

# Universidad de León

## Mejorando la valorización energética de lodos mediante procesos conjuntos de Digestión-Pirolisis

*X. Gómez, J.G. Rosas, C. Fernández, E.J. Martínez,  
M.E. Sánchez*

Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León. Avda Portugal 41, 24071.  
León

# Esquema general

- IRENA: Valorización de residuos
- Digestión de lactosuero
- Sistemas de co-digestión con lodos EDAR
- Experiencia en sistemas de pirólisis
- Combinando procesos de co-digestión – pirólisis de lodos





# universidad de león



Instituto de Medio Ambiente,  
Recursos Naturales y  
Biodiversidad



universidad  
de león

El grupo de investigación, perteneciente al IRENA y dedicado a la valorización de residuos, es el *Grupo de Ingeniería Química, Ambiental y Bioprocesos*. Es un grupo multidisciplinar, integrado por más de 25 personas. En los últimos diez años la labor del grupo se ha desarrollado fundamentalmente en las líneas de:

- ❖ Valorización energética de diversos residuos orgánicos mediante digestión anaerobia y pirólisis.
- ❖ Tratamiento de aguas residuales mediante MEC y MFC. Tratamientos bioelectroquímicos
- ❖ Producción de biofertilizantes.
- ❖ Producción de hidrógeno a partir de la fermentación biológica de residuos orgánicos
- ❖ Desarrollo de prototipos destinados a la valorización energética



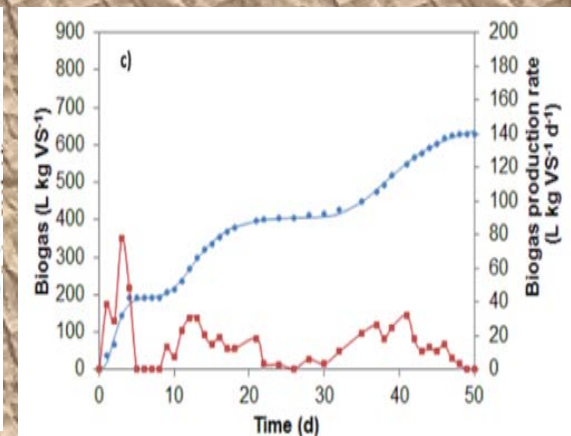
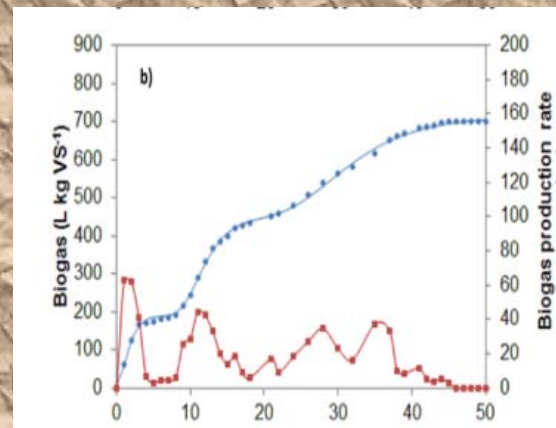
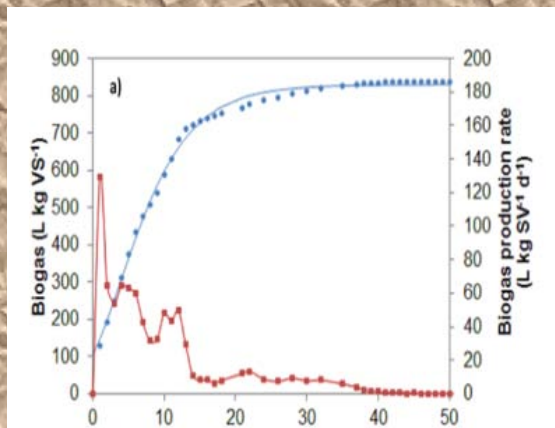
# Sistemas de digestión de lactosuero (Nuestra experiencia)

- Régimen mesofílico
- Reactores con acumulación de biomasa – Reactores de membrana
- Régimen termofílico
- Sistemas de dos fases para la producción de  $H_2-CH_4$
- Sistemas conjuntos de producción  $H_2$  mediante FHP - bioelectrólisis



# Evaluación del proceso de digestión de lactosueros

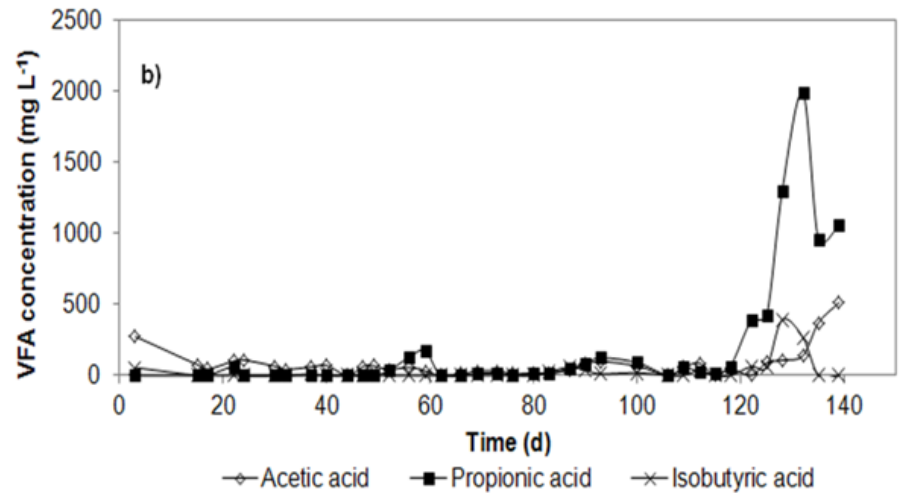
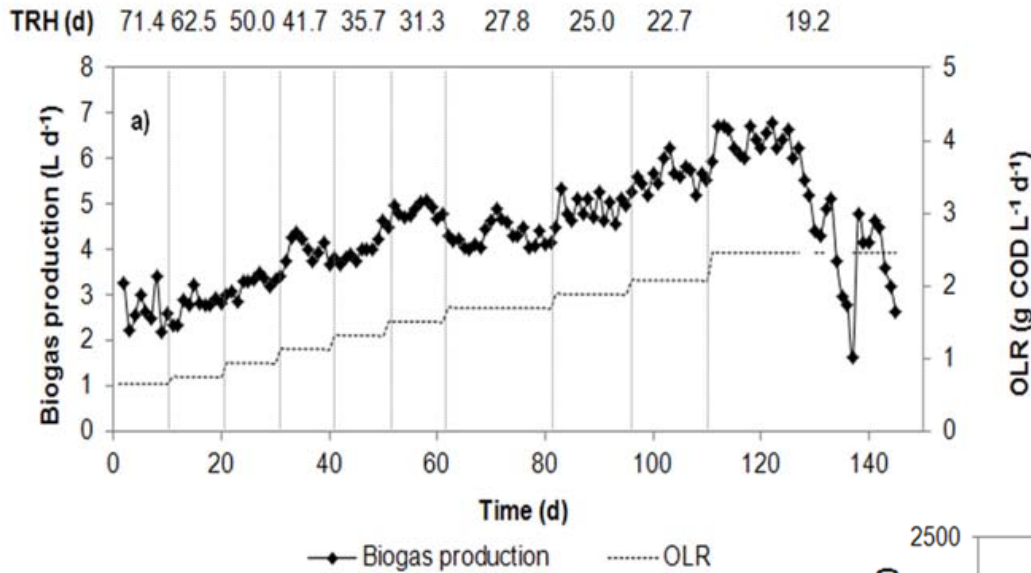
Sistemas discontinuos: evaluando el efecto de la carga orgánica



Para diferentes contenidos de materia orgánica: Incremento en la acumulación de ácidos grasos orgánicos ocasionando una disminución en la producción específica de gas

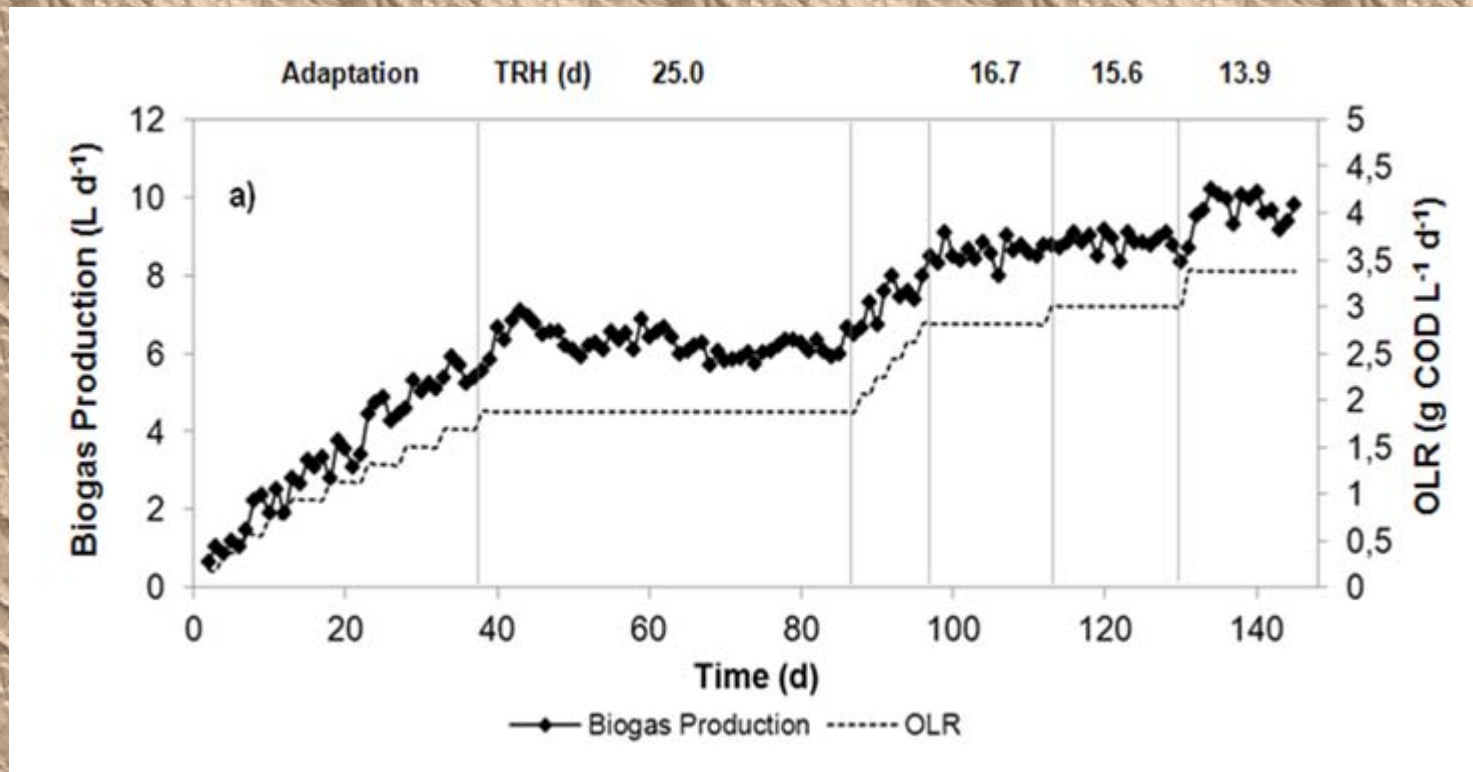


# Evaluación en continuo de lactosuero (condiciones mesofílicas)



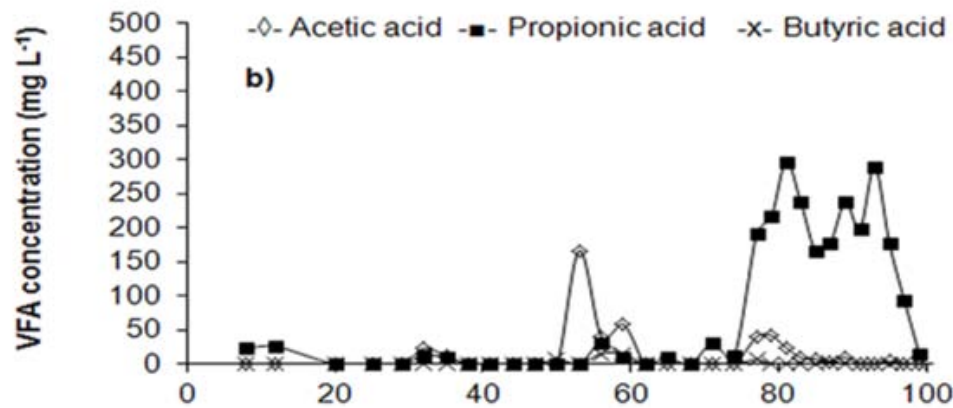
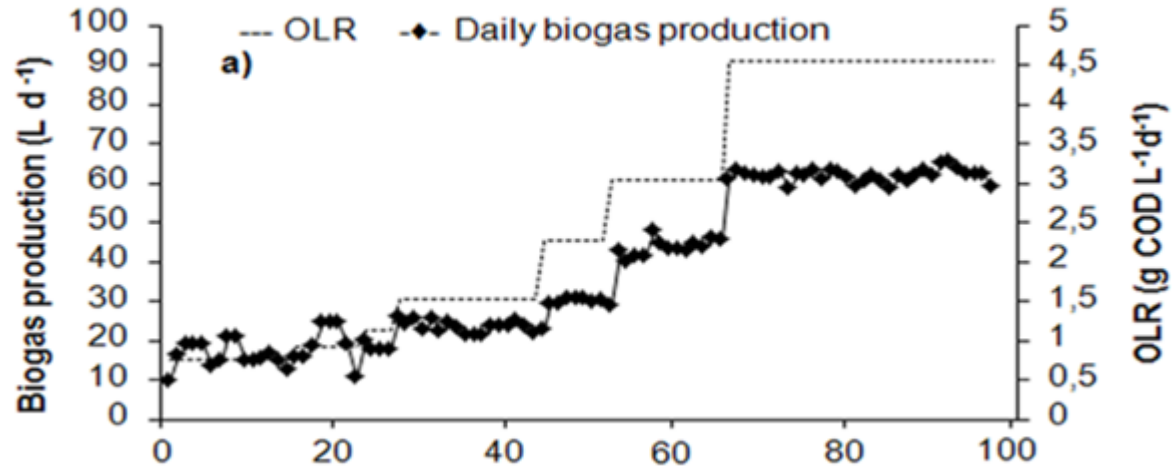
*Bajo crecimiento de la biomasa asociada a la falta de nutriente*

# Sistemas con acumulación de biomasa (condiciones mesofílicas)





# Evaluación en continuo de lactosuero (condiciones termofílicas)



Se ha realizado la evaluación de la digestión de lodos EDAR de forma comparativa frente al proceso de co-digestión con lactosueros

- **Digestión de lodos**
- **Residuos con alto contenido orgánico**

Estudio previo de evaluación del proceso de digestión de lactosueros

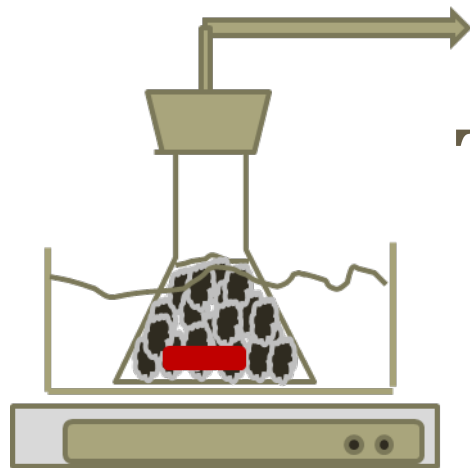
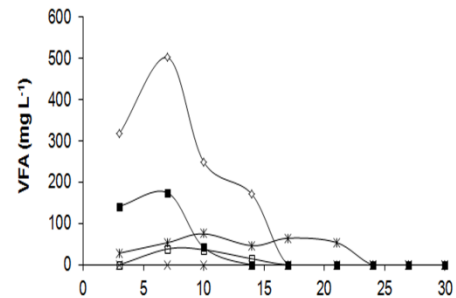
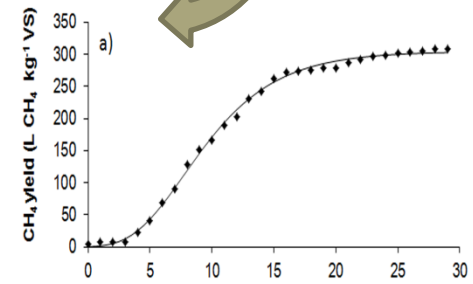
- La digestión de lactosuero requiere el aporte de nutrientes que incrementan los costes de producción de biogás
- El proceso aunque ha probado ser estable presenta unos periodos de adaptación del sistema relativamente alto
- El crecimiento de los microorganismos degradadores de propiónico supuso una limitante al proceso global
- La co-digestión con lodos podría solventar muchos inconvenientes del proceso individual



Considerar la  
co-digestión



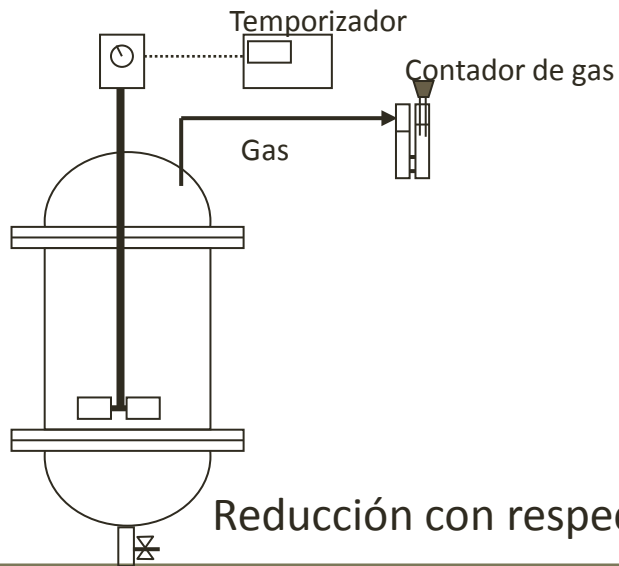
Evaluación discontinua



$T = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$

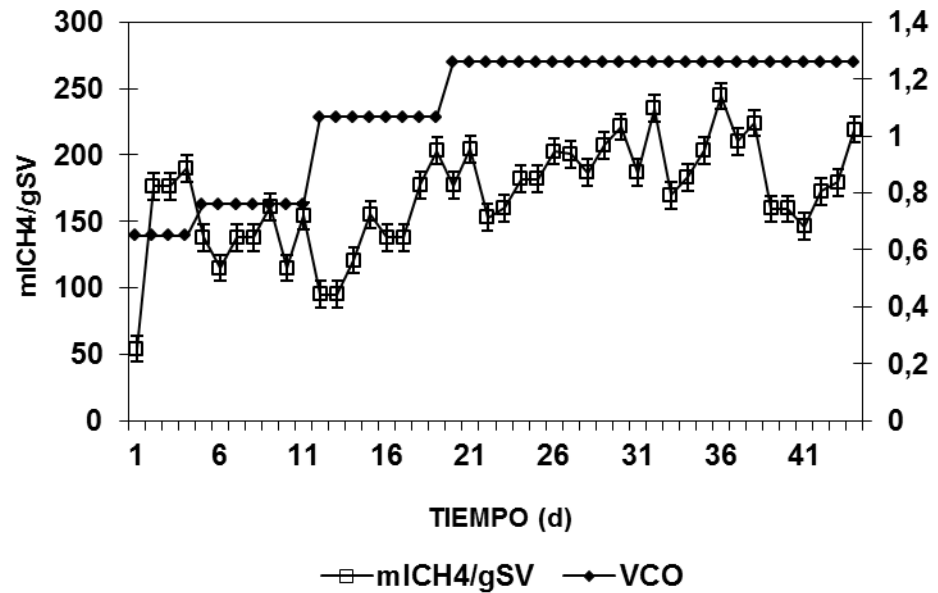
PE<sub>CH4</sub>: 306 ml/g SV





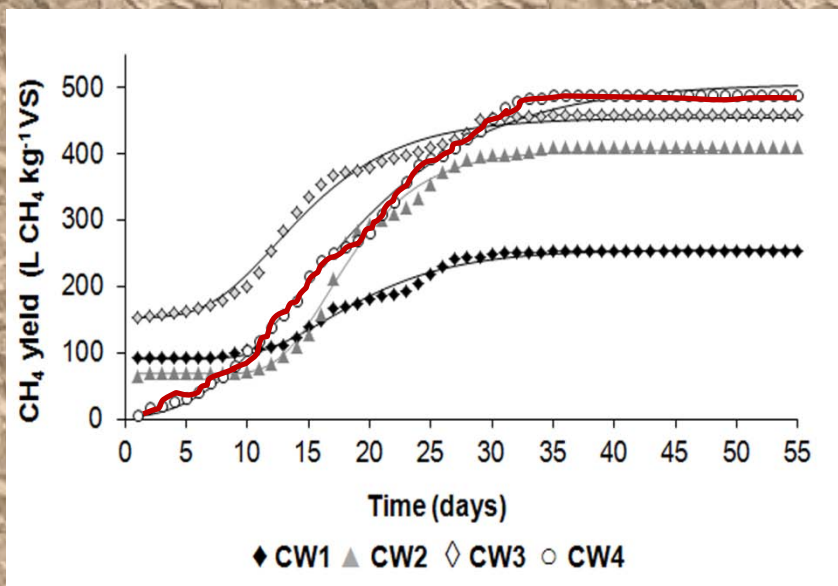
PE\_CH4: 175 ml/g SV

Reducción con respecto al valor en discontinuo: 50 - 60%



Parameters	CW <sub>1</sub>	CW <sub>2</sub>	CW <sub>3</sub>	CW <sub>4</sub>
TS (g L <sup>-1</sup> )	106	74	70	67
VS (g L <sup>-1</sup> )	102	60	54	50
COD (g L <sup>-1</sup> )	143	99	95	91
Alkalinity (mg L <sup>-1</sup> )	1000	588	656	7460
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	19.6	18.7	24.5	7520
pH	4.7	4.5	4.6	5.7
Organic matter (%)	9.8	5.4	4.4	4.8
Kjeldahl Nitrogen (%)	0.33	0.17	0.17	0.79
C/N	17.2	18.0	15.2	3.5
Lipids (%)	0.27	0.07	<0.01	<0.01
Phosphorus (ppm)	594	445	484	398

## Co-substratos evaluados: Lactosueros



Samples	L CH <sub>4</sub> kg <sup>-1</sup> VS
M-CW <sub>1</sub>	274.2 ± 7.9
M-CW <sub>2</sub>	405.5 ± 7.6
M-CW <sub>3</sub>	454.4 ± 11.9
M-CW <sub>4</sub>	506.7 ± 3.7
MSS-CW <sub>1</sub>	301.2 ± 4.7
TSS-CW <sub>1</sub>	250.6 ± 12.1



## Sistemas discontinuos

Producción específica para las distintas mezclas: 302 – 318 L CH<sub>4</sub>/kg SV

Reducción teórica:

Cambio de régimen a semi-continuo 55%

166 – 175



Evaluación experimental:

Régimen mesofílico

Producción de metano: 329 L CH<sub>4</sub>/kg SV

Mejora significativa en la reducción de SV asociada a la modificación en la relación C/N?

Reducción 80% : 263 L CH<sub>4</sub>/kg SV

8,1

A.E	Lodo fresco
O	22,0
cenizas	28,3
<b>C</b>	38,2
H	5,9
<b>N</b>	4,7
S	0,8

# Lactosuero

Mejora en la destrucción de SV

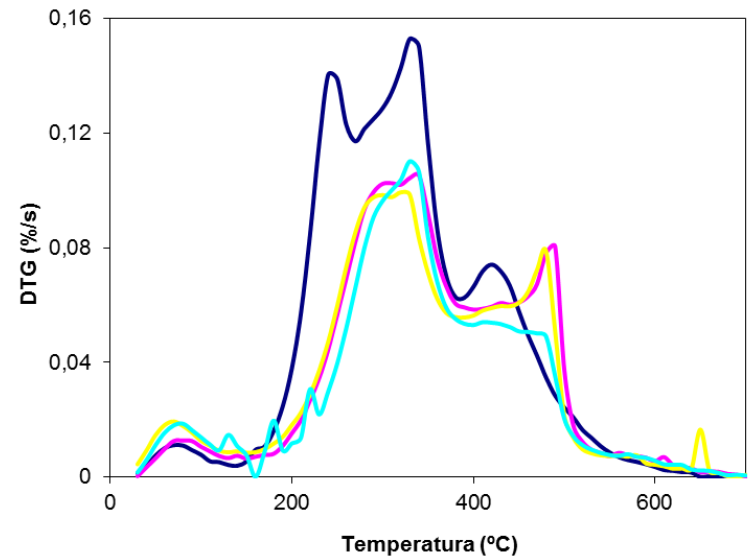
Mezcla 5% (v/v) de lactosuero

94

A.E	Lactosuero
O	50,24
cenizas	4,5
C	38,5
H	6,2
N	0,41
S	0,15

8,7

A.E	Mezcla
O	24,4
cenizas	26,3
C	38,2
H	6,0
N	4,4
S	0,8



— lodo fresco — lodo dig. día 1 — lodo dig. día 5 — lodo dig. día 11

Base: 100 kg

SV lodo = 67%

Concentración de ST = 60g/L

*P. Manara, A. Zabaniotou / Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 2566–2582*

Sólidos fijos: 33%

	A	B1	B2	C	D
Dry matter (DM), g/l	12	9	7	10	30
Volatile matter, % DM	65	67	77	72	50
pH, % VM	6	7	7	6.5	7
C, % VM	51.5	52.5	53	51	49
H, % VM	7	6	6.7	7.4	7.7
O, % VM	35.5	33	33	33	35
N, % VM	4.5	7.5	6.3	7.1	6.2
S, % VM	1.5	1	1	1.5	2.1
C/N, –	11.4	7	8.7	7.2	7.9
P, % DM	2	2	2	2	2
Cl, % DM	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
K, % DM	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Al, % DM	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Ca, % DM	10	10	10	10	10
Fe, % DM	2	2	2	2	2
Mg, % DM	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Fat, % DM	18	8	10	14	10
Protein, % DM	24	36	34	30	18
Fibres, % DM	16	17	10	13	10
Calorific value, kWh/t DM	4200	4100	4800	4600	3000

A: primary sludge, primary sludge with physical/chemical treatment or high pollution load1, B1: biological sludge (low load), B2: biological sludge from clarified water (low and middle load), C: mixed sludge (mix of A and B2 types), D: digested sludge.

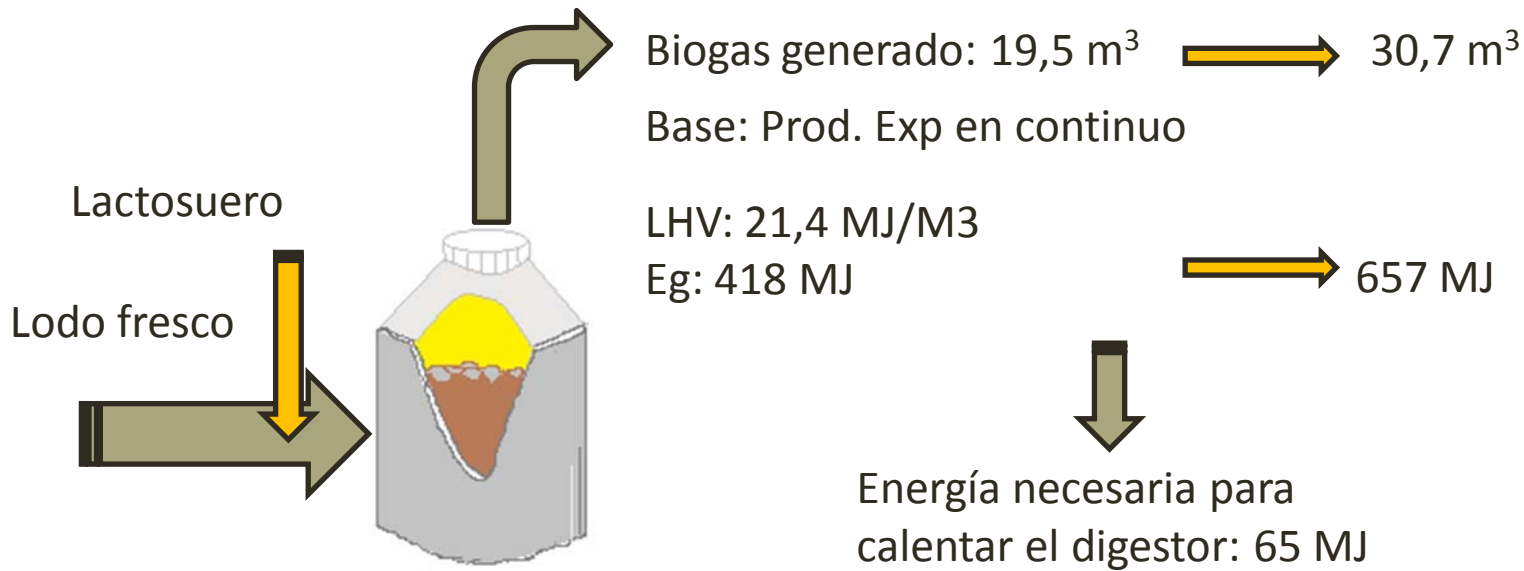




Base: 100 kg

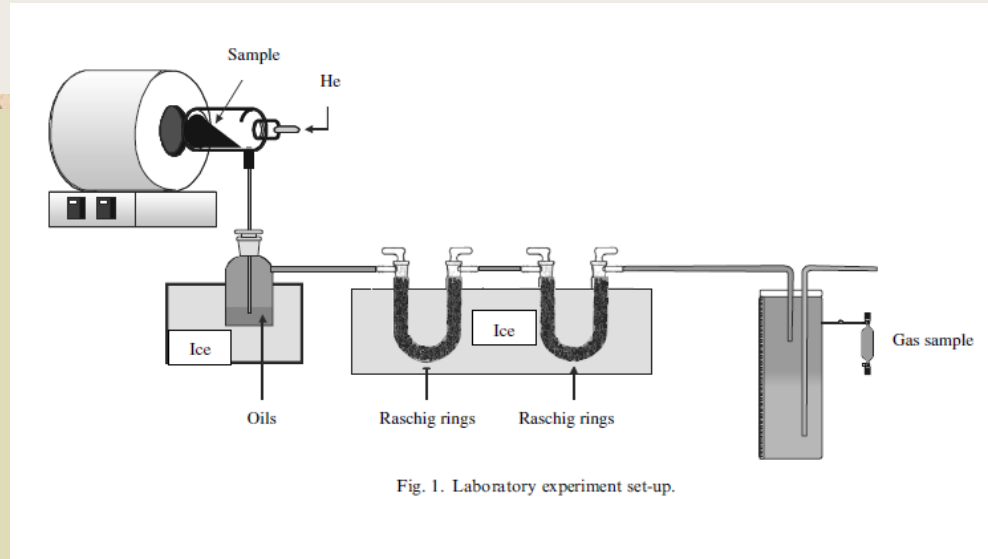
SV lodo = 67%

Concentración de ST = 60g/L



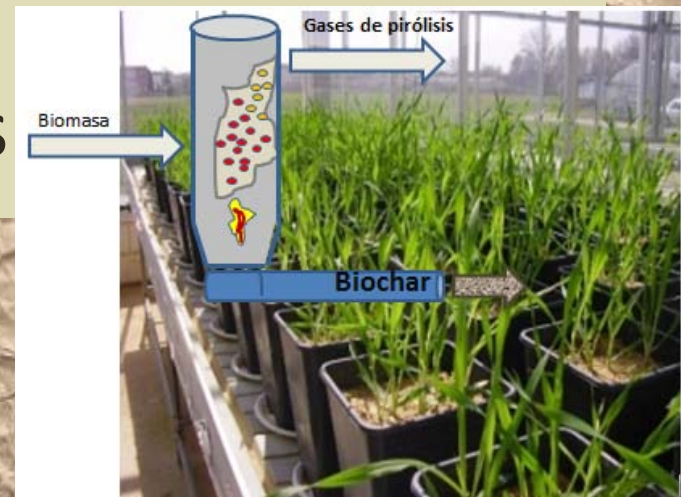
# Experiencia en sistemas de pirólisis

- Lodos EDAR
- FORSU
- Estiércol
- Mezclas PET
- Caracterizaciones cinéticas de residuos



# Aplicación del biochar al suelo

- Estudios agrícolas: Efecto sobre la adsorción temporal y liberación de nutrientes
- Inmovilización de biomasa microbiana activa: biofertilizantes (Promotores del crecimiento)
- Mejoras en suelos pobres



# Evaluación del proceso conjunto de digestión - pirólisis

Suposiciones para los balances realizados

Ea (Kcal/kg)  
LHV (MJ/kg)

120 - 124

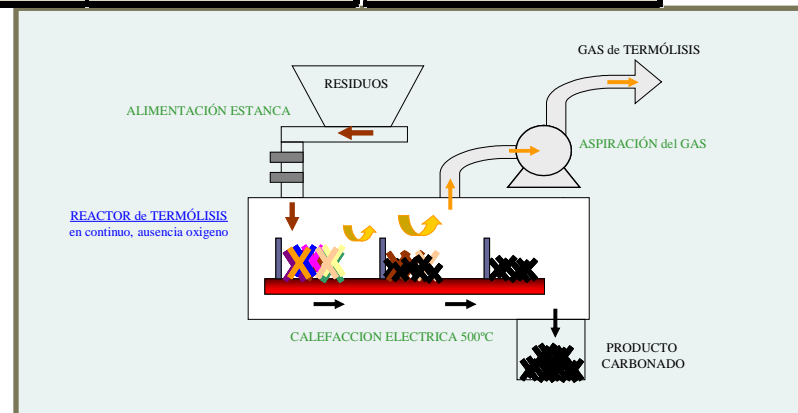
Fracciones

- 20% agua
- 80% Productos de pirólisis



A.E	Lodo Dig	Lodo + Ls Dig
O	21,9	18,7
cenizas	35,1	43,8
C	32,9	28,2
H	4,7	4,1
N	4,5	4,1
S	1,0	1,1

		LHV	
Gas	34%	19	(MJ/m <sup>3</sup> )
Líquido	27%	21	(MJ/kg)
Char	39%	9	



Sánchez, M. E., Martínez, O., Gómez, X., & Morán, A. (2007). Pyrolysis of mixtures of sewage sludge and manure: A comparison of the results obtained in the laboratory (semi-pilot) and in a pilot plant. *Waste management*, 27(10), 1328-1334.

## Suposiciones para los balances realizados

Energía necesaria para evaporar el agua

1,76 MJ/kg

Contenido en sólidos del lodo (22%)

Distribución de la energía contenida en los productos

Eg (MJ)	lodo	lodo + Ls
Gas	550	391
Líquido	448	321
Char	273	197
Total	1270	908



Densidad gas : 0,9 g/L



Reducción de su contenido energético asociado a la mayor cantidad en cenizas (70%)

Rendimiento 80%

1016      727

Evaporación agua

613      422

Inguanzo, M., Dominguez, A., Menéndez, J. A., Blanco, C. G., & Pis, J. J. (2002). On the pyrolysis of sewage sludge: the influence of pyrolysis conditions on solid, liquid and gas fractions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 63(1), 209-222.



# Energía recuperada en el proceso conjunto de digestión - pirólisis

Resultados similares

Base: 100 kg

Escenario lodo: 965 MJ

Escenario lodo+ ls: 1013 MJ

Energía contenida en los gases

Escenario lodo: 792 MJ

Escenario lodo+ ls: 904 MJ



# Energía recuperada en el proceso de pirólisis de lodo fresco

Tiempos de succión capilar

Digeridos: 148 389 s

Lodos frescos: 309 – 735 s

Lin, J. G., Chang, C. N., & Chang, S. C. (1997). Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by alkaline solubilization. *Bioresource Technology*, 62(3), 85-90.

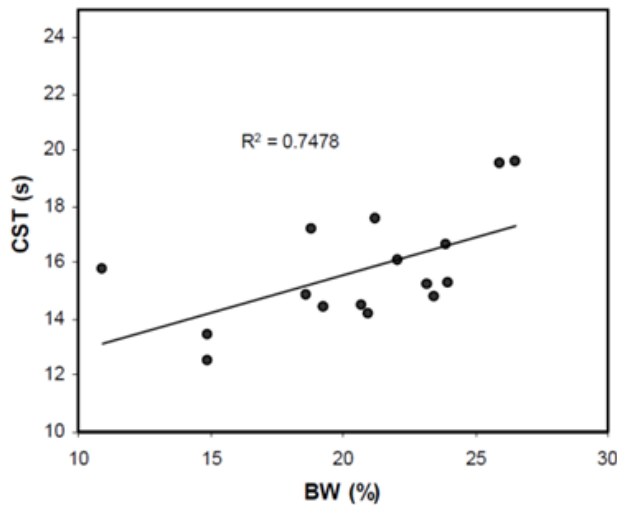


Fig. 2. Relationship between bound water and CST.

Jin, B., Wilén, B. M., & Lant, P. (2004). Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge. *Chemical Engineering Journal*, 98(1), 115-126.

Fracciones

- 22% agua
- 78% Productos de pirólisis



A.E	Lodo fresco
O	22,0
cenizas	28,3
C	38,2
H	5,9
N	4,7
S	0,8

		LHV	
Gas	38%	21,4	(MJ/m <sup>3</sup> )
Líquido	30%	27,2	} (MJ/kg)
Char	31%	12	

Contenido en sólidos del lodo (18%)

Evaporación agua 2,3 MJ/kg



# Comparativa

Distribución de la energía contenida en los productos

Eg (MJ)	lodo	lodo + Ls	Lodo fresco
Gas	550	391	709
Líquido	448	321	633
Char	273	197	294
Total	1270	908	1636

Rendimiento 80%

1016

727

1227

Evaporación agua

613

422

726

MJ





# Energía recuperada en el proceso conjunto de digestión - pirólisis

Resultados similares

Base: 100 kg

Escenario lodo: 965 MJ

Escenario lodo+ ls: 1013 MJ

Energía contenida en los gases

Escenario lodo: 792 MJ

Escenario lodo+ ls: 904 MJ

## Pirólisis lodo fresco

Escenario

Pirólisis lodo fresco: 726 MJ

Energía contenida en los gases: 567 MJ





Gracias por su atención