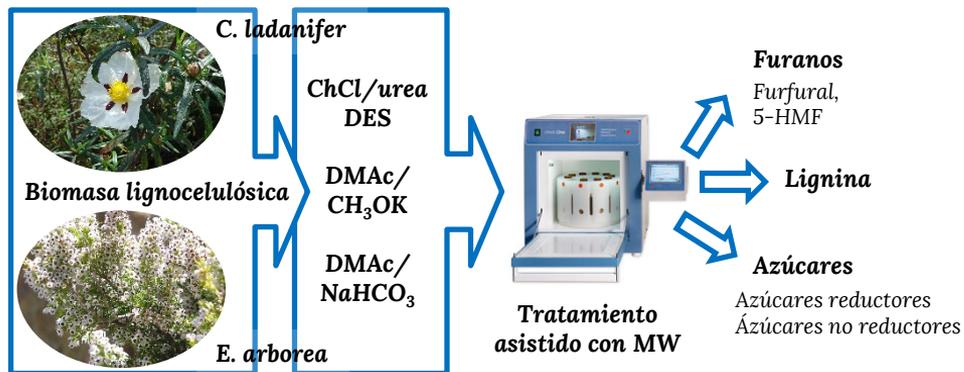


Contribución de los distintos componentes a los reservorios de carbono y nitrógeno, para *C. ladanifer* and *E. arborea*, partiendo de la distribución de biomasa.



# Obtención de furfural, 5-HMF, azúcares y lignina a partir de la biomasa de jara y brezo

## I - Pretratamiento de la biomasa





## Obtención de furfural, 5-HMF, azúcares y lignina a partir de la biomasa de jara y brezo

- II - Tratamientos de hidrólisis:

- (a) *En DES con digestión asistida por microondas.*

Para la hidrólisis de la biomasa de *C. ladanifer* y *E. arborea* (muestras de 200 mg) se ha utilizado una mezcla del DES cloruro de colina-urea, relación molar de 1:2 (1 mL) y ácido nítrico al 10%, con  $\text{TiO}_2$  como catalizador (20 mg) en un sistema de digestión por microondas (horno Ethos-One de la casa Milestone, Sorisole, BG, Italy), equipado con un sistema de agitador magnético a 120 °C entre 1 y 60 min. A continuación, el DES se elimina mediante lavado con agua.

- (b) *En disolvente polar aprótico DMAc, con  $\text{NaHCO}_3$  y aplicación de microondas.*

Se utilizan 8 mL de DMAc y 40 mg de  $\text{NaHCO}_3$  para tratar sendas muestras de biomasa de 200 mg de *C. ladanifer* y *E. arborea* y se aplican microondas con un agitador magnético a 120 °C entre 1 y 60 min. La DMAc mediante lavado con agua.

- (c) *En DMAc como disolvente y metóxido de potasio, asistido con microondas.*

200 mg de biomasa de *C. ladanifer* y *E. arborea* se procesan con una mezcla de 8 mL de DMAc y 40 mg de metóxido de potasio y seguidamente se trata la solución como en los métodos previos.



## Métodos de determinación de azúcares, lignina, furfural y 5-HMF

- La cuantificación de azúcares reductores se ha realizado mediante el **método de Miller** utilizando el ácido 3- amino 5-nitrosalicílico (DNS). La disolución se prepara mezclando 0,8 g de NaOH, 15 g de tartrato sódico potásico y 0,5 g de DNS y se completa con agua destilada hasta 50 mL. Con esta disolución, que llamaremos DNS, se preparan mezclas 1:1 con las muestras y disoluciones patrón a analizar: usualmente, 0,5 mL de DNS y 0,5 mL. La determinación se realiza a través de la medición de sus absorbancias por lectura espectrofotométrica a **540 nm**
- La determinación de azúcares totales se ha llevado a cabo por el **método de Dubois *et al.*** Este método es llamado “fenol-sulfúrico” porque en la preparación de las soluciones se mezclan 1-2 mL de muestra, 1 mL de fenol (5%) y 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (95,5%). Los tubos de ensayo se mantiene en baño termostático, entre 25-30 °C, durante 10-15 min. Como muestra patrón, se utiliza glucosa a distintas concentraciones. La medida espectrofotométrica de azúcares totales se realiza a **490 nm**, longitud de onda a la que las hexosas y sus derivados metilados presentan absorción máxima.



## Resultados

- ◉ De los sistemas de hidrólisis y extracción utilizados para la conversión de la biomasa de *C. ladanifer* y *E. arborea* en productos derivados, el sistema cloruro de colina/urea- $\text{HNO}_3$ , 10% asistido por microondas ha proporcionado mejores resultados en lignina, furfural, hidroximetilfurfural y azúcares que los sistemas DMAc/ $\text{NaHCO}_3$  y DMAc/ $\text{CH}_3\text{OK}$ , también asistidos por microondas.
- ◉ Sin embargo, si el objetivo de tratar la biomasa de *C. ladanifer* y *E. arborea* es recuperar azúcares para subsiguiente sacarificación enzimática, los muy bajos contenidos en HFM obtenidos con los sistemas dimetilacetamida (especialmente,  $\text{CH}_3\text{OK}$ ) hacen de estos unos procedimientos ventajosos en comparación con el método tradicional que utiliza NaOH.



**Reanudamos ...**



3

## **Procesos de química verde para la cristalinización de la celulosa a partir de la biomasa de jara y brezo**

Tratamientos y medidas de accesibilidad y cristalinidad

Resultados



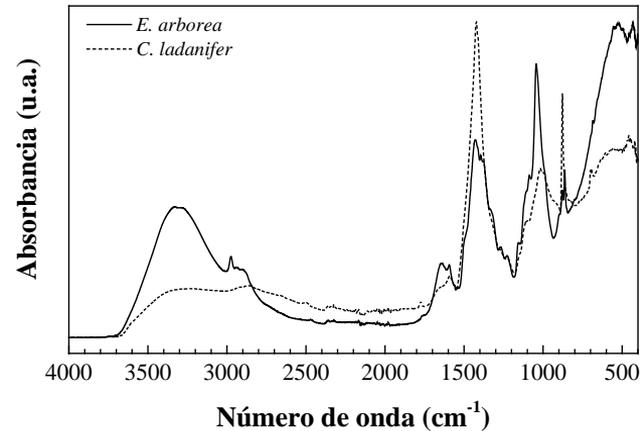
## Tratamientos y medidas de accesibilidad y cristalinidad

- Muestras de tallo de *C. ladanifer* y de *E. arborea* (200 mg), secadas previamente a 70 °C, fueron trituradas en un molino de cuchillas y tratadas con un **DES con base de cloruro de colina y urea** (relación molar de 1:2) para la fibrilación de la celulosa. La mezcla de cloruro de colina/urea y HNO<sub>3</sub> (1,8 mL) y TiO<sub>2</sub> como catalizador (20 mg) se procesó en un sistema de digestión por microondas a 120 °C durante 30 min. Las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente. A continuación, el DES se eliminó mediante lavado con agua.
- A efectos comparativos, muestras como las anteriores se sumergieron en 4 mL de una **solución de NaOH** (25% p/v) durante 24 h a temperatura ambiente con agitación magnética vigorosa. Posteriormente, se lavaron las fibras alcalinizadas, primero con agua corriente y más tarde con agua destilada hasta eliminar toda presencia alcalina en el lavado y finalmente, fueron dejadas en un desecador al vacío hasta tener un peso constante. El lavado alcalino fue reciclado para evitar contaminación ambiental.



## Tratamientos y medidas de accesibilidad y cristalinidad

- Espectros ATR-FTIR de fibras de celulosa de *E. arborea* (línea continua) y *C. ladanifer* (línea a puntos) después de tratamiento del tallo interno con microondas en DES.



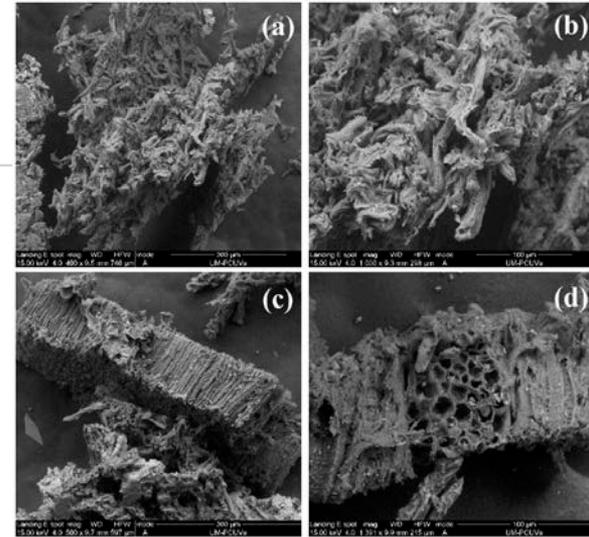
- A partir de las intensidades de las bandas, los valores LOI calculados para *C. ladanifer* y *E. arborea* han resultado ser de 2,2 y 2,9, respectivamente, sugiriendo una mayor cristalinidad para la celulosa tratada procedente de *E. arborea* que para la procedente de *C. ladanifer*.



## Resultados

Micrografías SEM de las fibras después de tratamiento basado en DES asistido con microondas:

tallo interno de *C. ladanifer* [ampliaciones  $\times 400$  (a) y  $\times 1000$  (b)] y tallo interno de *E. arborea* [ampliaciones  $\times 500$  (c) y  $\times 1400$ ].



	Valor de sorción de yodo (mgI <sub>2</sub> /g celulosa)	Accesibilidad (%)	Cristalinidad (%)
<i>C. ladanifer</i>	103,5	25,1	74,9
<i>E. arborea</i>	113,9	27,6	72,4
Avicel®	78,3	19,0	81,0

Los índices de cristalinidad del residuo celulósico que resulta tras un tratamiento por cloruro de colina/urea asistido por microondas son mejores que los que resultan del tratamiento alcalino (65%), se encuentran dentro del intervalo establecido para pulpa de madera (60–85%) y pueden ser de aplicación en la industria del empaquetado y como reforzantes en materiales compuestos

4

## Hidrodestilación como procedimiento de extracción de aceites esenciales de jara y brezo





## Sobre los aceites esenciales de *C. ladanifer* y *E. arborea*

- La investigación de *C. ladanifer* y *E. arborea* como precursores de productos de alto valor añadido ha conducido al estudio de sus aceites esenciales, que alcanzan precios de mercado superiores a 200 €/L en el caso de *C. ladanifer*.
- La caracterización de sus componentes químicos principales, realizada en comparación con otras partes de las plantas y con aceites, gomas y resinas de otras especies, ha sido llevada a cabo por FTIR (Carrión Prieto et al., 2016). La localización específica de las bandas de absorción para grupos oxo  $\alpha:\beta$  insaturados ha sido relacionado con el diferente contenido en terpenoides de los aceites: **mono- y sesquiterpenoides para *C. ladanifer* y triterpenoides para *E. arborea***.
- **El análisis térmico ha evidenciado una mayor estabilidad del aceite de *C. ladanifer* frente al de *E. arborea***. Pese a que la termolabilidad de los terpenoides, la turbo hidrodestilación ha resultado ser un procedimiento adecuado para su extracción, al no afectar a su persistencia.



## Equipamientos de hidrodestilación



<http://www.web-sciences.com/documents/seconde/sedo01/setp0102.php5>



5

## **Procesos de química verde para la producción de furfural, 5-HMF y azúcares a partir de hojas de palma de carnaúba y pulpa y cáscara de macaúba**

Caracterización química

Producción de HMF y furfural

Producción de azúcares



## Caracterización química

- Distribución de la biomasa de las palmas carnaúba y macaúba

	Composición aproximada (%)		
	Carnaúba	Macaúba	
	<i>Hojas</i>	<i>Pulpa</i>	<i>Cáscara</i>
C	45,40	52,60	75,92
H	2,50	5,90	11,63
O	48,70	41,20	12,45
N	3,40	0,30*	
C/N	13,3	175*	
Celulosa	37,5±3,6	29,7±2,1	
Hemicelulosa	29,6±1,1	29,5±2,7	
Lignina	12,9±2,3	35,1±1,6	
Materia seca		42,65 ±0,27	
Cenizas		2,03±0,26	
Proteínas		1,15±0,65	1.30
Lípidos		32,05±1,73	
Fibra cruda		51,70±4,31	
Materia mineral		0,66±0,09	
Carbohidratos		18,10±1,78	
Humedad		45,42±0,00	
Índice de yodo (mg.g <sup>-1</sup> )	524	367	340



## Producción de furfural y 5-HMF

- ◉ El sistema que resulta más adecuado para la producción de furfural y 5-HMF a partir de carnauba y macaúba es el de cloruro de colina/ácido oxálico asistido con microondas y, en concreto, la mezcla:  
**5 mL cloruro colina/ác. oxálico, 2 mL sulfolano, 2 mL agua, 0,02 g TiO<sub>2</sub> y 0,1 g sustrato.**
- ◉ La eficiencia de esta mezcla ha dado lugar a la realización de estudios cinéticos a diferentes tiempos de reacción (5-60 min) y diversas temperaturas (120-200°C). Mientras los rendimientos más altos para la producción de furfural han sido obtenidos a 140 °C, los de HMF lo han sido trabajando a 200 °C.
- ◉ **Los mejores rendimientos de producción de HMF+furfural han sido del 53,24%** utilizando un pretratamiento ultrasónico antes del tratamiento mediante microondas con agitación. A título comparativo, el rendimiento alcanzado cuando se emplea un horno de microondas convencional sin agitación es del 24,53%.



## Producción de azúcares

- Los medios de reacción ensayados han sido: dos disolventes eutécticos profundos (DES), como son cloruro de colina/ácido oxálico y (ChCl/ox) y cloruro de colina/urea (ChCl/ urea), y dos líquidos iónicos convencionales, como son cloruro de tetraetilamonio (TEAC) y bromuro de tetraetilamonio (TEAB). También se evaluaron cinco ácidos ( $H_2SO_4$ , HCl,  $HNO_3$ ,  $H_3PO_4$  y ácido p-toluensulfónico) en concentraciones variables (5-30%) en un intervalo de tiempo (0-60 min), a diferentes temperaturas (100-140 °C).
- Los mejores rendimientos** se obtienen cuando se emplean DES en combinación con  $HNO_3$  al 10%, a una temperatura de 120°C durante 30 min (azúcares reductores totales del **83,7%** en CHCl/ox para las hojas de carnaúba), con la ventaja añadida de una baja producción de furfural y HMF.

6

## Extracción de aceites de macaúba con prensa hidráulica





## Extracción de aceites de macaúba



- La palma macaúba es rica en aceite, y sus frutos pueden generar más de 5000 kg de aceite por ha y año, que puede ser utilizado en las industrias de cosméticos y farmacéutica y también puede ser una alternativa a la producción de biodiesel (Motoike y Kuki, 2009; Ferrari y Filho, 2012).
- Varios artículos han informado sobre la composición de los aceites de la pulpa de macaúba, pero se han centrado principalmente en el perfil de ácidos grasos después de la saponificación de los triglicéridos (Ferrari y Filho, 2012; Del Río et al., 2016). Estos estudios indican que el **aceite extraído de la pulpa** está compuesto principalmente de ácidos grasos insaturados (74–81%), siendo el **ácido oleico** (63–65%) el más representativo, mientras que el **aceite extraído del núcleo** presenta un alto contenido de **ácido láurico** (38–45%) y es de mayor aplicación en la producción de cosméticos.



---

7

## **Conclusiones**



- ◉ De los procedimientos ensayados a escala de laboratorio para el tratamiento de la biomasa, el que conduce a **mayores rendimientos en furfural y 5-HMF** es el que utiliza la mezcla de **cloruro de colina y ácido oxálico** y es asistido por microondas a temperaturas de 140 °C para furfural y de 200 °C para 5-HMF, durante 30 min.
- ◉ El tratamiento que conduce a **mayores rendimientos en azúcares** es el que utiliza la mezcla de **cloruro de colina y ácido nítrico al 10% como medio de reacción** y es asistido por microondas a una temperatura de 120 °C durante 30 min. En el caso de hojas de macaúba, la producción de azúcares totales por este procedimiento alcanza el 84%. El proceso presenta, además, la ventaja de una baja producción de furfural y 5-HMF.
- ◉ Los sistemas diacetilacetamida/bases (DMAc/NaHCO<sub>3</sub> y DMAc/CH<sub>3</sub>OK) asistidos por MW presentan peores resultados en furfural y 5-HMF que el sistema cloruro de colina/ácido lo cual se traduce en evidente ventaja cuando el objetivo de tratar la biomasa es recuperar azúcares para subsiguiente sacarificación enzimática. **Los muy bajos contenidos en 5-HFM obtenidos con los sistemas dimetilacetamida (especialmente, CH<sub>3</sub>OK) hacen de estos unos procedimientos ventajosos en comparación con el método tradicional que utiliza NaOH.**



- Los **índices de cristalinidad del residuo celulósico** que resulta tras un **tratamiento por cloruro de colina/urea asistido por microondas son mejores que los que resultan del tratamiento alcalino**, se encuentran dentro del intervalo establecido para pulpa de madera y pueden ser de aplicación en la industria del empaquetado y como reforzantes en materiales compuestos.
- Aun cuando la turbo hidroddestilación no es estrictamente una técnica de química verde, su utilización en el procesado para la obtención de aceites esenciales de *Cistus ladanifer* y *Erica arborea* resulta especialmente idónea. En el caso de los aceites de macaúba, el prensado hidráulico es la técnica de elección.



- ***El procedimiento que conduce a mayores rendimientos en furfural y 5-HMF es el que utiliza la mezcla de cloruro de colina y ácido oxálico y es asistido por MW a temperaturas de 140 °C para furfural y de 200 °C para 5-HMF, durante 30 min***
- ***El tratamiento que conduce a mayores rendimientos en azúcares es el que utiliza la mezcla de cloruro de colina y ácido nítrico al 10% como medio de reacción y es asistido por MW a una temperatura de 120 °C durante 30 min***
- ***El índice de cristalinidad para el residuo celulósico con el sistema cloruro de colina-urea es mayor que el que se obtiene con un tratamiento alcalino***



**Gracias por su  
atención**

*¿Alguna **pregunta** ?*

