



El Proyecto CARBODIET se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa Pleamar y está cofinanciado por la Unión Europea a través de Fondo Europeo Marítimo de Pesca y Acuicultura.



CARBODIET

Hacia una acuicultura sostenible

Biocarbón: del residuo al recurso

Teresa A. Centeno

Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR-CSIC)

teresa.centeno@csic.es

PIRÓLISIS: descomposición de un material por calor en ausencia de oxígeno



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Pleamar



INSTITUTO
ESPAÑOL DE
OCEANOGRAFÍA



INCAR



CSIC



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



LCA



UNIVERSIDAD
DE CÁDIZ



UNIVERSIDAD
DE ALMERÍA



ASEMA

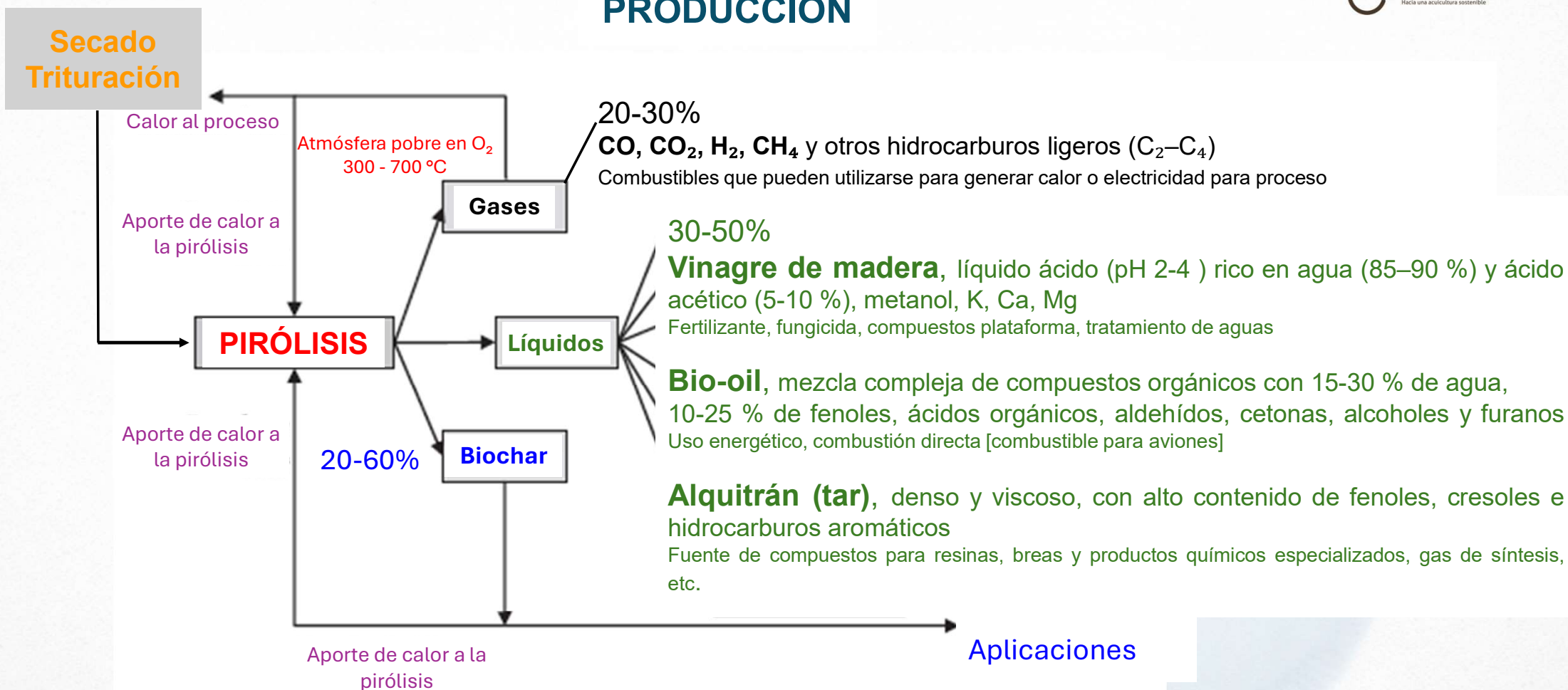
El Proyecto CARBODIET se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa Pleamar y está cofinanciado por la Unión Europea a través de Fondo Europeo Marítimo de Pesca y Acuicultura.

500–1000 d.C.: las civilizaciones precolombinas de la Amazonía crearon suelos fértiles ('Terra Preta') incorporando biochar de residuos orgánicos



Parámetro	Biochar (Biocarbón)	Charcoal (Carbón vegetal)
Materia prima	Biomasa diversa: residuos agrícolas, forestales, urbanos	Madera o residuos de madera
Proceso	Pirólisis termoquímica controlada	Carbonización/pirólisis convencional
Atmósfera	Oxígeno limitado o ausente	Oxígeno limitado
Temperatura típica	300 - 700 °C (dependiendo del producto)	400 - 900 °C (optimizada para energía)
Contenido de C (%)	50 - 90	70 - 95
Relación H/C (molar)	$\leq 0,7$	Variable, no regulada
Relación O/C (molar)	$\leq 0,4$	Variable
Superficie específica (BET)	Puede superar 500 m ² /g	Variable, generalmente menor
Porosidad	Bien desarrollada	Menos controlada
pH	Variable (ligeramente ácido - muy alcalino)	Generalmente neutro–alcalino
Capacidad intercambio catiónico	Media - alta	Baja
Contenido de cenizas	Variable según biomasa	Generalmente bajo
Uso principal	Enmienda/remediación de suelos, secuestro C.....Otros	Combustible sólido

PRODUCCIÓN



Adsorbente

*especialmente eficaz cuando el
biochar es activado*

Tratamiento de aguas urbanas e industriales y purificación de aire y gases

- Depuración de lixiviados de vertederos y aguas de digestión anaerobia
- Adsorción de metales pesados
- Retención de amonio, nitratos, fosfatos, pesticidas, hidrocarburos, fármacos y antibióticos, colorantes industriales
- Adsorción de compuestos orgánicos volátiles, olores, gases contaminantes
- Soporte de catalizadores (alta superficie y estabilidad)

Medicina

- Tratamiento médicos de intoxicaciones y envenenamientos
- Adsorbe toxinas, fármacos y venenos en el tracto gastrointestinal
- Tratamiento de sobredosis
- Reducción de diarreas y gases
- Adsorbe compuestos irritantes, productos de fermentación y toxinas bacterianas
- Aplicaciones en curación de heridas crónicas, úlceras y quemaduras
- Excipiente farmacéutico (en investigación)
- Hemoperfusión y purificación extracorpórea (investigación)

Cosmética

- Mascarillas faciales negras (peel-off, arcillas, geles)
- Limpiadores, jabones, espumas y geles purificantes
- Cepillos de dientes

Activación: proceso para generar más poros y/o aumentar el tamaño de los existentes

Física

Tratamiento con vapor de agua, aire, CO₂ / 600-900°C

Química

Mezcla precursor o biochar con agente activante
(H₃PO₄, ZnCl₂, KOH)
Calentamiento sin aire (N₂, 400-800°C)
Lavado

Carbón activo o activado

Biocombustible

Calderas industriales
Hornos
Sistemas de cogeneración
Centrales térmicas (co-combustión)
Industria cementera
Siderurgia (agente reductor)
Producción de H₂

Enmienda suelos / Fertilizante

- Aumenta la capacidad de intercambio catiónico
- Mejora la retención de nutrientes
- Actúa como reservorio lento de nutrientes
- Regula el pH
- Aumenta la porosidad y aireación del suelo.
- Incrementa la retención de agua
- Aumenta la diversidad y actividad microbiana.
- Mejora la interacción suelo-raíz (rizosfera)
- Inmoviliza metales pesados y contaminantes orgánicos.

Colorante E-153

- Regaliz negro
- Caramelos y gominolas
- Glaseados, fondant, detalles decorativos
- Pan "gourmet" y galletas oscuras
- Recubrimiento externo de quesos
- Máscaras, delineadores y sombras de ojos, esmalte de uñas

Material de construcción

- Compatibilidad con materiales tradicionales y madera y fibras naturales
- Aumenta la ligereza de los materiales
- Incrementa la porosidad → baja la conductividad térmica
- y mejora el aislamiento acústico
- Ayuda a estabilizar la humedad interior
- Adsorbe compuestos orgánicos volátiles y olores

Corrector de piensos

- Adsorbe micotoxinas (aflatoxinas, ocratoxina, etc.) en el tracto digestivo
- Reduce la biodisponibilidad de contaminantes
- Actúa como regulador del pH en el rumen o intestino
- Reduce diarreas y trastornos gastrointestinales
- Favorece un equilibrio más estable de la microbiota intestinal
- Disminuye la producción de amoníaco y metano en rumiantes
- Mejora del aprovechamiento del pienso
- Reduce pérdidas de nitrógeno en heces y orina
(resultados dependientes de dosis y especie)

FACTORES CLAVE

Materia Prima

Materiales orgánicos con alto contenido de C

- Principalmente lignocelulósicos: madera, residuos forestales
- Residuos vegetales: cáscaras (almendra, avellana, coco, nuez), huesos (aceituna, melocotón, cereza)
- Residuos urbanos,.....

Criterios de selección del precursor

- Capacidad para obtener un material carbonoso de buena calidad
- Baja humedad
- Bajo contenido en materia inorgánica (cenizas)
- Baja degradación durante el almacenamiento
- Disponibilidad y coste

Condiciones experimentales

- Velocidad de calentamiento
- Temperatura
- Tiempo de residencia a la temperatura máxima

Rendimiento del proceso

Características del producto final

- Composición
- Porosidad
- Química superficial

Biochar	Precursor	Cenizas (%ms)	Materia volátil (% ms)	Carbono fijo (% ms)	C (% ms)	H (% ms)	N (% ms)	S (% ms)	O (% ms)
E1	Tocón de alcornoque	1.9	28.8	69.3	78.6	2.8	0.7	0.03	16.0
E2	Encina	5.1	18.9	76.0	83.0	2.6	0.5	0.02	8.8
E3	Poda encina	1.8	26.5	71.7	81.4	3.7	0.5	0.02	12.6
E4	Residuos alcornoque	5.2	28.7	66.1	76.0	3.2	0.6	0.02	14.8
E7	Cáscara almendra	3.7	40.4	55.9	71.6	3.9	0.6	0.07	20.1
GM-350	Alcornoque - encina, 350°C	3.7	15.0	81.3	86.9	2.5	0.8	0.04	6.1
GM-450	Alcornoque - encina, 450°C	2.3	20.2	77.5	84.3	2.8	0.9	0.06	9.6
GM-530	Alcornoque - encina, 530°C	3.0	18.7	78.3	84.5	2.8	0.8	0.04	8.9
GM-570	Alcornoque- encina 530-570°C	2.1	29.6	68.3	78.5	3.7	0.6	0.03	15.1
M1	Restos eucalipto	4.7	20.6	74.7	81.9	2.8	0.3	0.02	10.3
M2		4.3	13.7	82.0	86.7	2.5	0.4	0.03	6.1
M3		4.9	9.6	85.5	88.7	1.6	0.3	0.02	4.5
M4		9.0	10.3	80.7	83.7	1.7	0.2	0.02	5.4
M5		3.0	12.1	84.9	88.7	1.8	0.3	0.04	6.2
N1	Eucalipto 400-500 °C	3.0	47.3	49.7	67.9	4.7	0.6	0.02	23.8
N2	Tocón eucalipto 400-450 °C	1.1	24.0	74.9	82.7	3.0	0.6	0.01	12.7
N3	Encina - Acebuche 400-500 °C	3.8	28.3	67.9	77.9	3.5	0.5	< 0.01	14.2
N4	Roble 400-500 °C	3.9	24.8	71.3	79.4	3.3	0.6	0.01	12.8
N5	Mezcla residuos ciruelo 400-500 °C	4.7	25.1	70.2	78.4	3.0	0.9	0.03	12.9
CARBOVET	Residuos Roble 600°C	8.7	22.4	68.9	77.8	2.5	0.8	0.1	10.1



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



GOBIERNO
DE ESPAÑA
VICERREINADO
TÉRMINO DEL GOBIERNO
MINISTERIO
DE LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



INSTITUTO
ESPAÑOL DE
OCEANOGRAFÍA



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



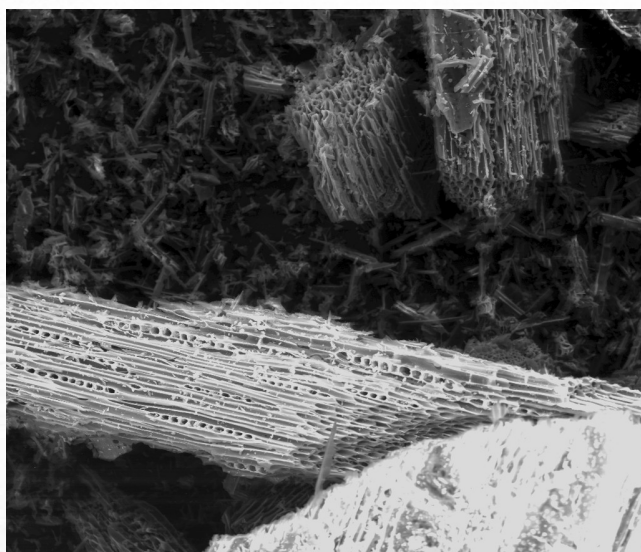
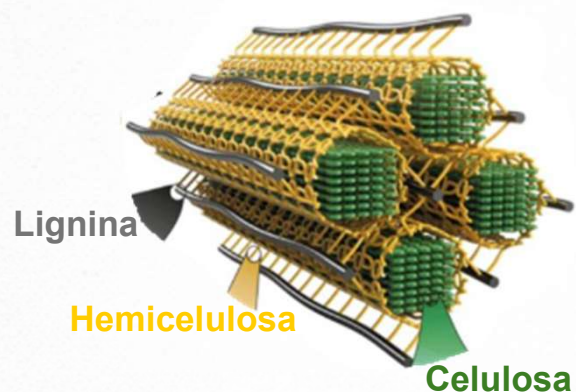
UNIVERSIDAD
DE CÁDIZ



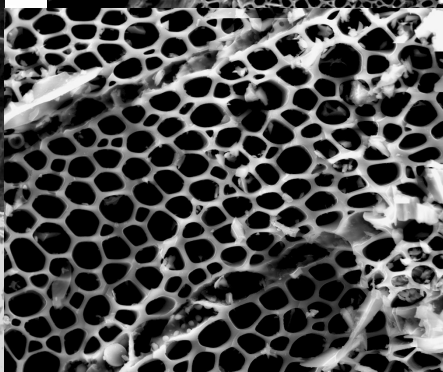
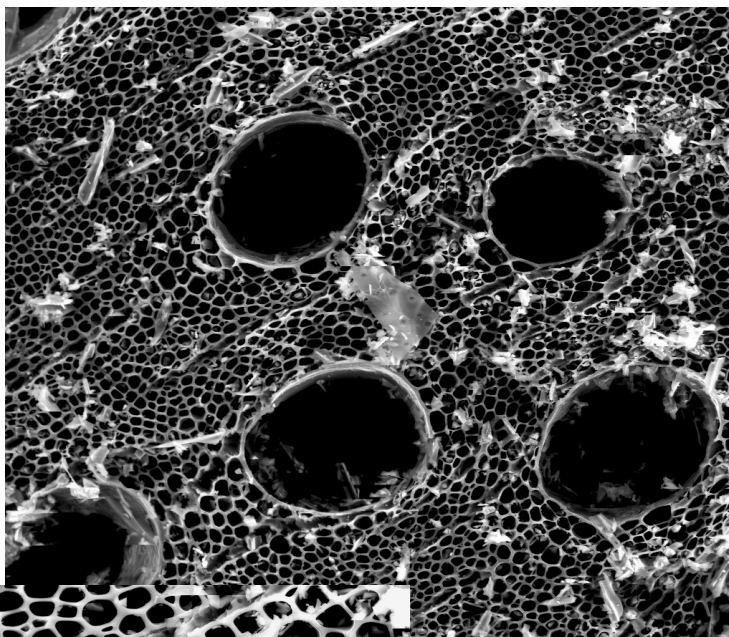
ASEMA

El Proyecto CARBODIET se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa Pleamar y está cofinanciado por la Unión Europea a través de Fondo Europeo Marítimo de Pesca y Acuicultura.

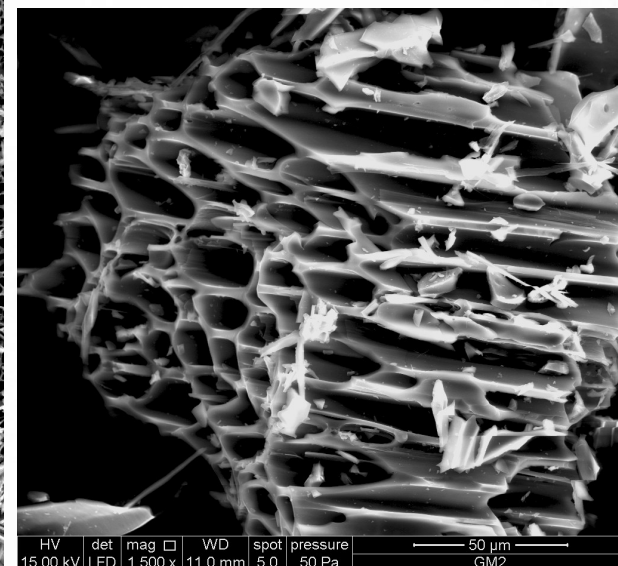
Área Superficial y Porosidad del Biochar



HV	det	mag	WD	spot	pressure	
15.00 kV	LFD	400 x	10.9 mm	5.0	50 Pa	300 µm
						GM1



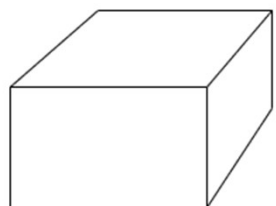
HV	det	mag	WD	spot	pressure	
15.00 kV	LFD	2.400 x	10.6 mm	5.0	50 Pa	50 µm
						GM1



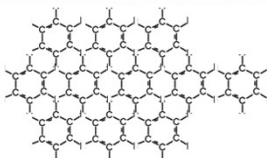
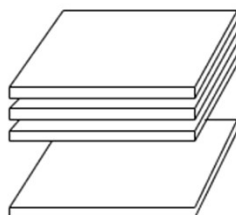
HV	det	mag	WD	spot	pressure	
15.00 kV	LFD	1.500 x	11.0 mm	5.0	50 Pa	50 µm
						GM2

Se liberan volátiles → huecos → poros
La matriz de carbono se reorganiza

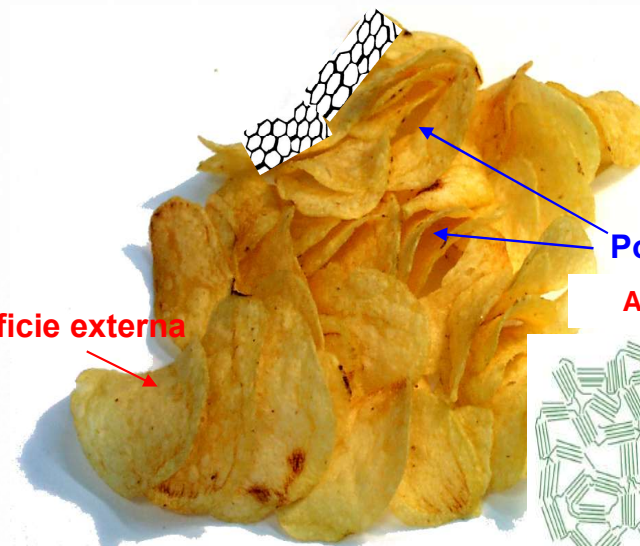
Grafito



Láminas grafito

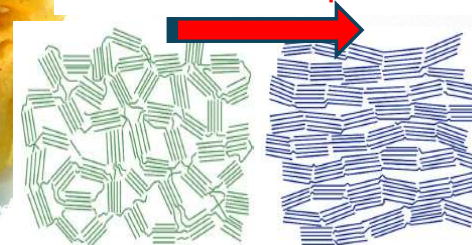


Superficie externa

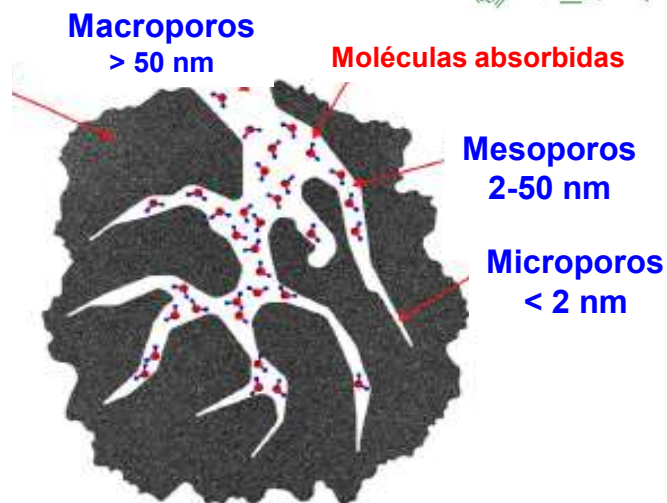


Poros

Aumento de temperatura



Matriz Carbonosa



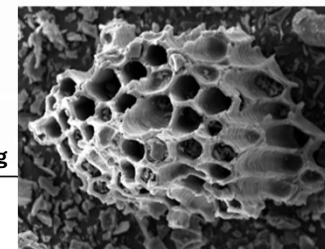
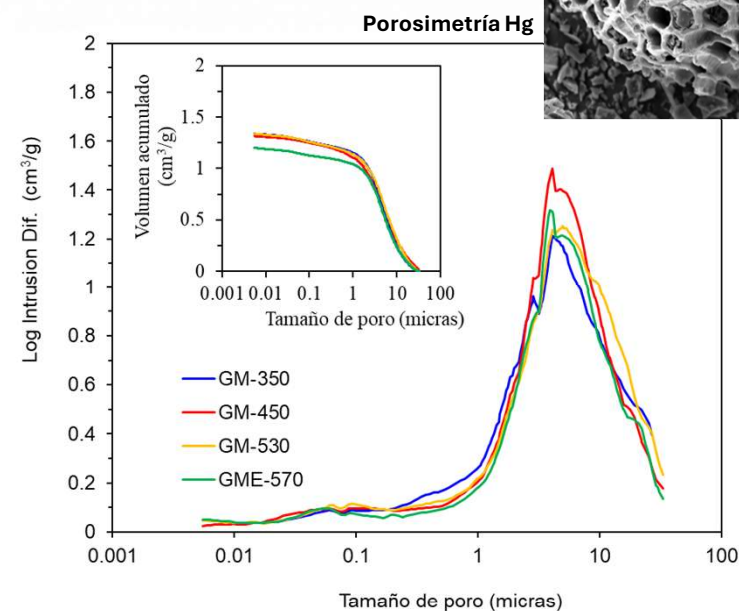
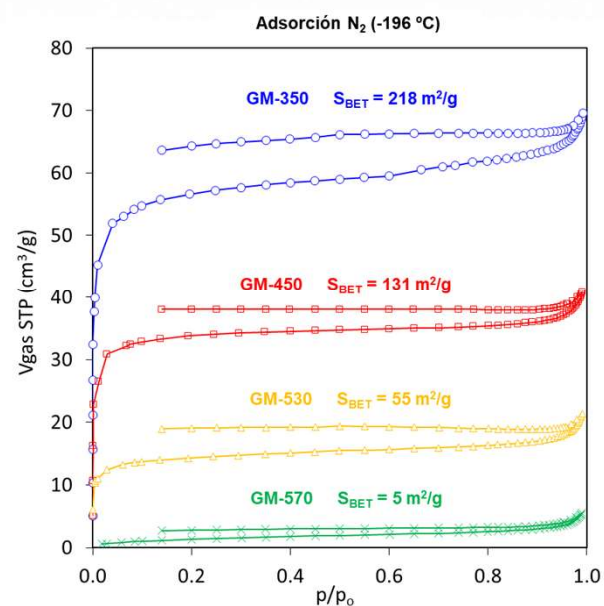
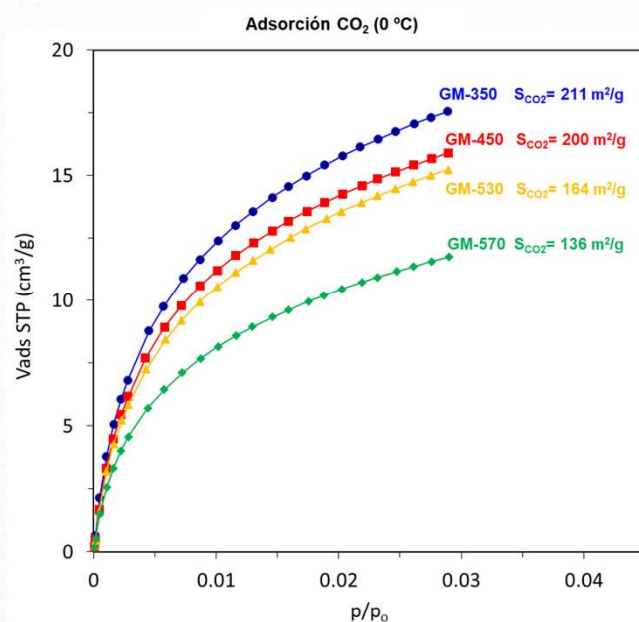
**Macroporos
> 50 nm**

Moléculas absorbidas

**Mesoporos
2-50 nm**

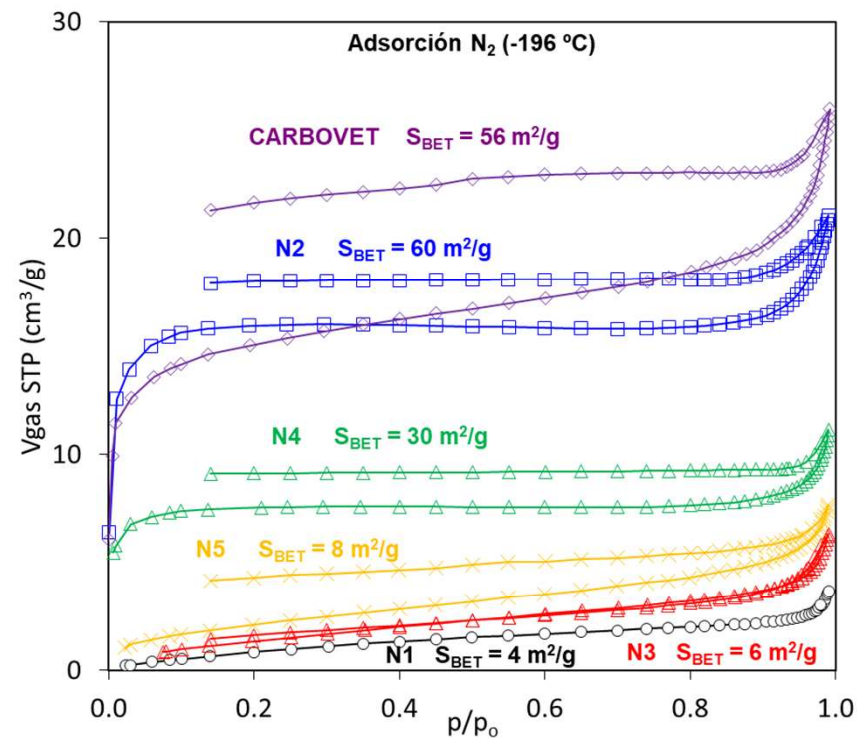
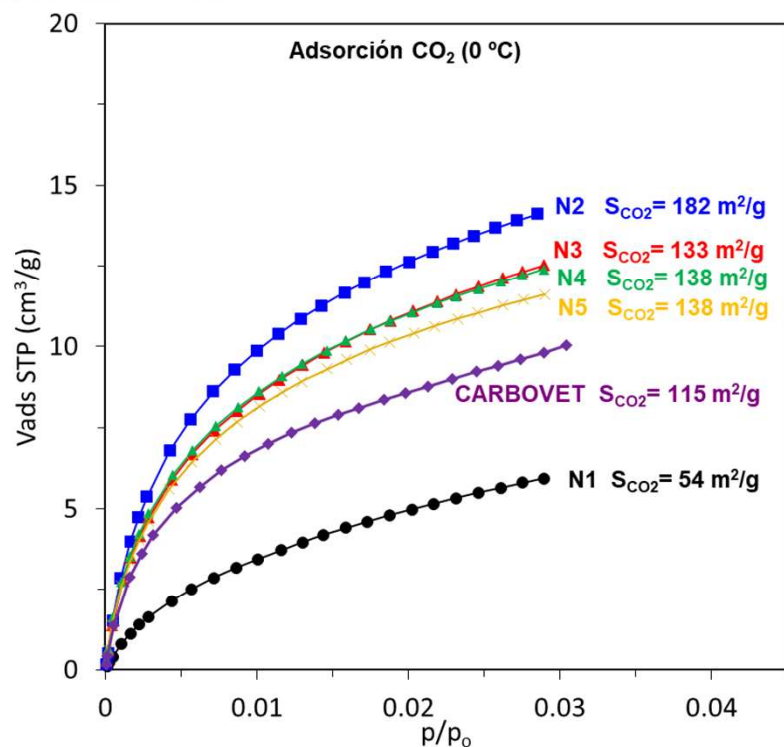
**Microporos
< 2 nm**

Evolución de la porosidad del biochar de alcornoque + encina con la temperatura de producción

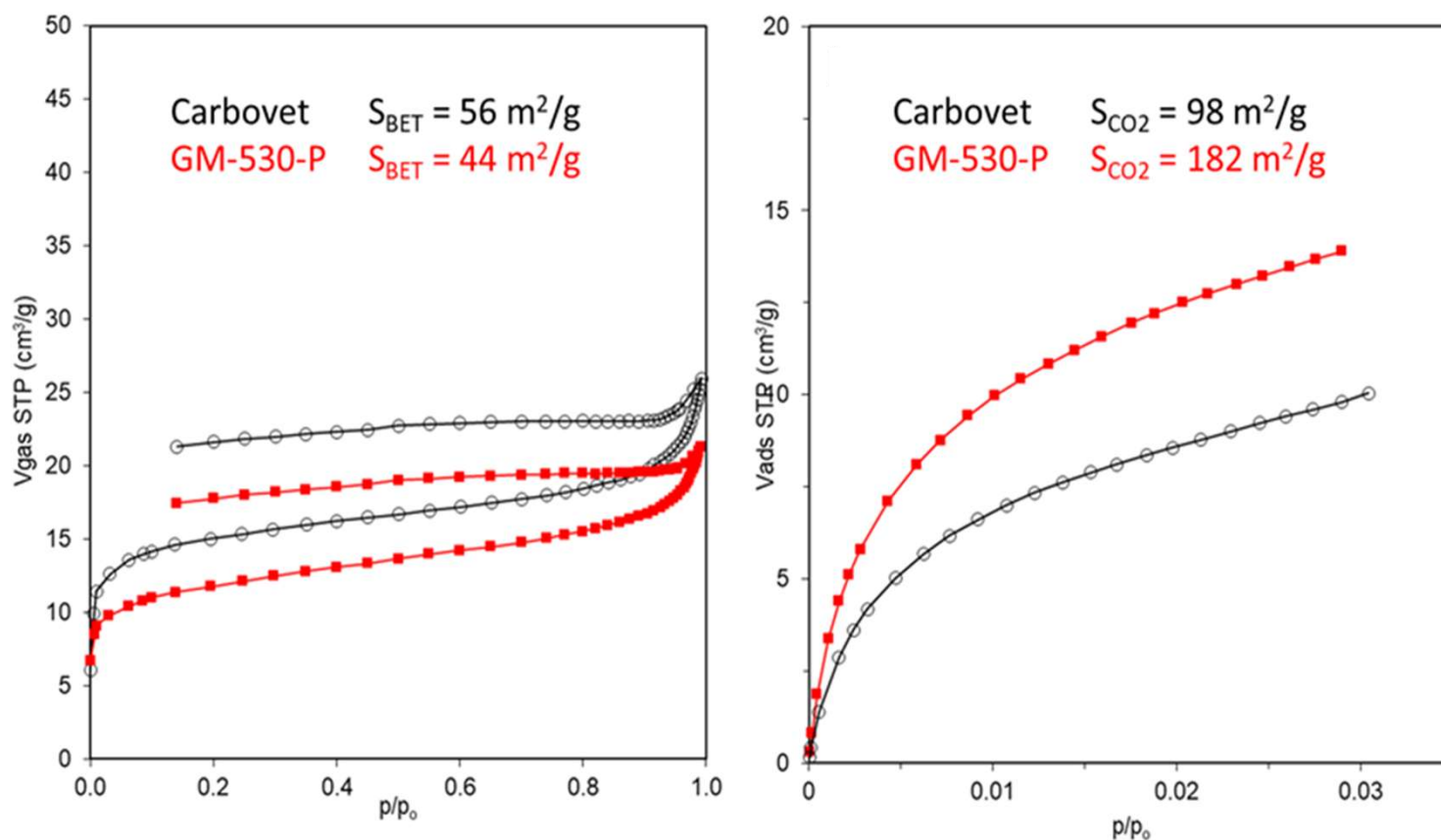


Influencia del precursor sobre la porosidad del biochar producido a 400-500 °C

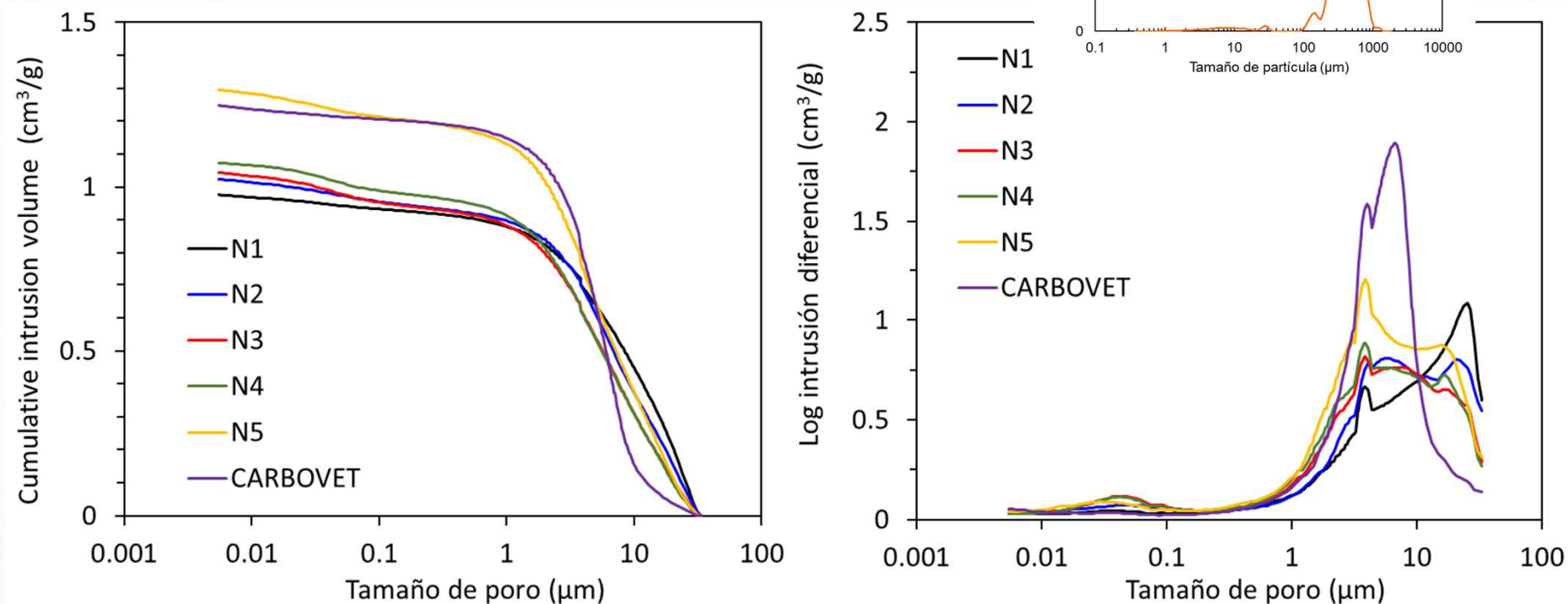
- N1 Eucalipto
- N2 Tocón eucalipto
- N3 Encina – Acebuche
- N4 Roble
- N5 Mezcla residuos ciruelo



Estudios previos con biochar de alcornoque y encina

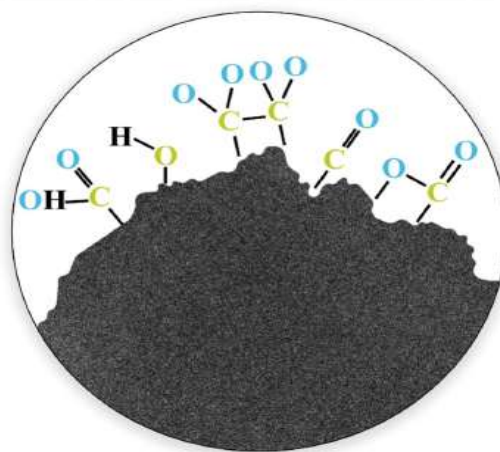
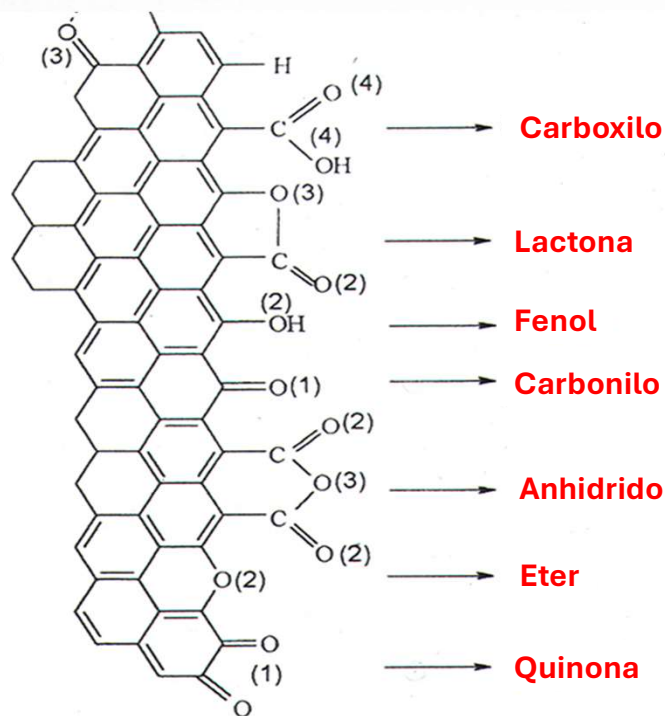


Porosimetría Hg



Química Superficial

Átomos o grupos de átomos presentes en la superficie del biochar que determinan su **reactividad química**, **capacidad de adsorción**, **propiedades ácido-base** a través de interacciones específicas



Hidroxilos (-OH) → comportamiento polar, participa en enlaces de hidrógeno

Carboxilos (-COOH) → confieren carácter ácido, facilitan la adsorción de metales pesados

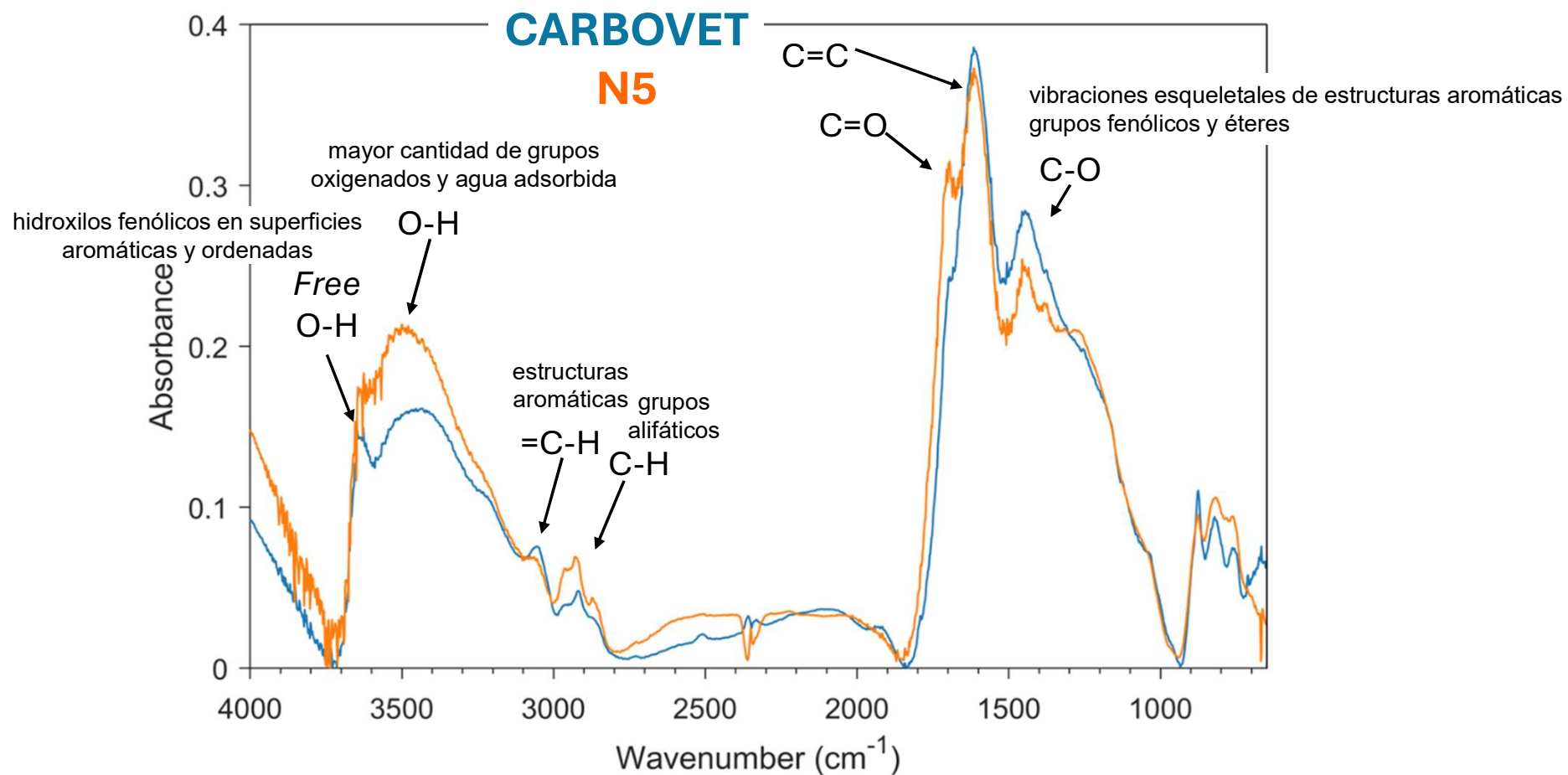
Carbonilos (C=O) → presentes en quinonas y lactonas, activos en reacciones redox

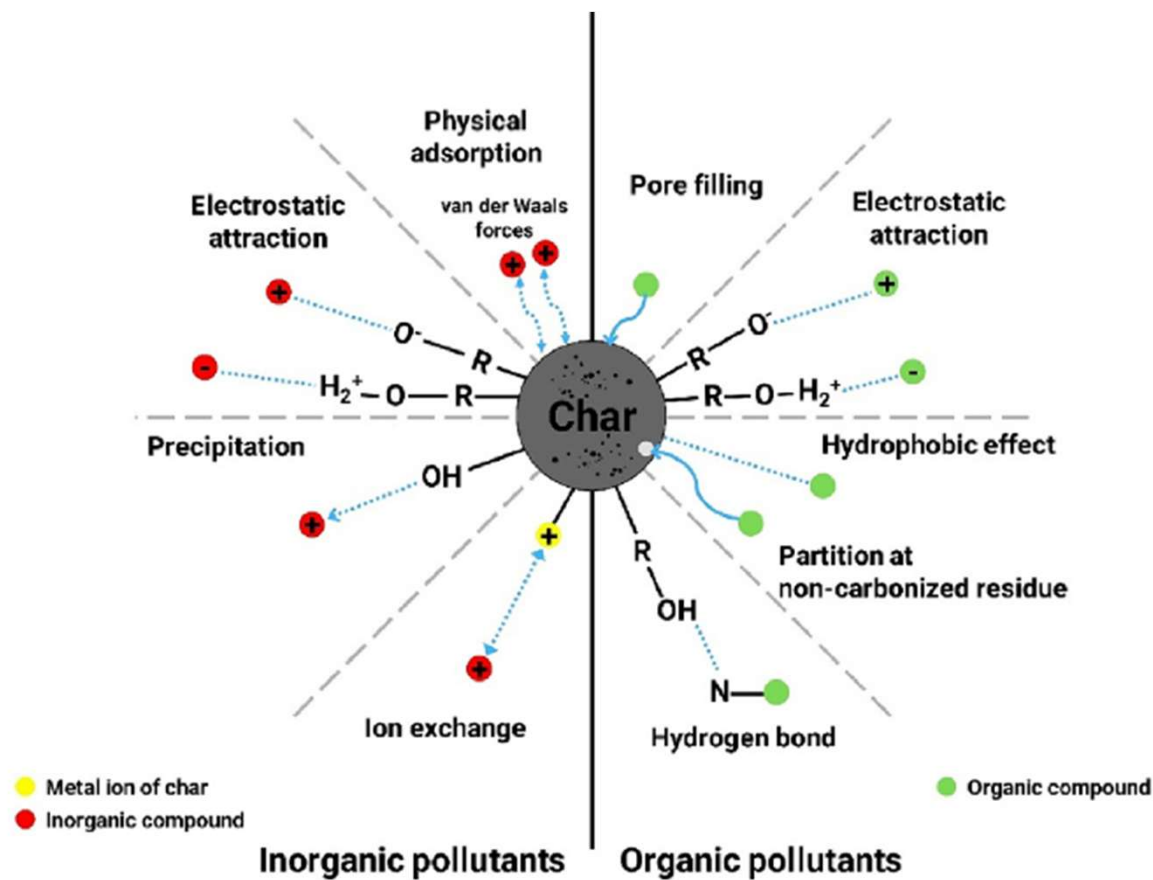
Éteres (C-O-C) → menos reactivos, contribuyen a la estabilidad estructural

Grupos nitrogenados: si la biomasa contiene nitrógeno, pueden formarse grupos como Aminas, Amidas, Nitrilos. Estos grupos contribuyen a la capacidad de intercambio catiónico y a la adsorción de compuestos ácidos

Grupos sulfurosos, menos frecuentes, pero pueden formarse si la biomasa contiene azufre: Tioles, Sulfatos o sulfonatos. Pueden interactuar con metales pesados o participar en reacciones redox

Grupos aromáticos o π -conjugados formados durante la carbonización avanzada (>500 °C): Anillos aromáticos con heteroátomos oxigenados o nitrogenados. Responsables de propiedades hidrófobas y estabilidad química del biochar





Wong et al., *Sci. Total Environ.* 929 (2024) 172574doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172574

Aplicación de biochar en la acuicultura

- ❑ **Optimizar la producción y el diseño del biochar** con propiedades específicas orientadas a aspectos concretos de la salud y bienestar de determinados sistemas acuáticos
- ❑ **Estudios de impacto a largo plazo** para determinar los efectos a largo plazo sobre la salud y la productividad de los organismos acuáticos + calidad del agua y del sedimento
- ❑ **Evaluación del impacto ecológico** de la aplicación de biochar en el ecosistema acuícola
- ❑ **Regulaciones y directrices** para el uso de biochar en acuicultura, incluyendo recomendaciones sobre los tipos y cantidades adecuadas y procedimientos seguros de aplicación
- ❑ **Capacitación y concienciación pública** sobre su uso eficaz en la producción segura y de calidad de piensos y del agua



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



El Proyecto CARBODIET se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa Pleamar y está cofinanciado por la Unión Europea a través de Fondo Europeo Marítimo de Pesca y Acuicultura.

Muchas gracias

