



## Trabajo Fin de Grado

Efecto de la fracción inorgánica del purín en la capacidad adsorbente de CO<sub>2</sub> del char de pirólisis

### Anexo I. Instalaciones experimentales

Autor

Andrés Vicente Oliete

Directoras

María África Navarro Gil  
Gloria Gea Galindo

Grado en Ingeniería Química  
Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
Junio 2022

## Índice Anexo I

1	Sistema experimental de la pirólisis en lecho fijo.....	2
2	Adsorción en lecho fijo.....	4
3	Adsorción en TGA.....	5
4	Caracterización del char .....	6
4.1	Análisis elemental .....	6
4.2	Análisis FTIR.....	6



## 1 Sistema experimental de la pirólisis en lecho fijo

En la Figura 1 se representa la planta experimental de pirólisis en lecho fijo. El N<sub>2</sub> se introduce en el reactor por la zona superior del reactor de lecho fijo (Figura 2) que se encuentra dentro del horno.



Figura 1. Planta de pirólisis en reactor de lecho fijo.



Figura 2. Reactor de lecho fijo.

En la Figura 3 aparece el condensador con el que se recogen los gases condensables a salida del reactor.



Figura 3. Condensador.

A continuación del condensador se encuentra un filtro de algodón para evitar que pueda llegar líquido al cromatógrafo de gases.



Figura 4. Filtro de algodón.

El cromatógrafo que se utiliza para la caracterización de los gases es el es el modelo Agilent 3000-A que aparece en la Figura 5.



Figura 5. Micro-cromatógrafo Agilent 3000-A

La temperatura del reactor se controla mediante un controlador y un termopar tipo K (Figura 6). Para evitar la condensación de vapores antes del condensador se utiliza una resistencia (Figura 7) en la zona inferior del reactor.



Figura 6. Controladores de temperatura y termopar del reactor.



Figura 7. Resistencia en la zona inferior del horno.

## 2 Adsorción en lecho fijo

Para controlar los caudales de gases se utilizan los controladores que aparecen en la Figura 8.



Figura 8. Controladores de caudal de N<sub>2</sub>, Ar y CO<sub>2</sub>.

En la Figura 9 se puede observar el interior del horno donde se encuentra el tubo en U de vidrio donde introduciremos nuestro lecho fijo.



Figura 9. Tubo en U de vidrio con lecho fijo.

El espectrómetro de masas utilizado en el sistema experimental de adsorción de CO<sub>2</sub> en lecho fijo es un Hiden Analytical QIC-20, aparece en la Figura 10.



Figura 10. Espectrómetro de masas Hiden Analytical QIC-20.

### 3 Adsorción en TGA

La termobalanza utilizada para hacer la termogravimetría se muestra en la Figura 11.

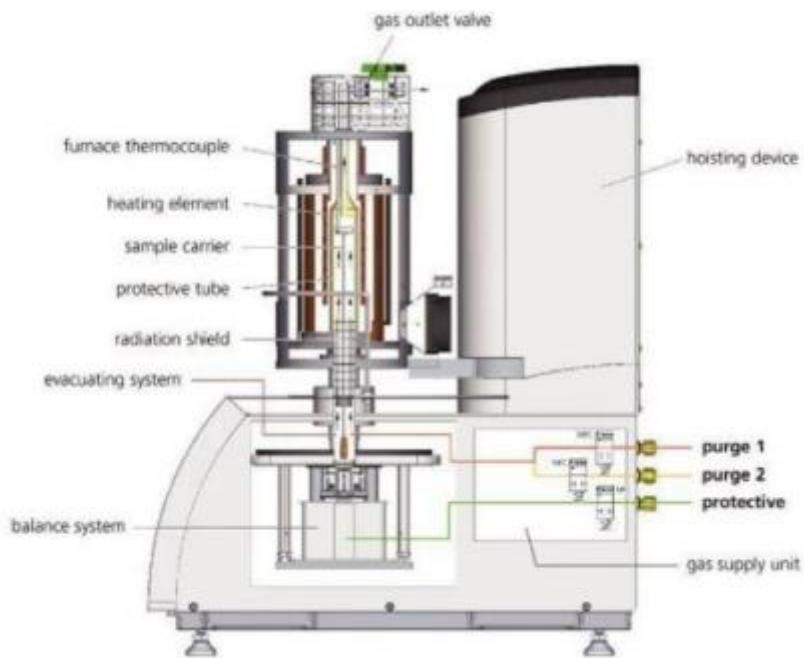


Figura 11. Termobalanza Netzsch STA 449 Jupiter.

## 4 Caracterización del char

### 4.1 Análisis elemental

Mediante el análisis elemental de los chares de pirólisis podemos obtener el porcentaje de C, H y N que tenemos en la muestra. El equipo que se ha utilizado para realizar este análisis es un Analizador LECO TruSpec Micro (Figura 12).



Figura 12. Analizador LECO TruSpec Micro.

### 4.2 Análisis FTIR

El análisis FTIR es un método por el que podemos conocer los enlaces y grupos funcionales de la muestra mediante espectroscopia utilizando la energía del infrarrojo.

El equipo utilizado para este análisis es un espectrómetro Cary 630 FTIR de Agilent Technologies (Figura 13).



Figura 13. Espectrómetro Cary 630 FTIR de Agilent Technologies.





## Trabajo Fin de Grado

**Efecto de la fracción inorgánica del purín en la capacidad adsorbente de CO<sub>2</sub> del char de pirólisis**

### Anexo II. Resultados experimentales

Autor

Andrés Vicente Oliete

Directoras

María África Navarro Gil  
Gloria Gea Galindo

Grado en Ingeniería Química  
Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
Junio 2022

## Índice Anexo II

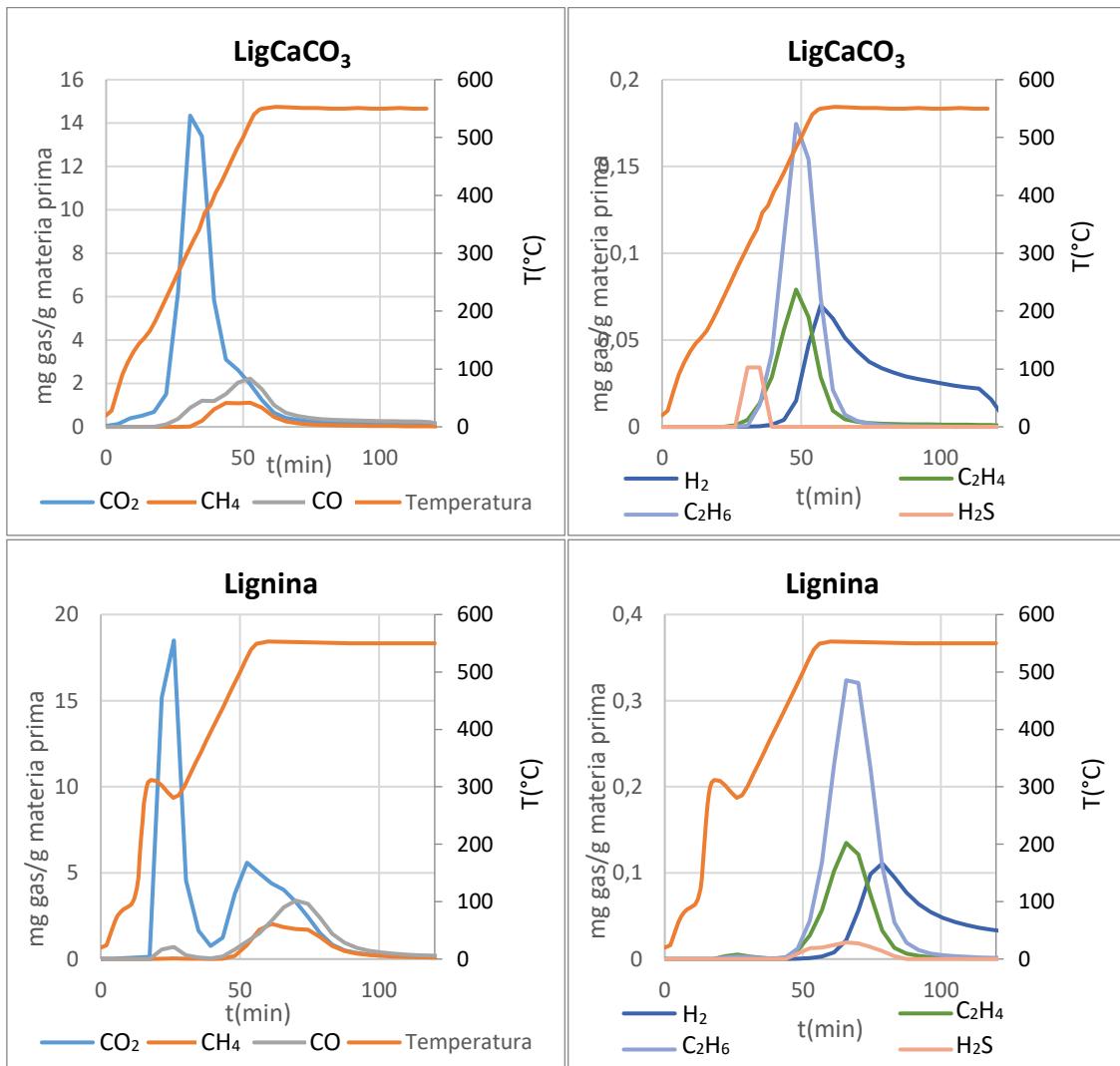
1	Pirólisis .....	1
1.1	Evolución de los gases con el tiempo .....	1
1.2	Análisis elemental .....	3
2	Adsorción de CO <sub>2</sub> .....	4
2.1	Lecho fijo .....	4
2.2	Termogravimetría.....	5



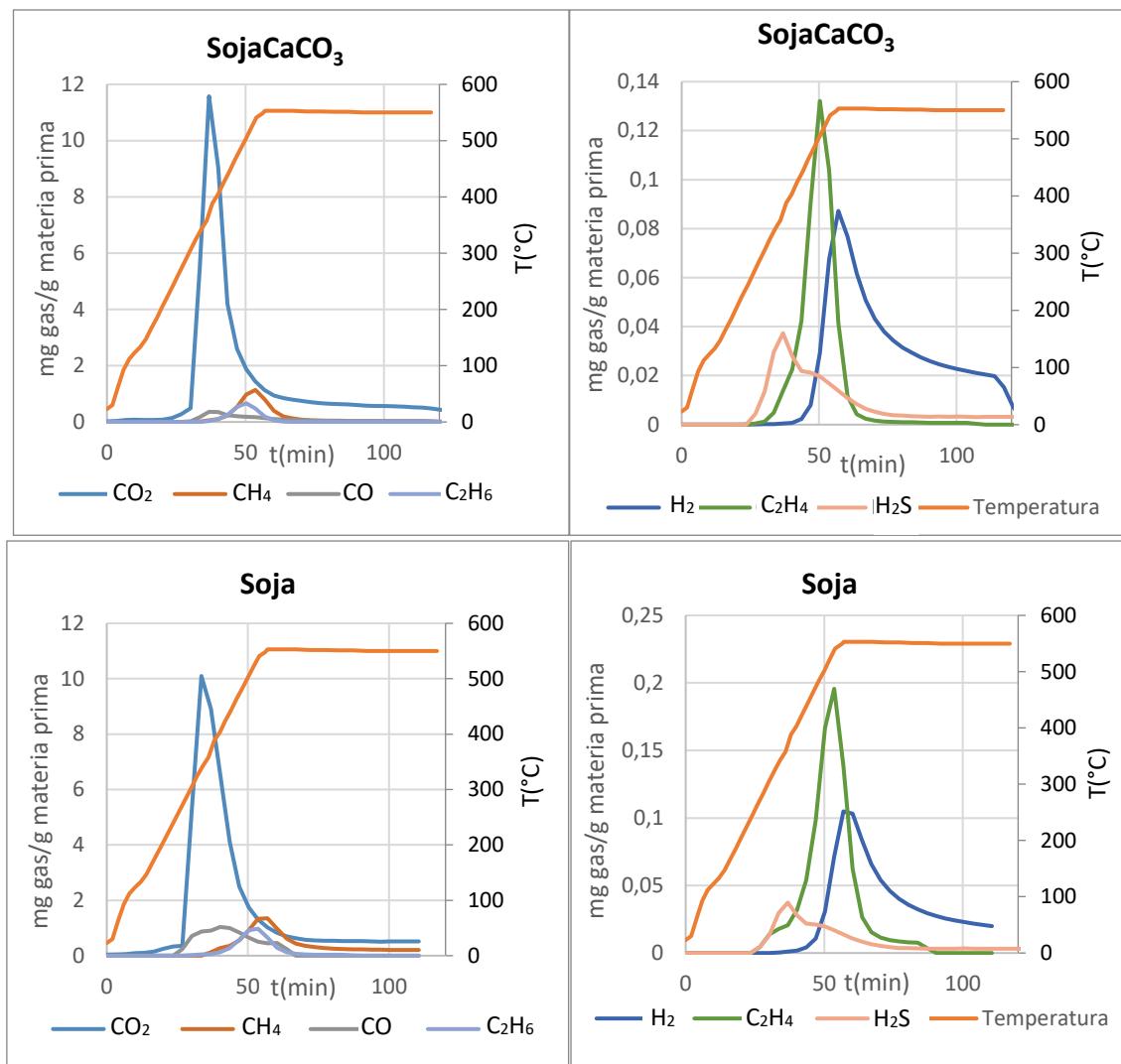
## 1 Pirólisis

### 1.1 Evolución de los gases con el tiempo

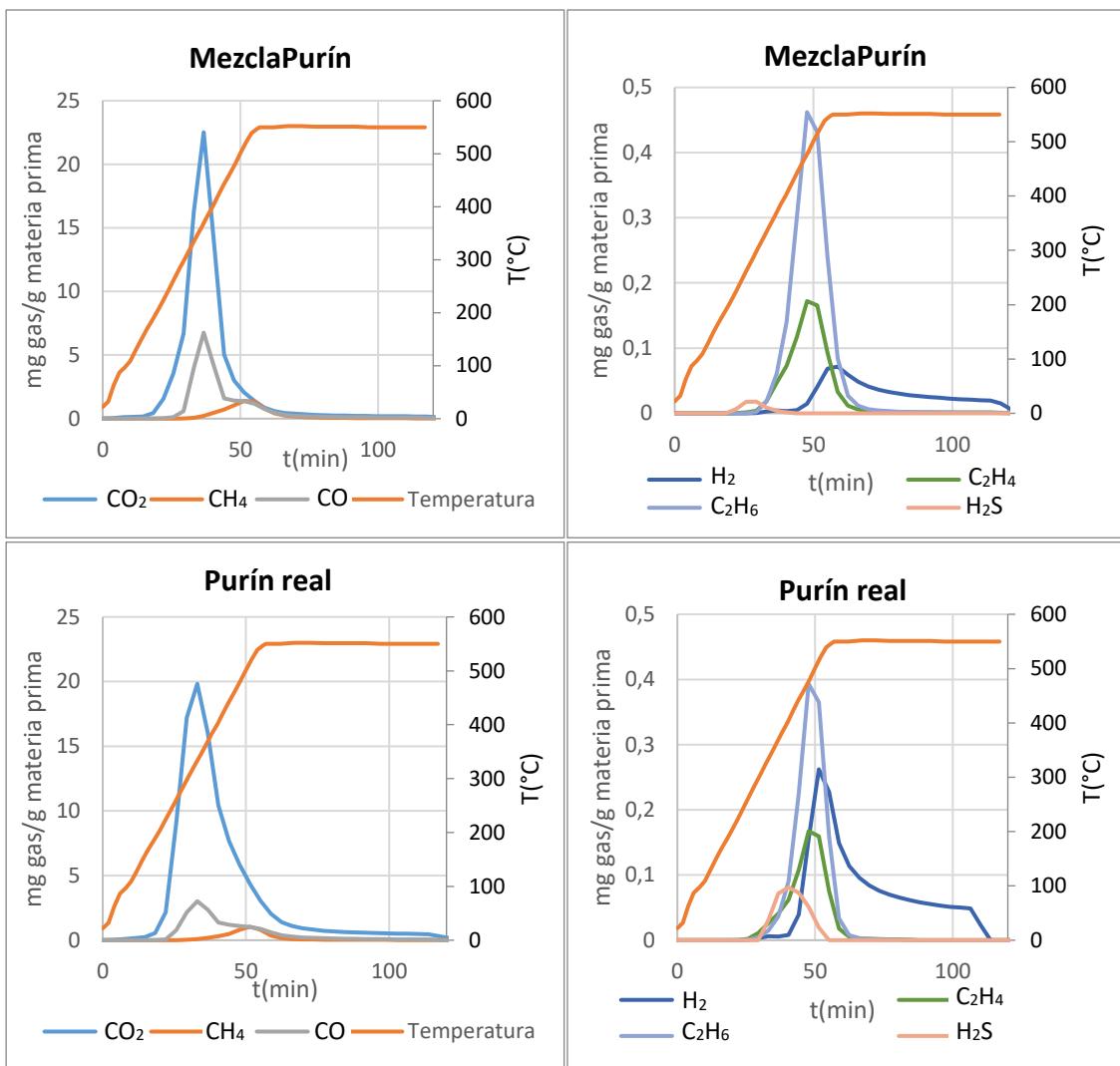
En las gráficas 1, 2 y 3 se presentan la evolución con el tiempo de los gases y la temperatura del reactor en el proceso de pirolisis tanto para las mezclas como para los componentes puros.



Gráfica 1. Evolución de los gases obtenidos en la pirolisis para LigCaCO<sub>3</sub> y Lignina pura con el tiempo del ensayo y la temperatura del reactor.



Gráfica 2. Evolución de los gases obtenidos en la pirólisis para SojaCaCO<sub>3</sub> y Soja pura con el tiempo del ensayo y la temperatura del reactor.



Gráfica 3. Evolución de los gases obtenidos en la pirólisis para MezclaPurín y purín real con el tiempo del ensayo y la temperatura del reactor.

## 1.2 Análisis elemental

En la Tabla 1 se muestra el análisis elemental de los *char*es obtenidos por pirólisis de los componentes puros a 550 °C.

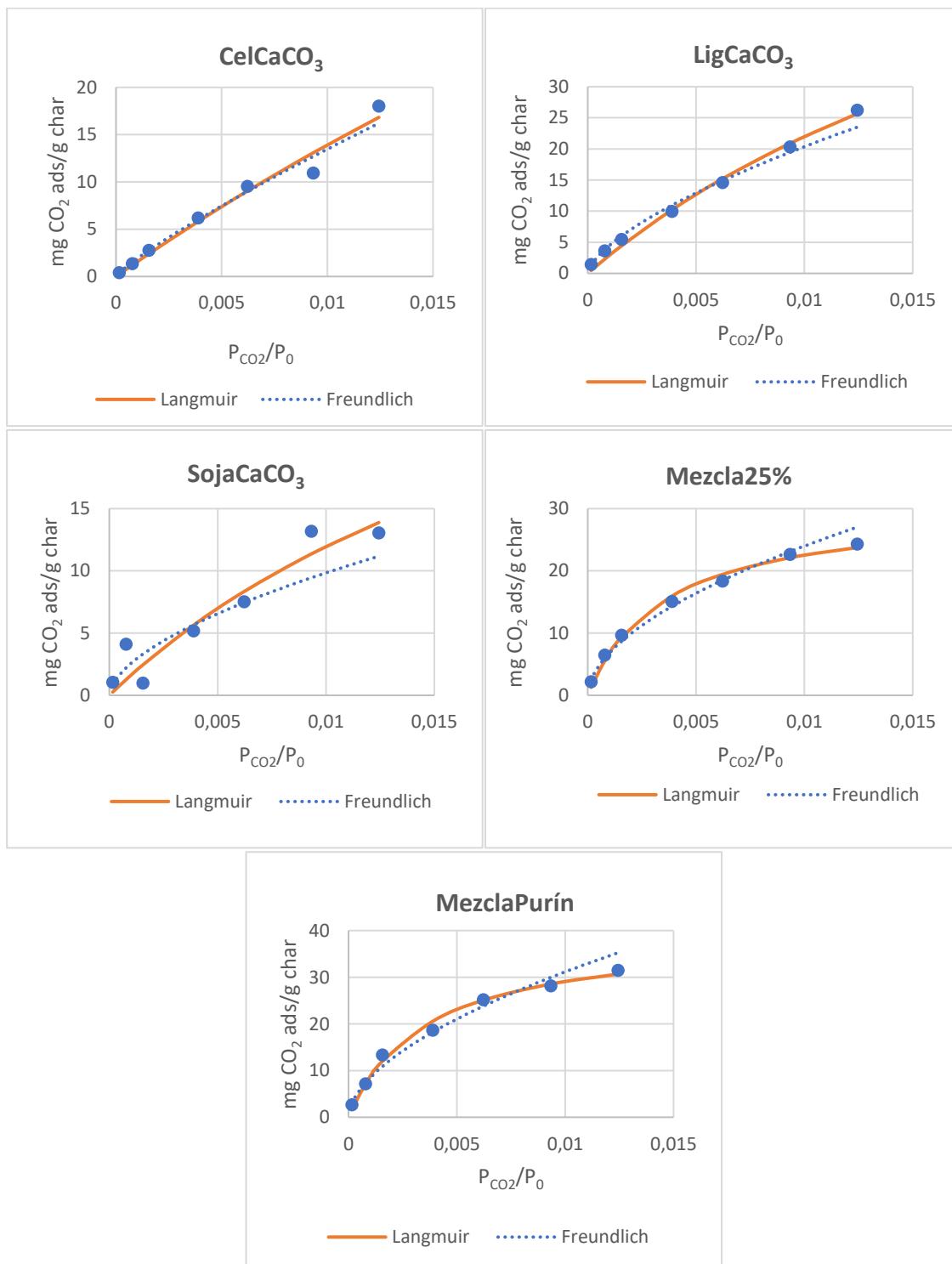
Tabla 1. Análisis elemental de los *char*es de los componentes puros.

	C (%)	H (%)	N (%)
<b>Celulosa</b>	88,2	3	0,3
<b>Lignina</b>	82,9	3,21	1,24
<b>Soja</b>	56,9	2,76	10,39
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	12	0	0

## 2 Adsorción de CO<sub>2</sub>

### 2.1 Lecho fijo

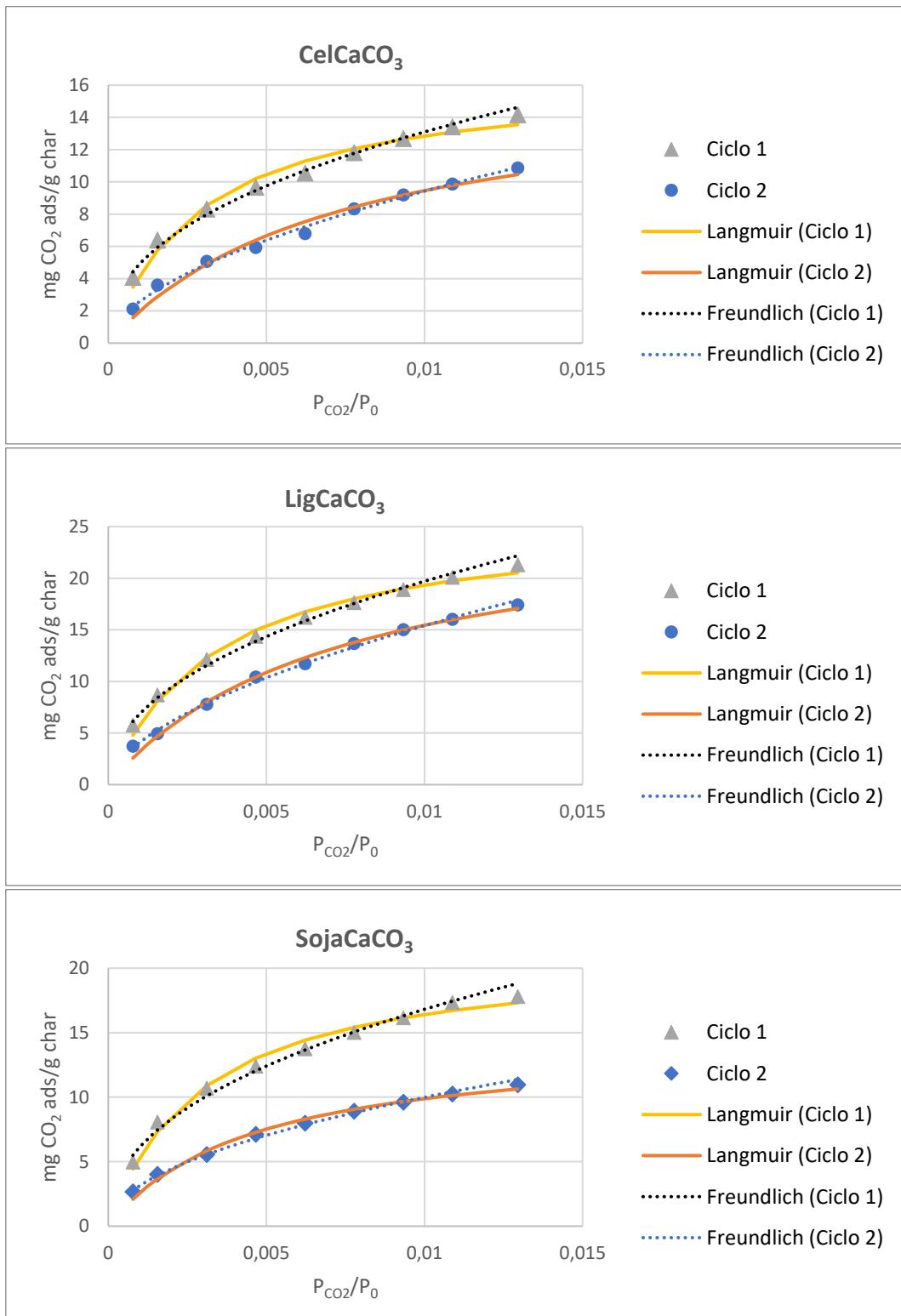
La Gráfica 4 muestra los resultados experimentales de adsorción de CO<sub>2</sub> para los chares obtenidos por pirolisis para las distintas mezclas utilizando el sistema experimental de lecho fijo. Los datos se han ajustado a las isotermas de Langmuir y Freundlich.



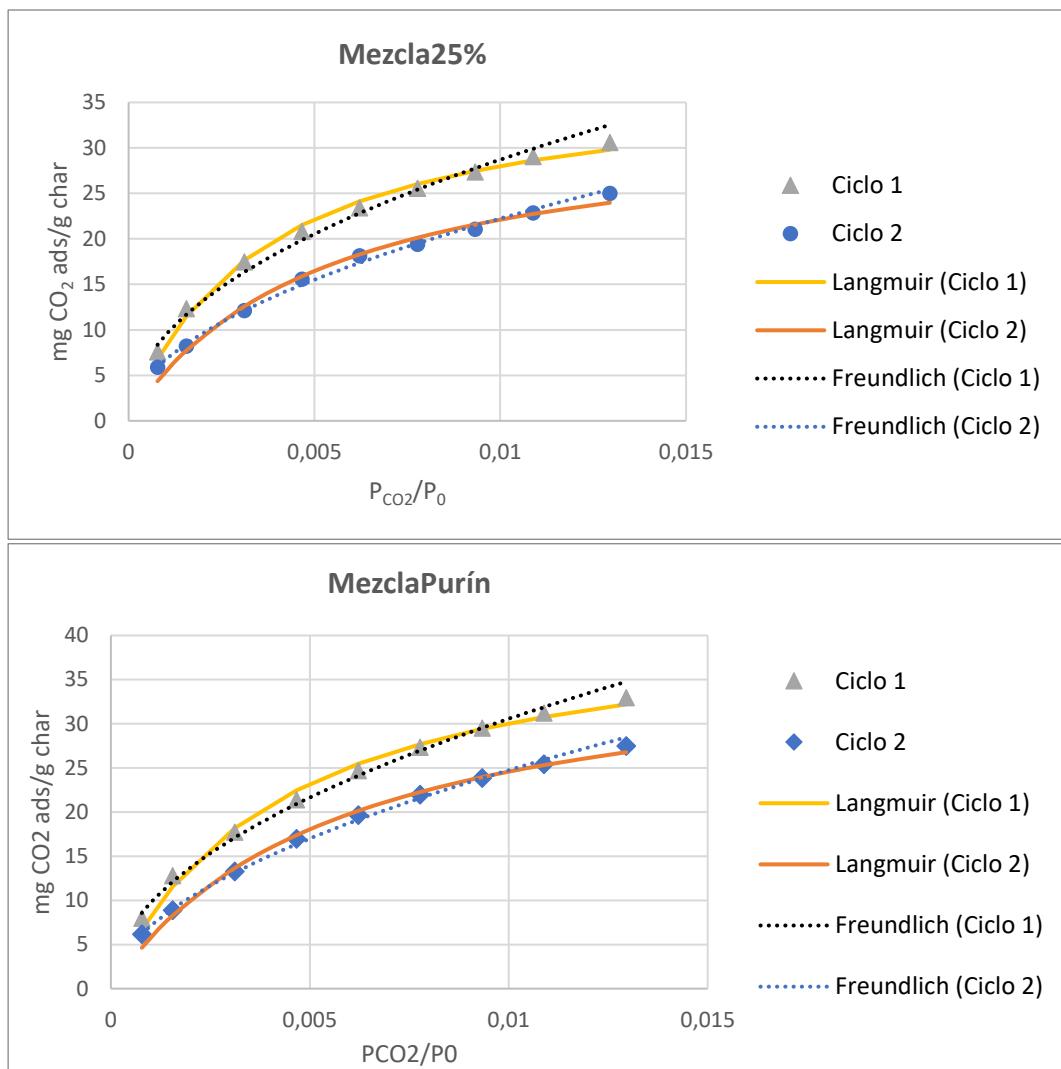
Gráfica 4. Isotermas ajustadas a Langmuir y Freundlich para los resultados experimentales de adsorción de CO<sub>2</sub> (círculos) utilizando lecho fijo del char de todas las mezclas.

## 2.2 Termogravimetría

En las gráficas 5 y 6 se presentan los resultados experimentales de adsorción de CO<sub>2</sub> utilizando el método experimental de TGA para los chares obtenidos para las distintas mezclas y el ajuste a las isotermas de Langmuir y Freundlich.



Gráfica 5. Isotermas ajustadas a Langmuir y Freundlich para los resultados experimentales de adsorción de CO<sub>2</sub> utilizando TGA de los chares de las mezclas binarias.



Gráfica 6. Isotermas ajustadas a Langmuir y Freundlich para los resultados experimentales de adsorción de CO<sub>2</sub> utilizando TGA de los chares de Mezcla25% y MezclaPurín.

En la Tabla 2 se recogen los valores de los parámetros calculados para las isotermas de Freundlich y Langmuir para las distintas mezclas

Tabla 2. Parámetros obtenidos para cada mezcla en el ajuste a las isotermas de Langmuir y Freundlich.

		Parámetros Langmuir		Parámetros Freundlich		R <sup>2</sup> Langmuir	R <sup>2</sup> Freundlich
		C <sub>m</sub> (mg/g)	K <sub>g</sub> (1/bar)	K <sub>f</sub> (mg/gbar <sup>n</sup> )	n		
CelCaCO <sub>3</sub>	<b>TGA Ciclo 1</b>	16,6 ± 0,8	5,3 ± 0,8	15,5 ± 0,2	2,5 ± 0,1	0,976	0,994
	<b>TGA Ciclo 2</b>	16,3 ± 1,6	2,1 ± 0,5	12,0 ± 0,2	1,8 ± 0,1	0,974	0,994
	<b>Lecho Fijo</b>	140 ± 229	0,2 ± 0,3	20,8 ± 1,5	1,1 ± 0,1	0,964	0,974
LigCaCO <sub>3</sub>	<b>TGA Ciclo 1</b>	26 ± 1	4,5 ± 0,5	23,5 ± 0,3	2,3 ± 0,1	0,988	0,994
	<b>TGA Ciclo 2</b>	26,6 ± 1,7	2,1 ± 0,3	19,7 ± 0,3	1,8 ± 0,1	0,990	0,996
	<b>Lecho Fijo</b>	82 ± 25	0,6 ± 0,2	30,6 ± 0,7	1,3 ± 0,1	0,990	0,996
SojaCaCO <sub>3</sub>	<b>TGA Ciclo 1</b>	21,2 ± 0,8	5,2 ± 0,6	19,8 ± 0,4	2,5 ± 0,1	0,984	0,990
	<b>TGA Ciclo 2</b>	14,4 ± 0,7	3,4 ± 0,4	12,2 ± 0,2	2,1 ± 0,1	0,988	0,996
	<b>Lecho Fijo</b>	41 ± 37	0,6 ± 0,8	16,5 ± 2,1	1,3 ± 0,3	0,901	0,903
Mezcla25%	<b>TGA Ciclo 1</b>	38,1 ± 1,1	4,3 ± 0,4	34,1 ± 0,7	2,3 ± 0,1	0,994	0,990
	<b>TGA Ciclo 2</b>	33,6 ± 1,9	3,0 ± 0,4	27,6 ± 0,4	2,0 ± 0,1	0,986	0,996
	<b>Lecho Fijo</b>	30,6 ± 1,8	4,4 ± 0,7	28,0 ± 0,7	2,1 ± 0,1	0,990	0,994
MezclaPurín	<b>TGA Ciclo 1</b>	42,6 ± 1,7	3,7 ± 0,4	36,9 ± 0,6	2,2 ± 0,1	0,990	0,994
	<b>TGA Ciclo 2</b>	38,5 ± 1,8	2,7 ± 0,3	30,8 ± 0,4	1,9 ± 0,1	0,992	0,996
	<b>Lecho Fijo</b>	39,5 ± 2,4	4,37 ± 0,7	36,2 ± 1,4	2,1 ± 0,2	0,990	0,986