

# La digestión anaerobia:

## Una herramienta para la valorización de las deyecciones ganaderas



Francesc Prenafeta Boldú  
Director del Programa GIRO  
(Gestión Integral de Residuos Orgánicos)  
[francesc.prenafeta@irta.cat](mailto:francesc.prenafeta@irta.cat)



- Mejorar las condiciones de los trabajadores y consumidores
- Mejorar el bienestar de la familia agrícola
- Mejorar la seguridad alimentaria

### Seguridad de las personas



### Medio Ambiente

- No contaminar aguas y suelos
- Manejo racional de agroquímicos
- Cuidado de la biodiversidad

### Inocuidad alimentaria

- Alimentos sanos, no contaminados y de mayor calidad para mejorar la nutrición y alimentación

### Bienestar animal

- Cuidado de animales
- Alimentación adecuada

# El sector cárnico en España



- La industria cárnica es el 4º sector industrial español, y está constituido por unas 3.000 PIMES.
- Ocupa el primer lugar de la industria alimentaria, con una cifra de negocio de 22.168 M€ (> 21.6% del sector alimentario, 2% del PIB español). El empleo directo >20% de la ocupación total de la industria alimentaria.
- Destaca la carne de cerdo, con una producción superior a de 3,5 MT (peso canal), que supone el 61,2% de la producción total de carne.

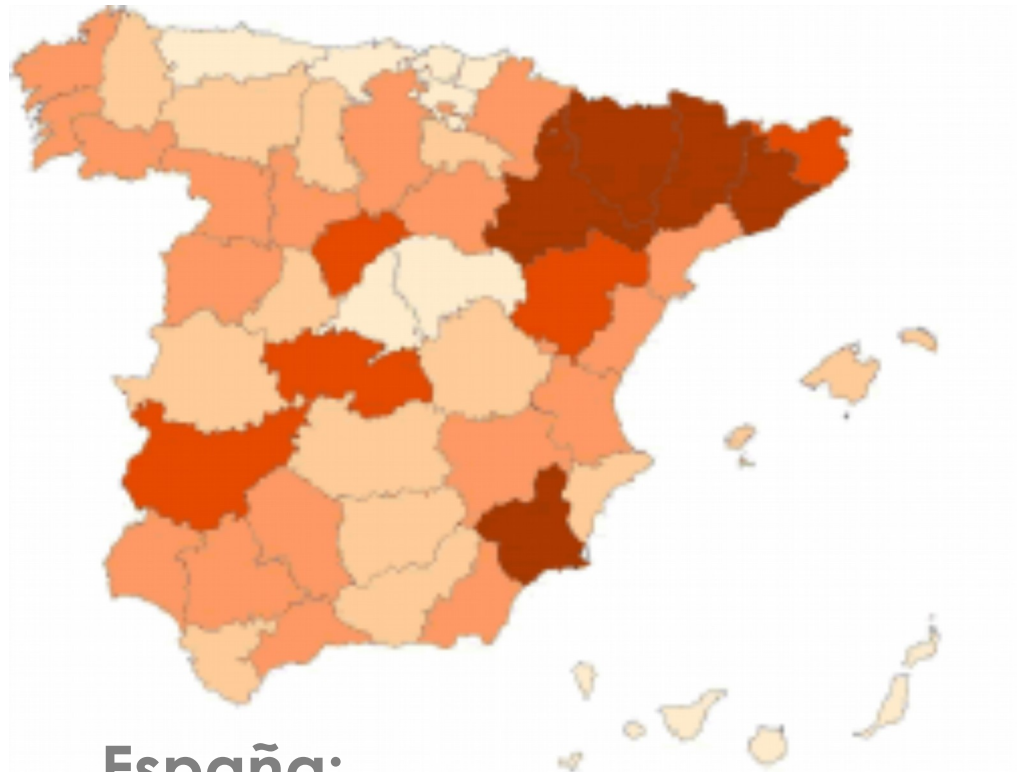
# El sector porcino España



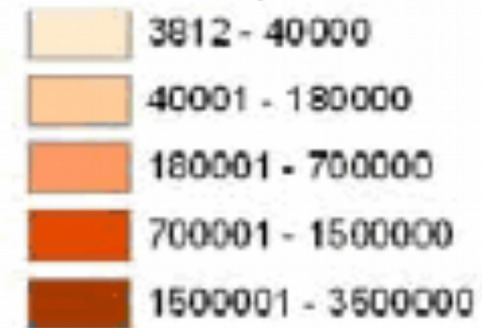
- En cuanto a la cabaña porcina hay más de 26 M de cabezas, distribuidas en unas 86.552 granjas.
- La producción porcina representa el 34,2% de la producción final ganadera y el 12,4% de la producción final agraria.
- En los últimos años se ha producido un descenso acumulado del número de las explotaciones más pequeñas (-13% en 7 años), asistiéndose a un fenómeno continuado de concentración de explotaciones.



# El sector porcino en España



Censo total (n° animales)



**España:**

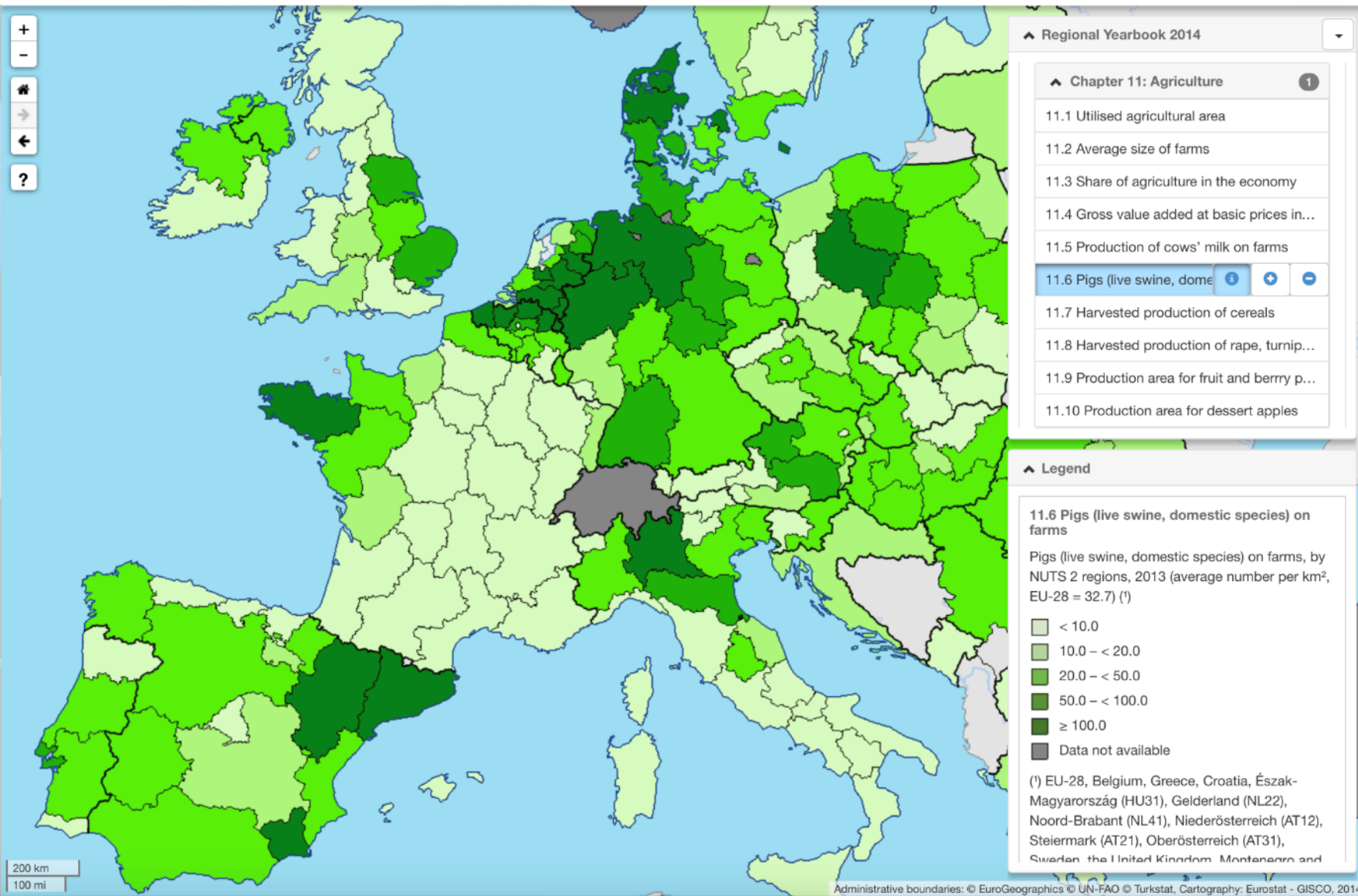
0,55 cerdos/cápita; 51,5 cerdos/km<sup>2</sup>

**Cataluña:**

0,86 cerdos/cápita; 202,4 cerdos/km<sup>2</sup>

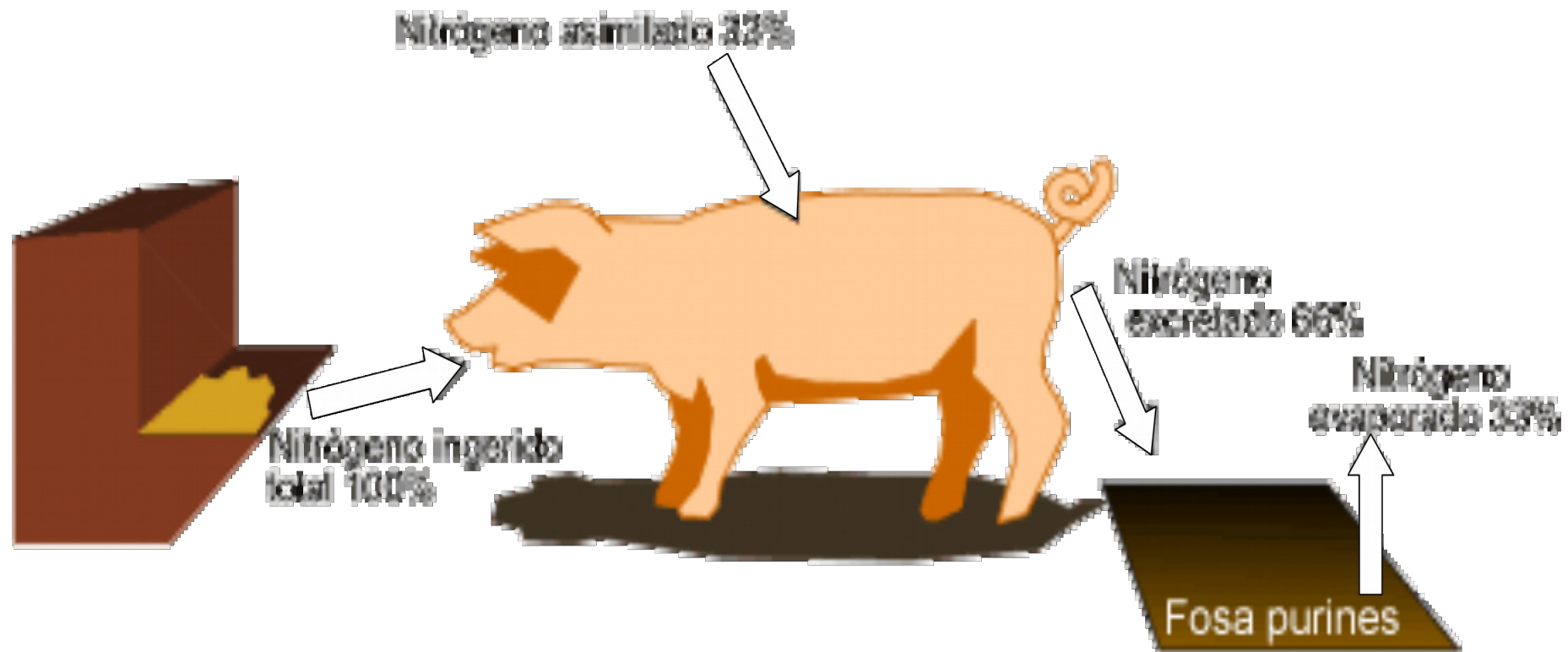
MAGRAMA (2014)

# Impacto ambiental del sector porcino



Cataluña ocupa el segundo lugar, a nivel de regiones europeas (NUTS 2) en producción porcina, solo superada por Bretaña (Francia)

# Impacto ambiental del sector porcino



# Impacto ambiental del sector porcino



Tipo de ganado y fase productiva	Kg N /plaza /año	Purín m <sup>3</sup> /plaza /año	Estiércol t/plaza /año	Densidad estiércol (t/m <sup>3</sup> )
Bovino de leche	73,00	14	18	0,8
Vacas nodrizas	51,10	9	12	0,8
Termeras de reposición	36,50	5,5	7	0,8
Cría de bovino (animales de 1 a 4 meses en 3 ciclos/año/plaza)	7,70	0,5	0,7	0,8
Engorde de terneros/termeras (1)	21,90	3,6	4	0,8
Cerda en ciclo cerrado (2)	57,60	17,75	-	-
Cerda con lechones hasta destete (0-6 kg)	15,00	5,1	5,4	0,8
Cerda con lechones hasta 20 kg	18,00	6,12	-	-
Cerda de reposición	8,50	2,5	2,75	0,8
Lechones de 6-20 kg	1,19	0,41	0,6	0,8
Cerdo de engorde (20-50 kg)	6,00	1,8	-	-
Cerdo de engorde ( 50-100 kg)	8,50	2,5	-	-
Cerdo de recebo (20-100 kg)	7,25	2,15	2,4	0,8
Verraco	18,00	6,12	-	-
Avicultura de puesta (por plaza de gallina ponedora, comercial o selecta)	0,50	0,037	0,04	0,9
Polluelos de criar (2,5 ciclos/año/plaza. Animales de 100 días hasta 1,4 kg)	0,08	-	<u>0,0073</u>	-
Engorde de pollos (5 ciclos/año/plaza. Tiempo de engorde de 48-50 días)	0,22	-	0,02	0,5

**Purines:** mezcla de heces y agua de limpieza, restos de alimentos, etc. (porcinazas)

**Estiércol:** mezcla de heces y la paja de la cama para los animales

Guía de tratamientos de las deyecciones ganaderas.  
Generalitat de Catalunya (2004)

# Impacto ambiental del sector porcino



- En España se generan al año 2.000.000 T de residuos animales, cifra que incluye 380.000 T de los animales que mueren en la propia granja, y cuya recogida y tratamiento cuesta anualmente 150 M€.
- También se generan 130 M T de deyecciones ganaderas, 56 M m<sup>3</sup> en el caso de purines porcinos (15 M m<sup>3</sup> en Cataluña, 2 m<sup>3</sup> persona).
- Las deyecciones contienen patógenos, generan malos olores y gases contaminantes, y tienen un elevado contenido en nitrógeno amoniacal y, en menor medida fósforo, potasio, calcio, y determinados metales (cobre y zinc).



# El primer reto “histórico” sobre las deyecciones ganaderas: Los 12 trabajos de Hércules

Trabajo 5º:  
Limpiar los Establos de Augías en solo un día.



Mosaico de Liria,  
València (s. III)



# Impacto ambiental de los purines porcinos



Con los purines porcinos generados anualmente en Cataluña se podría llenar el lago de Banyoles

Se trata del mayor lago natural de Cataluña, con 2.1 km de longitud, 9,3 km de ribera, y una profundidad media de 15 m

# Aplicación agronómica de los purines porcinos



Parámetro	Unidades	Mínimo	Máximo	Media
Sólidos totales (ST)	g/kg	13,68	169,00	62,16
Sólidos volátiles (SV)	g/kg	6,45	121,34	42,33
Porcentaje SV/ST	%	46	76	65
Demanda química de oxígeno (DQO)	g/kg	8,15	191,23	73,02
Nitrógeno total Kjeldhal (NTK)	g/kg	2,03	10,24	5,98
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	g/kg	1,65	7,99	4,54
Nitrógeno orgánico (Norg)	g/kg	0,40	3,67	1,54
Porcentaje N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NTK	%	57	93	75
Fósforo (P)	g/kg	0,09	6,57	1,38
Potasio (K)	g/kg	1,61	7,82	4,83
Cobre (Cu)	mg/kg	9	192	40
Zinc (Zn)	mg/kg	7	131	66

Guía de tratamientos de las deyecciones ganaderas.  
Generalitat de Catalunya (2004)

- Material muy heterogéneo, en función del manejo y tipo de explotación
- Elevado contenido en agua (>90%), poca materia orgánica, en términos de sólidos volátiles (SV) y de demanda química de oxígeno (DQO).
- Alto contenido de nitrógeno, principalmente en forma amoniacal. También contiene cantidades importantes de fósforo y potasio.
- También puede contener Cobre y Zinc en cantidades apreciables.

# Aplicación agronómica de los purines porcinos

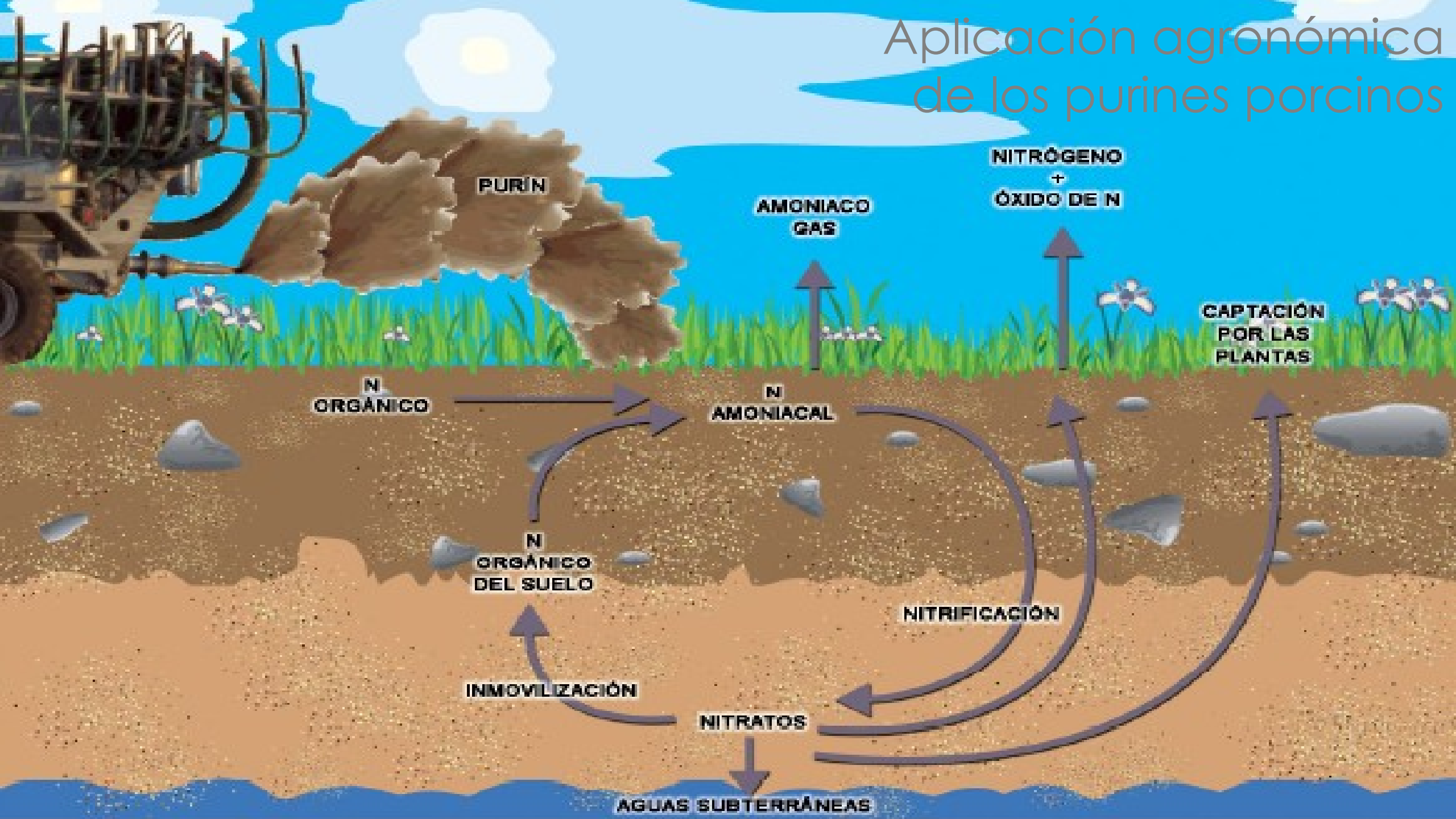


Las deyecciones ganaderas son consideradas como fertilizantes orgánicos y tienen un valor económico

<b>Riqueza fertilizante MEDLA del purín (UF/m<sup>3</sup>) (Levasseur, 2005)</b>	<b>Valor económico €/ Unidad fertilizante (Coyuntura agraria Navarra Ene-Ago. 15)</b>	<b>Valor económico del purín €/m<sup>3</sup> si se facturase igual que un fertilizante mineral</b>
3,5 UFN/m <sup>3</sup>	0,783 €/UFN	2,74 €/m <sup>3</sup>
2,1 UFP/m <sup>3</sup>	1,239 €/UFP	2,60 €/m <sup>3</sup>
2,5 UFK/m <sup>3</sup>	0,785 €/UFK	1,96 €/m <sup>3</sup>



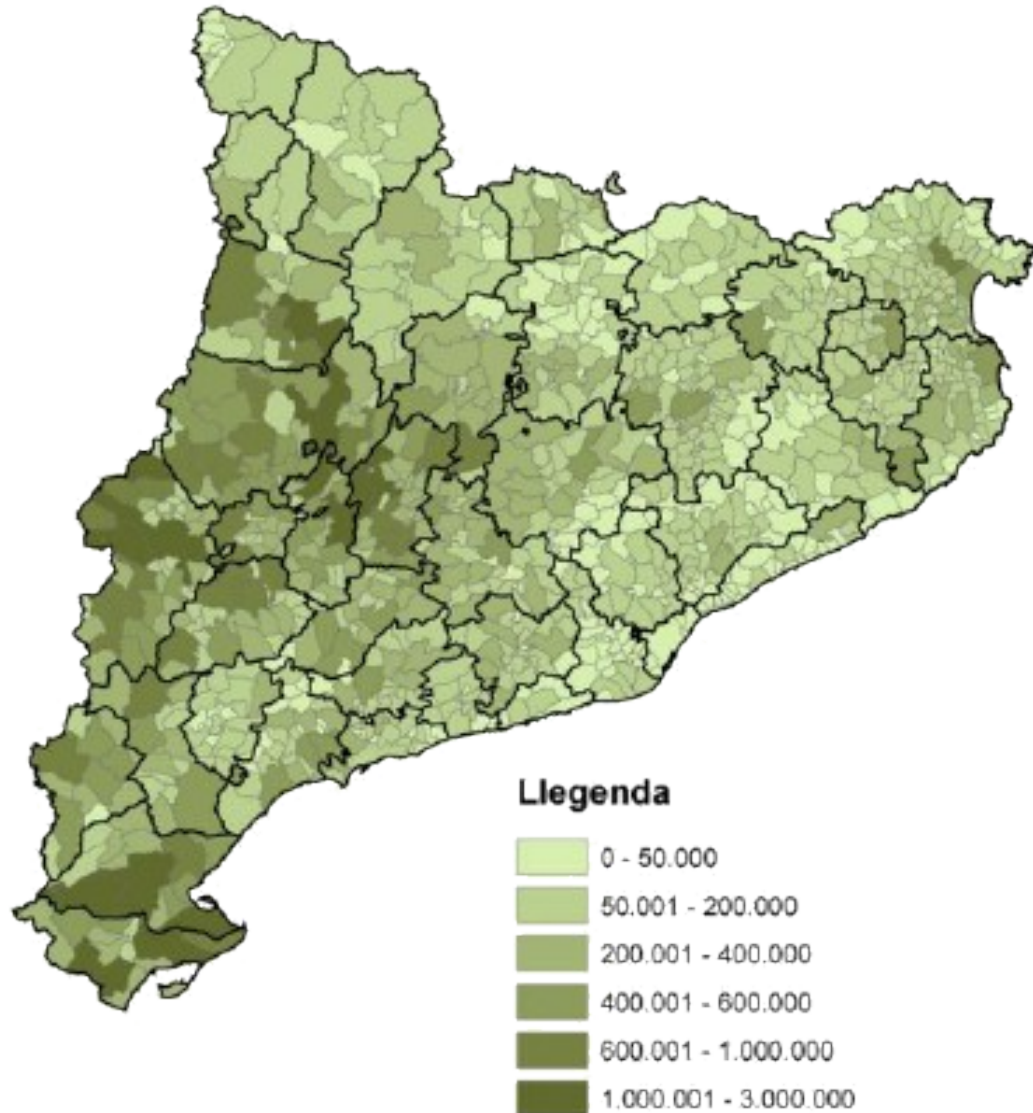
# Aplicación agronómica de los purines porcinos



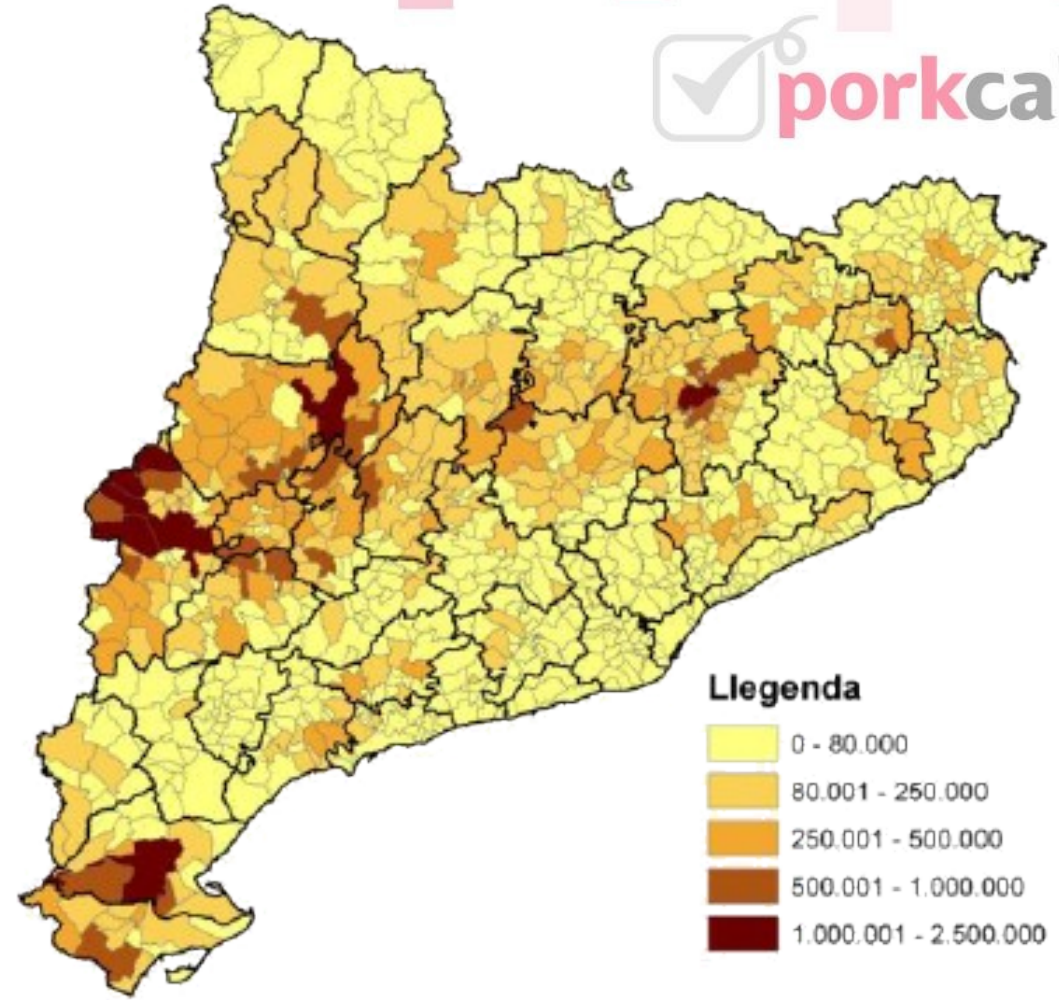


# El balance de nitrógeno

Extracción de N por los cultivos

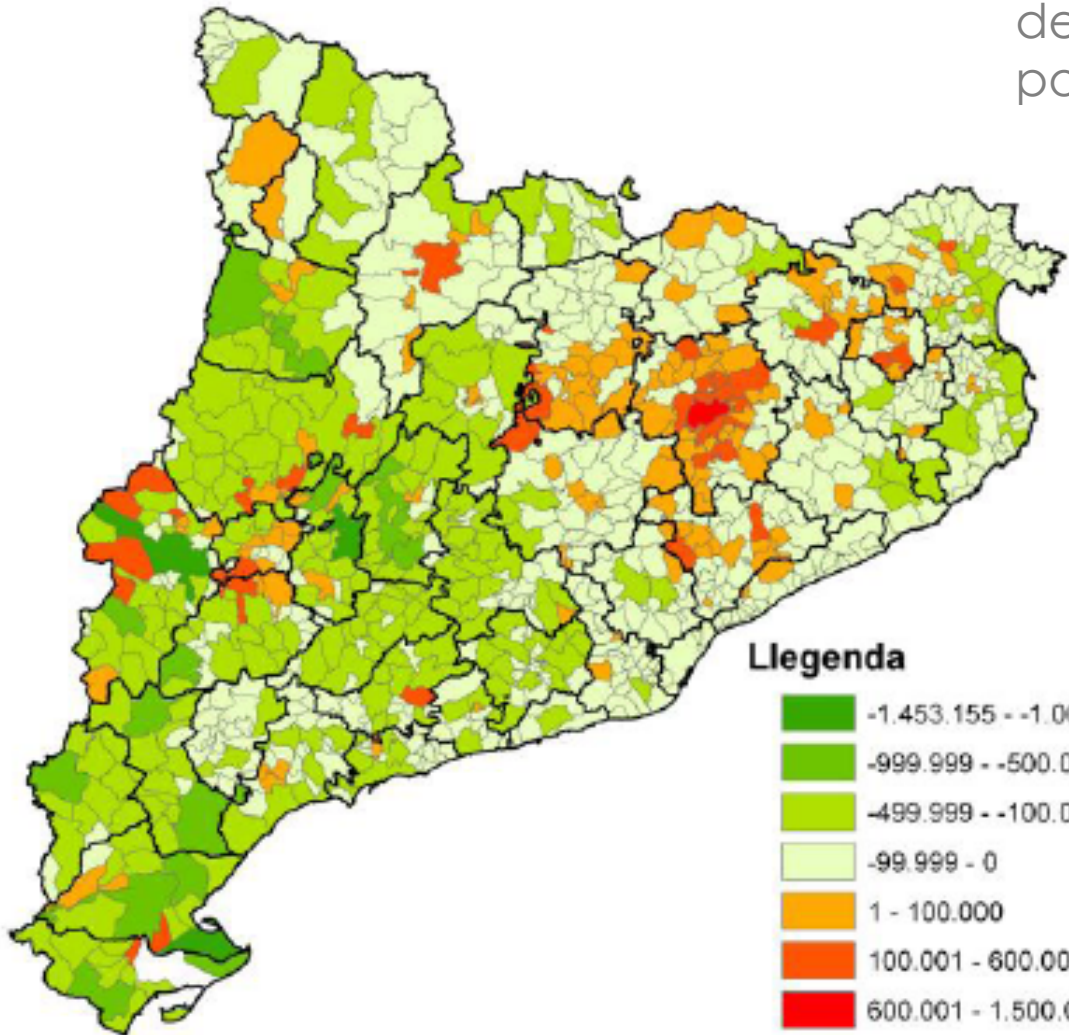


Generación de N por las deyecciones ganaderas

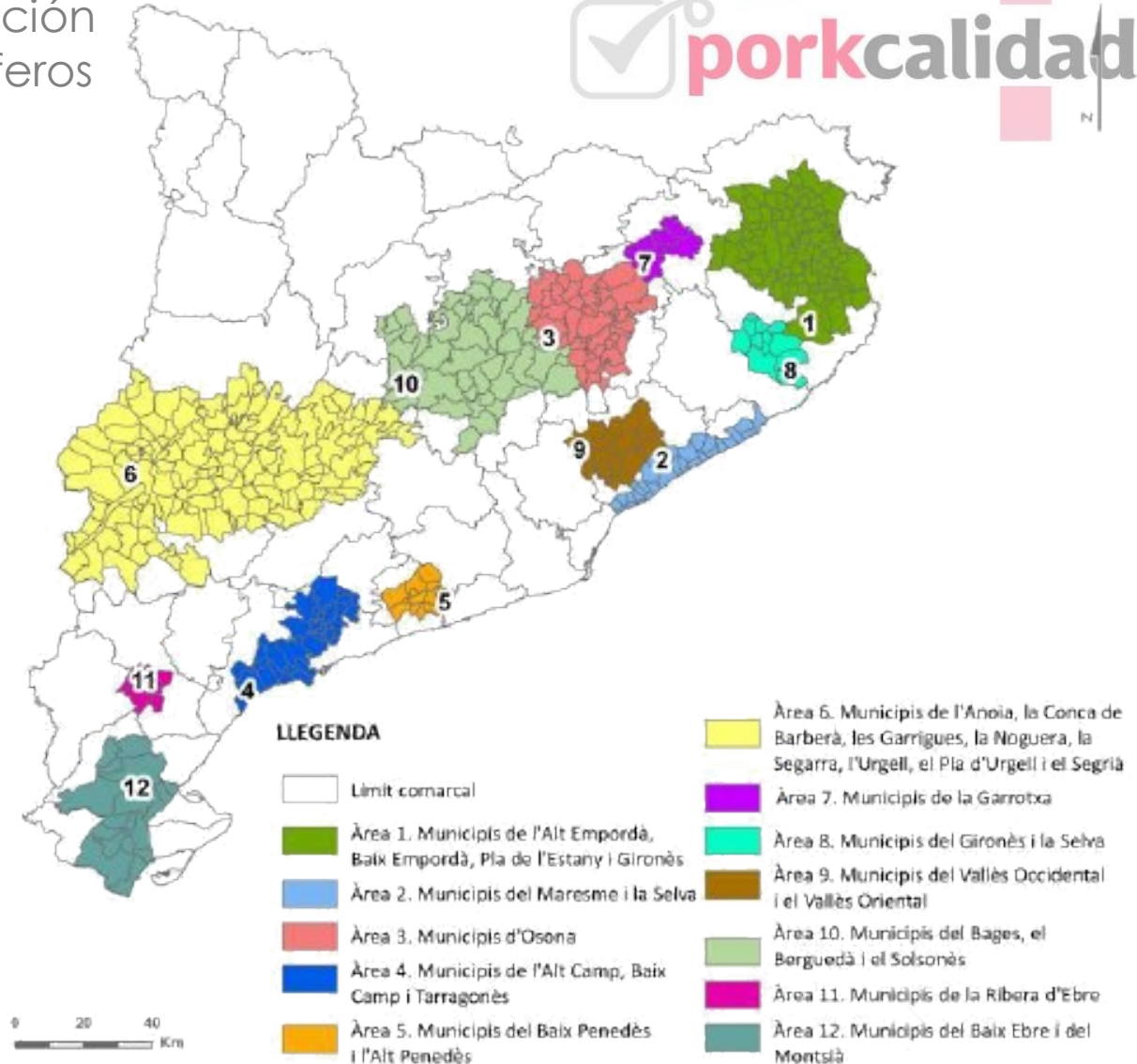


# El balance de nitrógeno

Déficit/excedente de N



Contaminación de los acuíferos por nitratos





# La gestión de las deyecciones ganaderas

## GUÍA DE LOS TRATAMIENTOS DE LAS DEYECCIONES GANADERAS

Generalitat de Catalunya  
Departament de Medi Ambient i Habitatge  
Agència de Residus de Catalunya

Generalitat de Catalunya  
Departament d'Agricultura,  
Ramaderia i Pesca



### AUTORES:

Lleida, diciembre de 2004

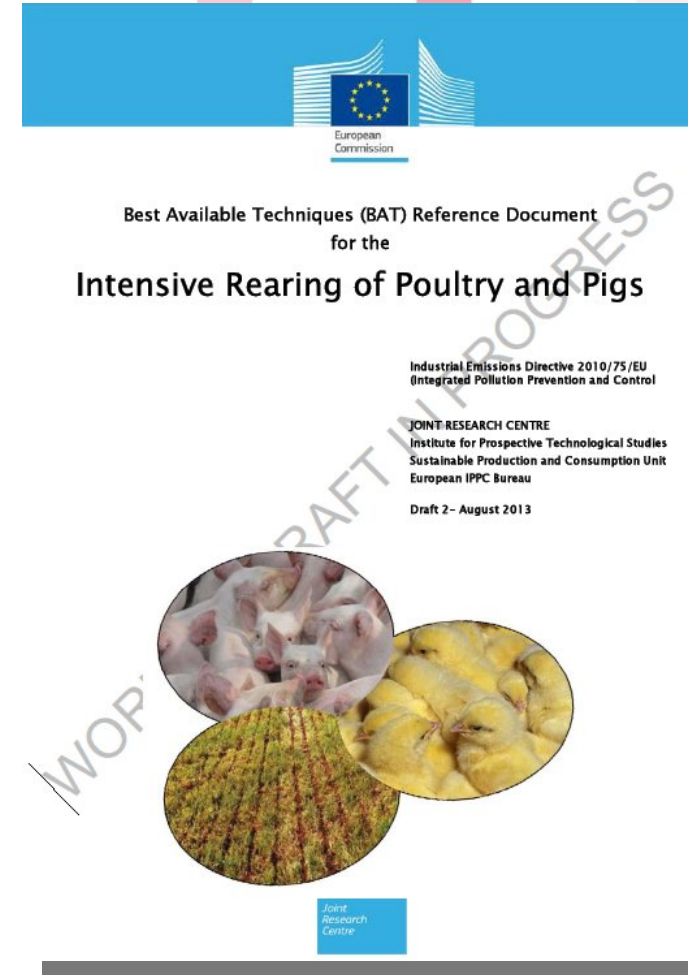
Elena Campos Pozuelo  
Jordi Palatsí Civit

Josep Illa Ailibés  
Francina Solé Mauri

Albert Magri Aloy  
Xavier Flotats Ripoll  
(Coordinador)

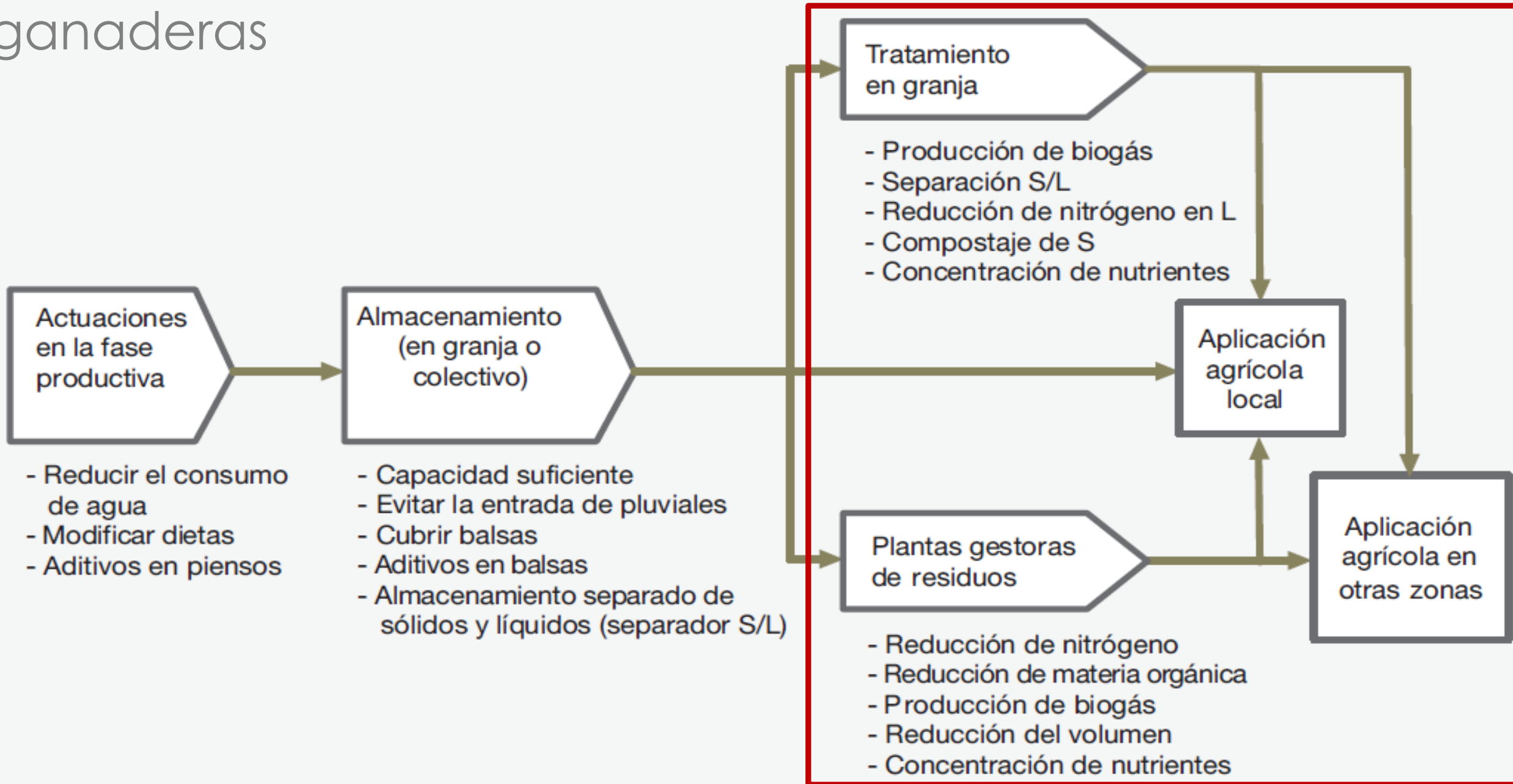
Con la colaboración técnica de la Agència de Residus de Catalunya

[http://residus.gencat.cat/es/ambits\\_dactuacio/tipus\\_de\\_residu/dejeccions\\_ramaderes/](http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/dejeccions_ramaderes/)



<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/irpp.html>

# La gestión de las deyecciones ganaderas



# La gestión de las deyecciones ganaderas



Gestión individual

Gestión colectiva

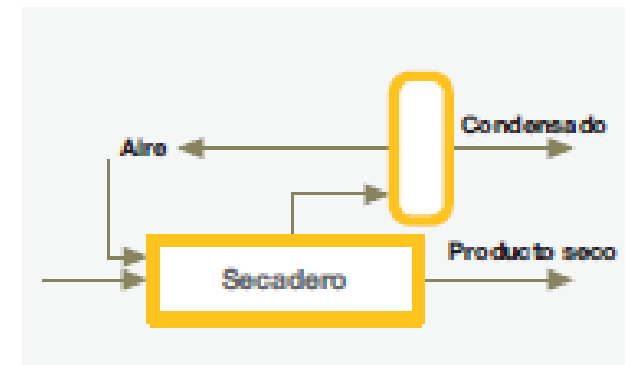
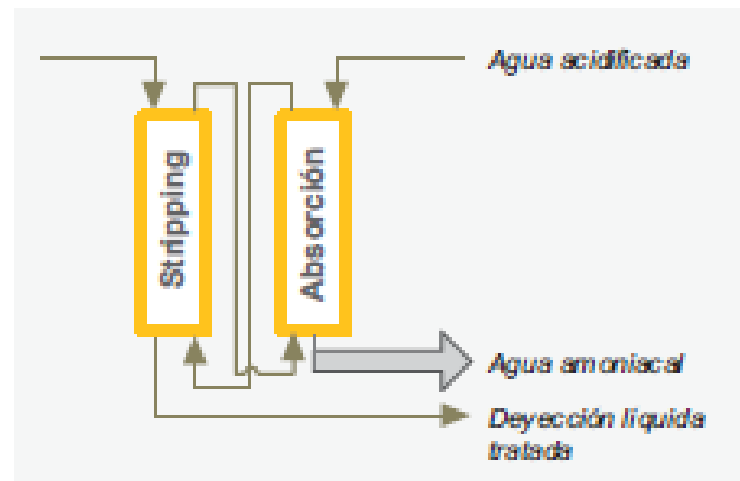
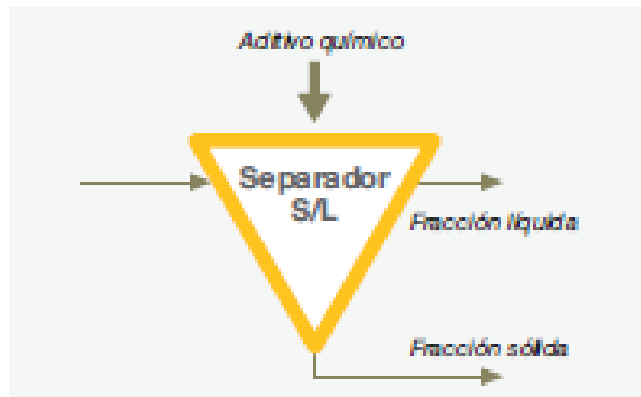
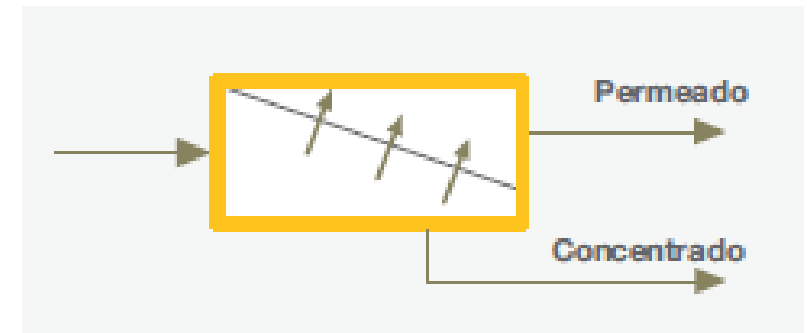
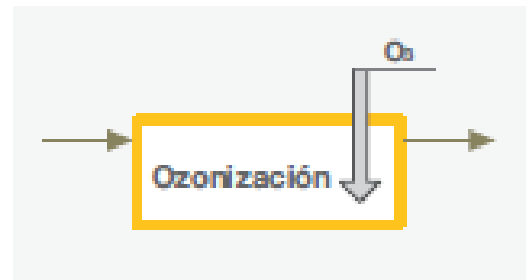
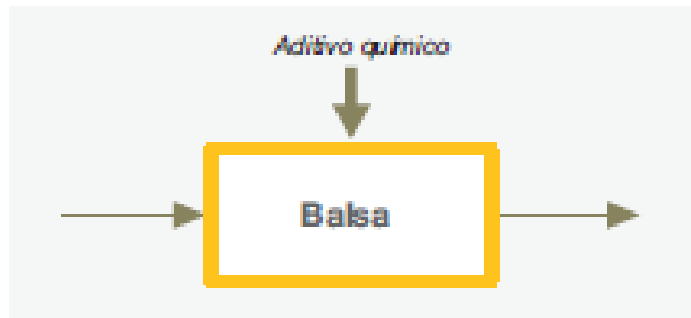
¿Coste por transporte de residuos?	No (excepto co-substratos)	Si
¿Necesidad de personal cualificado?	No	Si
¿Planta de fácil explotación?	Si	No
¿Permite control de operación especial?	No	Si
¿Inversión inicial elevada?	No	Si
¿Permite la implantación de un centro de gestión integrada de residuos?	No	Si
¿Aprovechamiento eléctrico?	Si, autoconsumo en granja	Si



# Procesos unitarios de tratamiento de las deyecciones



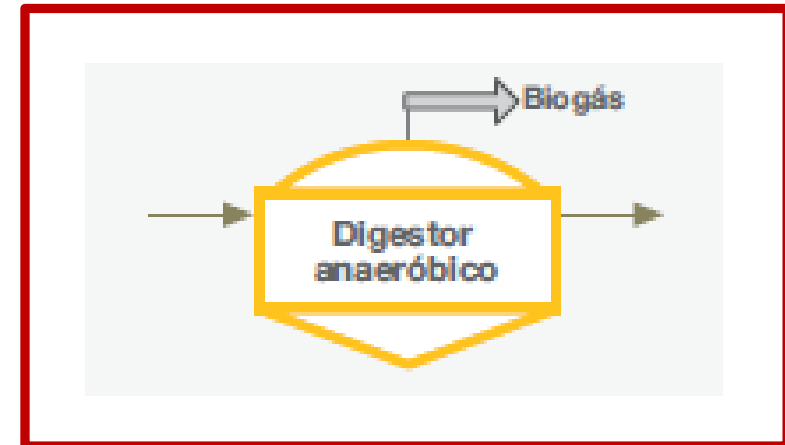
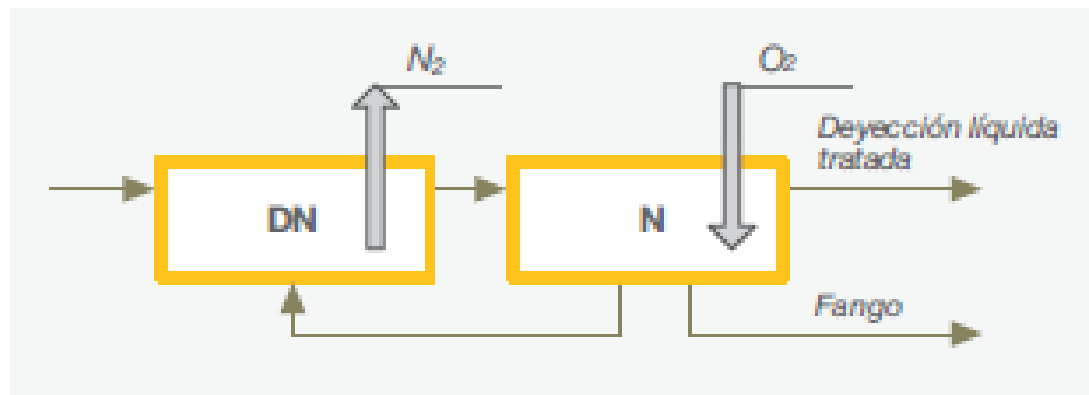
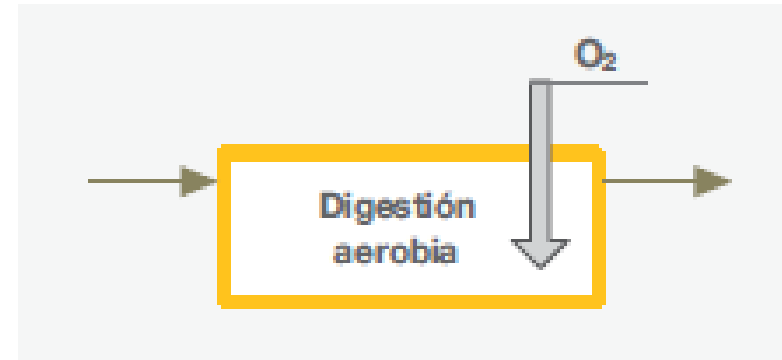
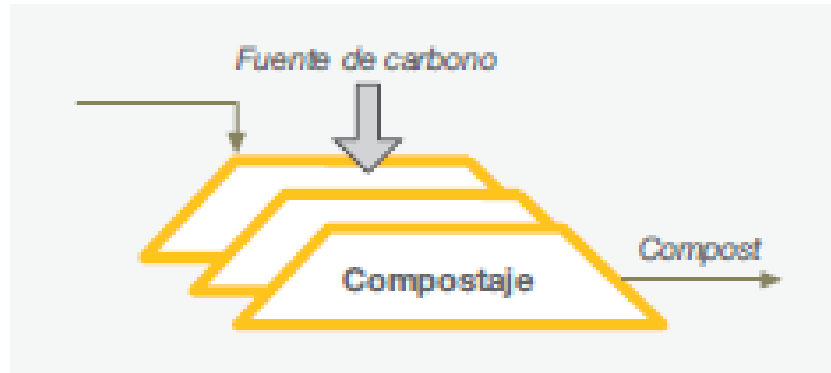
## Procesos físico-químicos



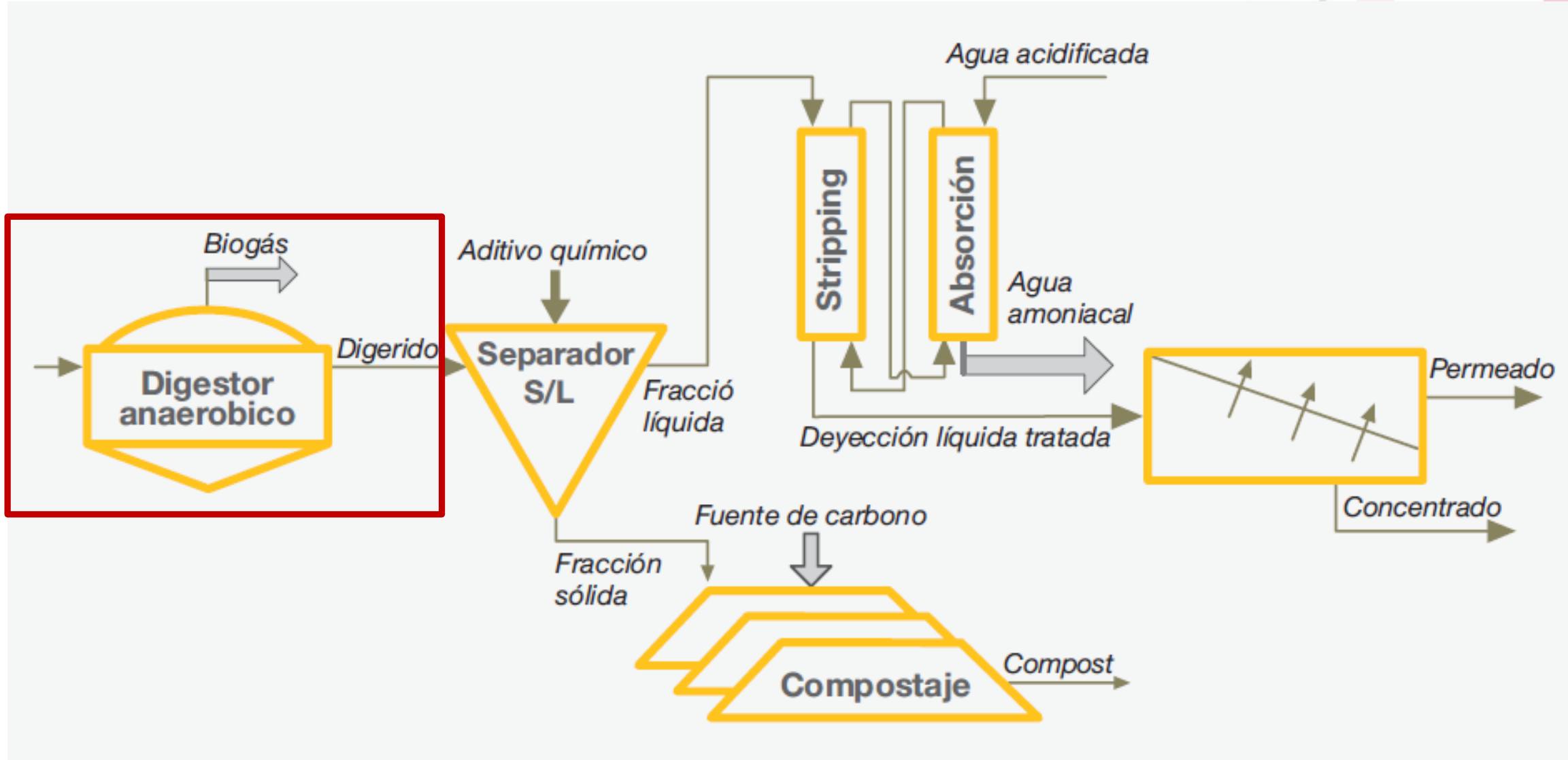
# Procesos unitarios de tratamiento de las deyecciones



## Procesos biológicos



# Combinación de procesos de tratamiento de las deyecciones



ad

# Combinación de procesos de tratamiento de las deyecciones

An aerial photograph of a wastewater treatment plant. The facility is situated in a wooded area. In the foreground, there are several large, green, circular tanks arranged in a row. To the left, there are industrial buildings with grey roofs and various pieces of machinery. In the background, there are more tanks and a large concrete structure, possibly a dam or a bridge. The overall scene is a mix of industrial infrastructure and natural greenery.

## **Capacidad:**

Da servicio a 140 granjas,  
200.000 cabezas de ganado.  
Trata 450 t/día de residuos  
ganaderos y agroalimentarios

## **Producción anual:**

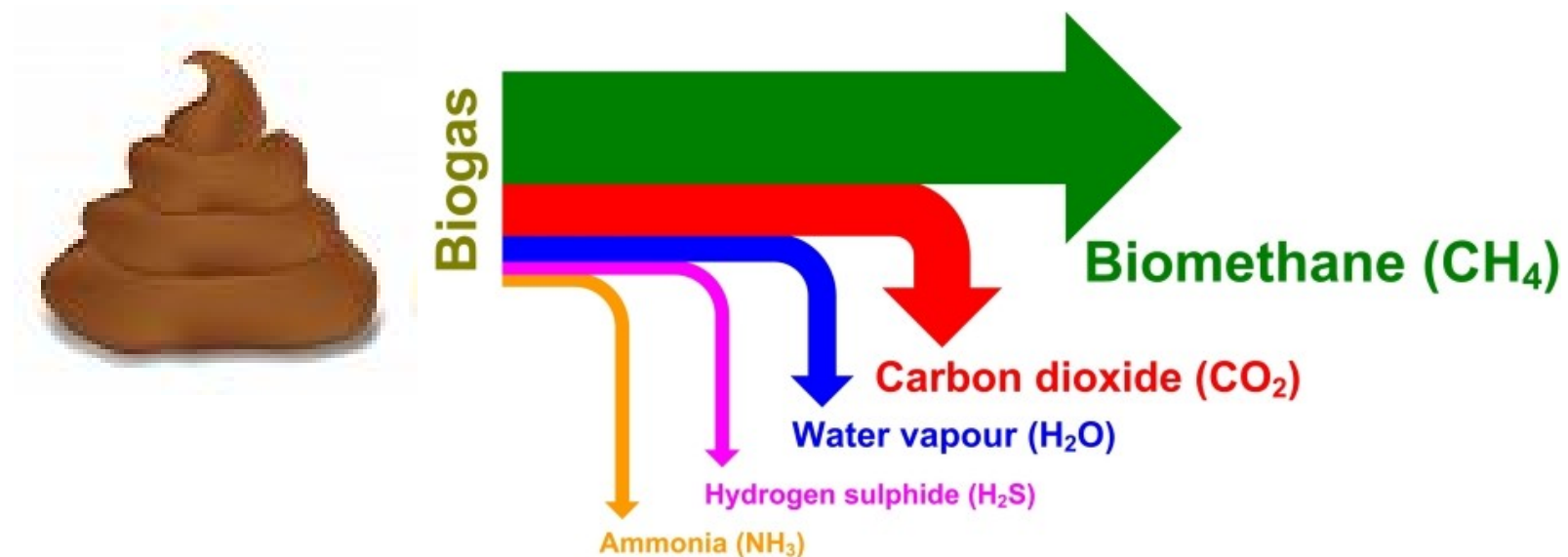
24 millones de kw eléctricos  
26,5 millones de Kw térmicos  
25.000 t de abono concentrado

# La digestión anaerobia de las deyecciones ganaderas



## Definición

La digestión anaerobia, también denominada biometanización o producción de biogás, es un proceso biológico, que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en el cual parte de la materia orgánica de las deyecciones se transforma, por la acción de microorganismos, en una mezcla de gases (biogás), constituido principalmente por metano y dióxido de carbono.





# La digestión anaerobia de las deyecciones ganaderas

## Procesos microbianos

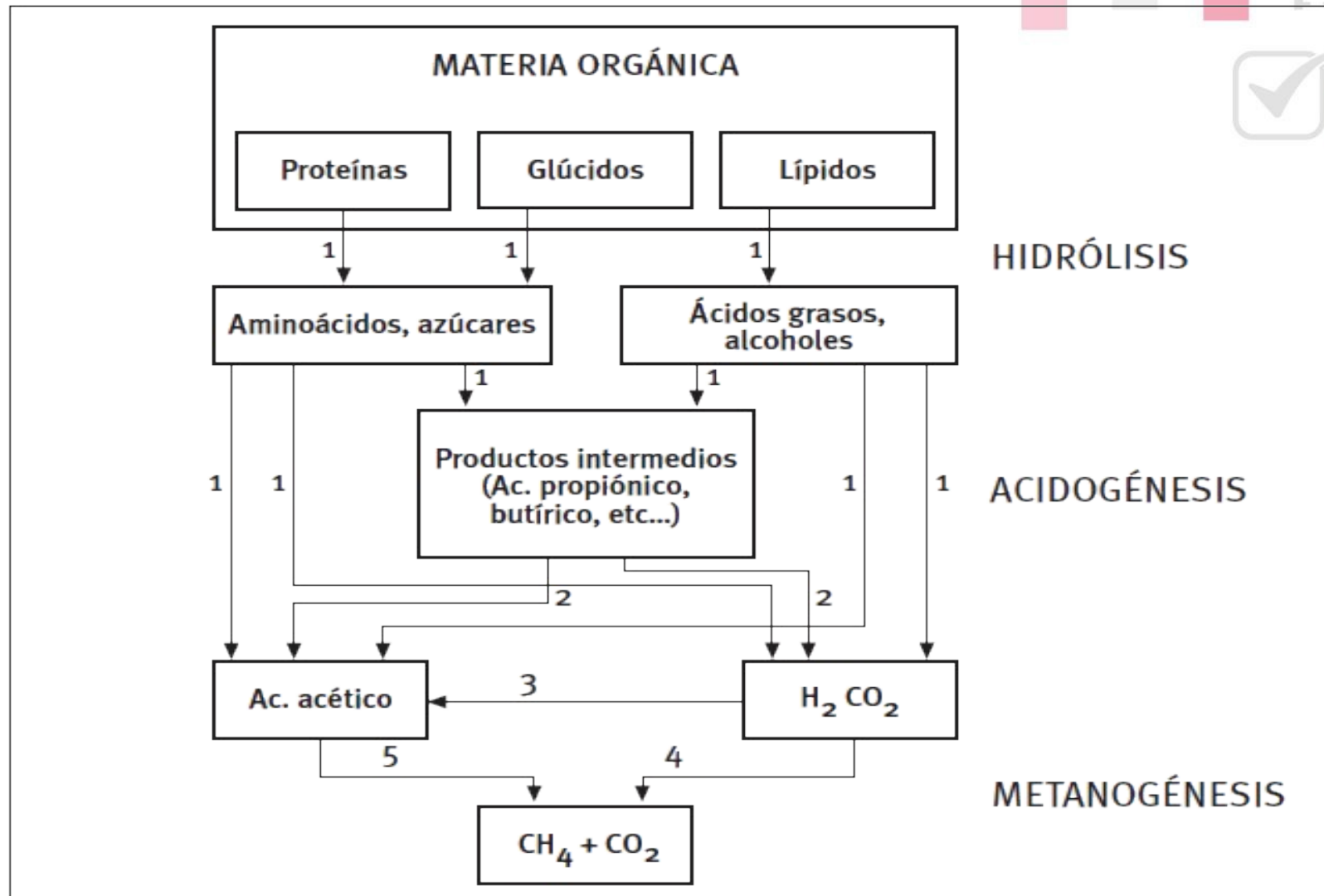
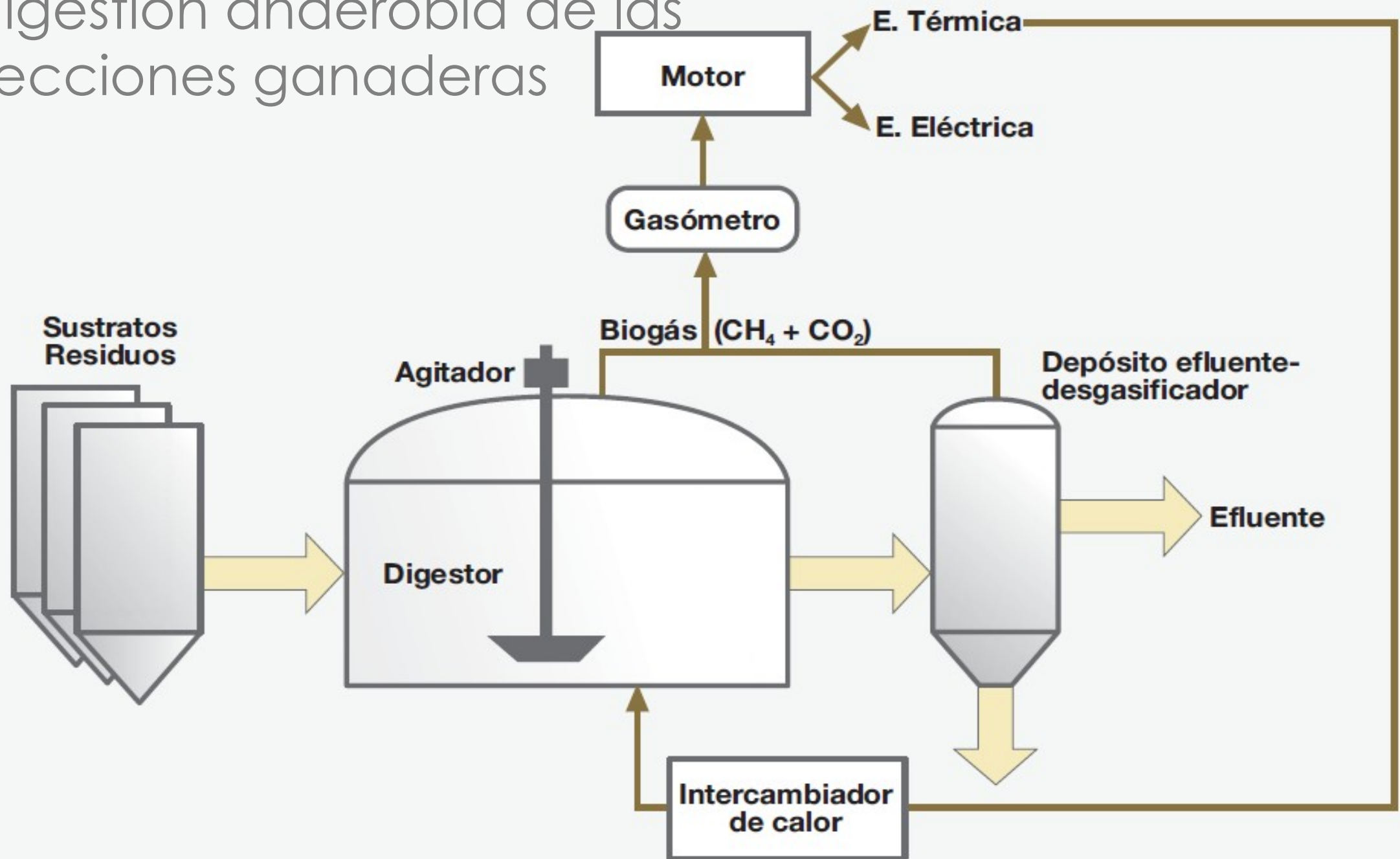


Figura 3. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas. Fuente: GIRO.

# La digestión anaerobia de las deyecciones ganaderas



# La digestión anaerobia de las deyecciones ganaderas



## Ventajas

- Producción de energía si se aprovecha el biogás producido. Balance energético positivo.
- Estabilización parcial de la materia orgánica.
- Mineralización parcial de la materia orgánica (carbono y nitrógeno).
- Homogeneización.
- Higienización parcial.
- Control y reducción de malos olores.
- Disminución de emisiones incontroladas de gases de efecto invernadero.
- Mejora de la eficacia de otros procesos de tratamiento a los que pueden someterse las deyecciones después de pasar por la digestión anaerobia, como puede ser concentración/evaporación o stripping (arrastre) de amoníaco.

# La digestión anaerobia de las deyecciones ganaderas



## Ventajas

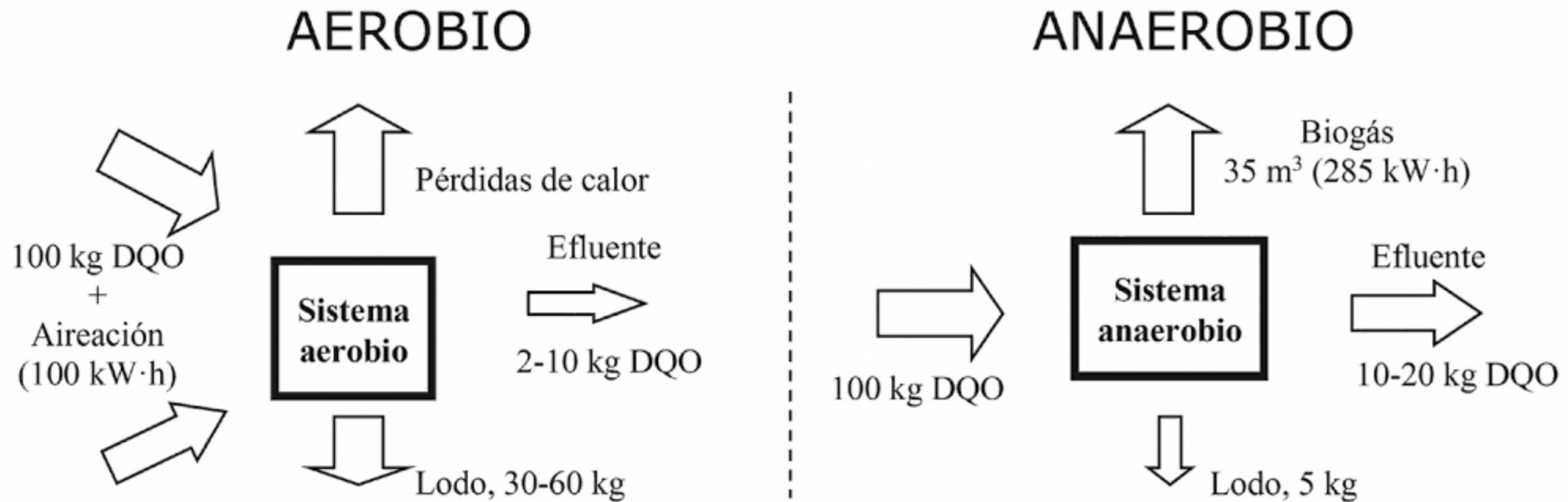


Figura 1.10. Balance genérico de DQO y energía en sistemas biológicos aerobios y anaerobios. Adaptado de van Lier y colaboradores (2002).

# La digestión anaerobia de las deyecciones ganaderas



 **porkcalidad**

## Inconvenientes

- Por ser sistemas cerrados, estancos, y con la infraestructura necesaria para el control y el aprovechamiento del gas producido, requiere inversiones elevadas.
- Debido al equilibrio necesario entre poblaciones bacterianas, necesita supervisión técnica periódica.
- Baja velocidad de crecimiento de microorganismos (requiere tiempos elevados de retención -de 15 a 20 días- y grandes volúmenes de reactores).
- Sensible a la presencia de muchos compuestos inhibidores o tóxicos (nitrógeno amoniacal, metales pesados, ácidos grasos volátiles, ácidos grasos de cadena larga, pH, antibióticos y desinfectantes, sulfuros, etc.).
- No se elimina nitrógeno.



# La digestión anaerobia de las deyecciones ganaderas



## Potencial metanogénico del purín porcino

Referencia	Biodegradab. %	Rendimiento CH <sub>4</sub> l CH <sub>4</sub> /kg SV	Producción biogás m <sup>3</sup> biogas/ton
Flotats, X. 2010	56,7	196	27,2
Amon et al., 2006	-	125-166	-
Angelidaki et al., 2003	-	210	20,6
Lehtomäki et al., 2007	-	233	18,5

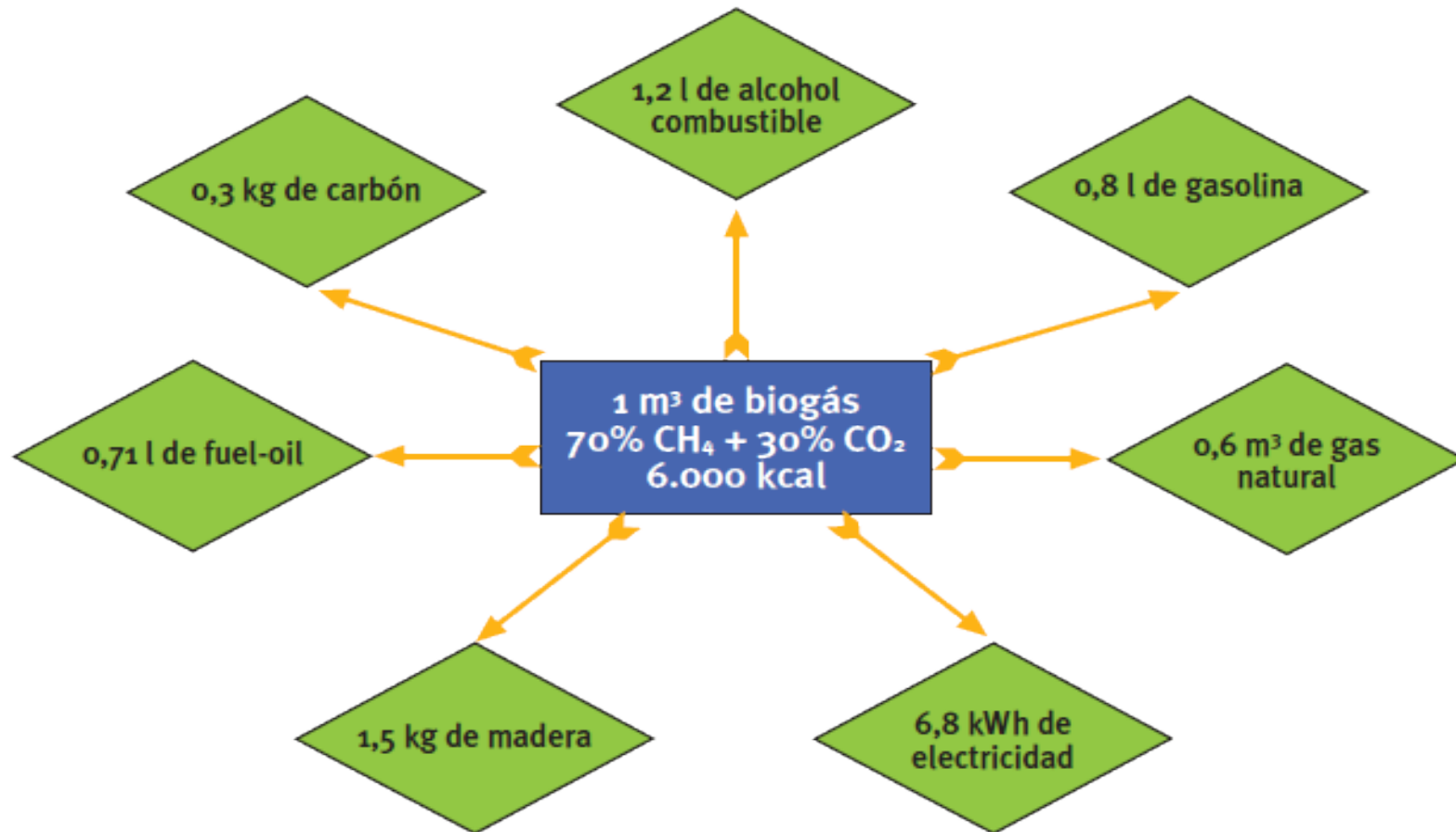




# La digestión anaerobia de las deyecciones ganaderas



## Potencial metanogénico del purín porcino



1 m<sup>3</sup> de purín de cerdo equivale a:

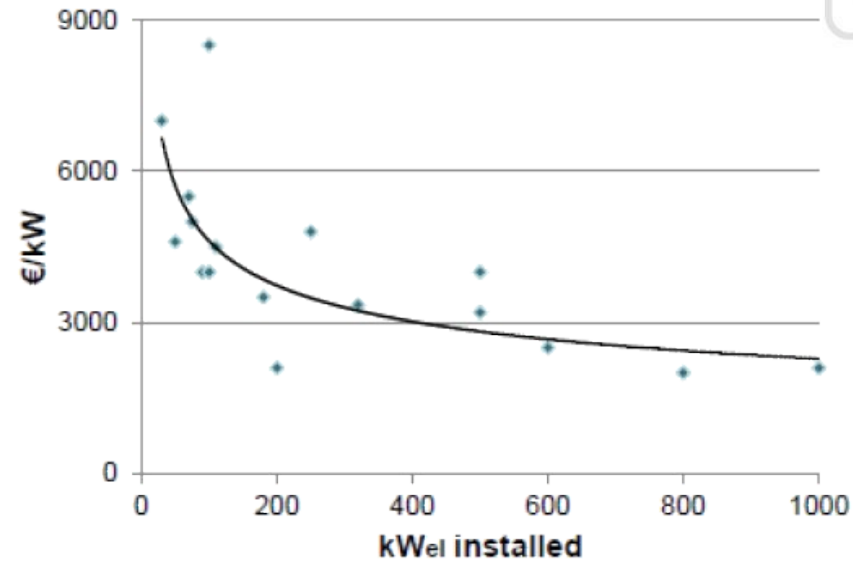
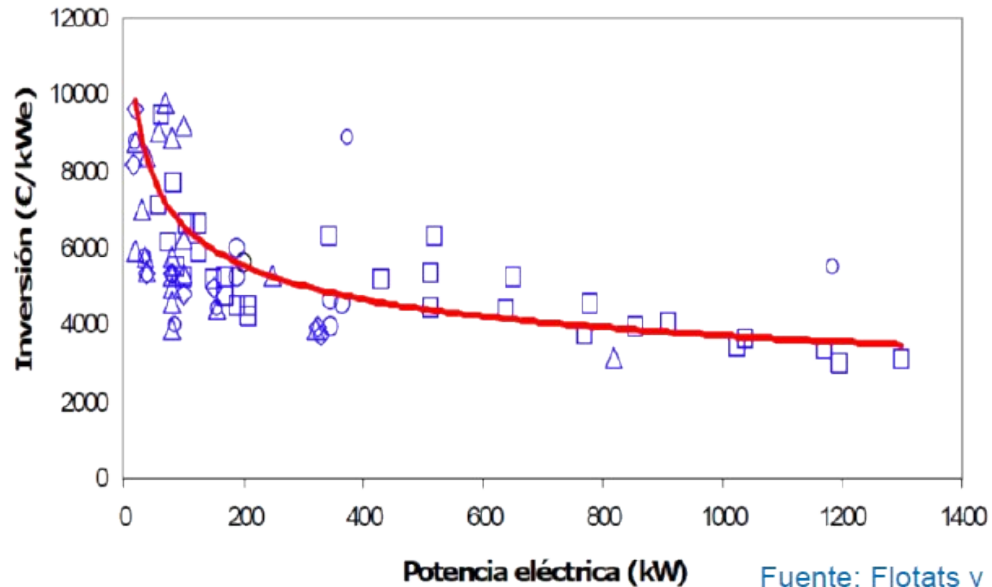
- 22 m<sup>3</sup> biogás
- 17.6 L de gasolina
- 13.2 m<sup>3</sup> de gas natural
- 6.6 kg de carbón
- 150 kWh de electricidad

Figura 2. Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía. Fuente: CIEMAT.

# La digestión anaerobia de las deyecciones ganaderas



## Rentabilidad económica (generación eléctrica)



- Sensible a economías de escala y las políticas de subvenciones.
- El tamaño y ubicación de la planta debe minimizar los costes (gestión, transporte, conexión a redes, etc.).
- Considerar otros ingresos: tratamiento de residuos, producción de calor, fertilizantes, etc.
- Una rentabilidad aceptable exige una producción específica de biogás de  $>30 \text{ m}^3/\text{T}$ .

# Pre-tratamientos



## Pre-tratamientos:

Aplicación de procesos al residuo previo a la digestión anaerobia, normalmente dirigidos a la mejora de la hidrólisis, para incrementar la producción de biogás

<b>Tratamiento</b>		<b>Incremento potencial CH<sub>4</sub> (%)</b>
Maceración	<0,35 mm	20
Maceración	2 mm	16
Descompresión-explosión		17
NaOH	20 g/kg SV	13
NaOH	40 g/kg SV	23
NH <sub>4</sub> OH	<20 g/kg SV	0
NH <sub>4</sub> OH	40 g/kg SV	23
NaOH:KOH:Ca(OH) <sub>2</sub>	40 g/kg SV	20
Bacterias (hemicelulosa)	-	20

Fuente: Angelidaki y Ahring, 2002

- Necesidad de incorporar nuevos procesos, incrementando el consumo energético y/o de reactivos.
- Aumento de la complejidad de los procesos de operación de la planta.
- Procesos no exentos de riesgos (altas presiones, temperaturas, sustancias corrosivas, etc.)

# La co-digestión anaerobia

## Co-digestión anaerobia:

Tratamiento conjunto de dos o más residuos, aprovechando la complementariedad en sus características físicoquímicas

	Residuos ganaderos	Lodos depuración	FORM	Residuos industria alimentaria
Micro y macronutrientes	↑	↑	↓	↓
Relación C/N	↓	↑ ↓	↑	↑
Capacidad tampón (alcalinidad)	↑		↓	↓
Materia orgánica biodegradable	↓	↑ ↓	↑	↑

Tipo	Contenido orgánico	Sólidos volátiles (%)	Producción de biogás (m³/tonelada)
Intestinos + contenidos	Hidratos de carbono, proteínas, lípidos	15-20	50-70
Fangos de flotación	65-70% proteínas, 30-35% lípidos	13-18	90-130
BBO (tierras filtrantes de aceites, con bentonita)	80% lípidos, 20% otros orgánicos	40-45	350-450
Aceites de pescado	30-50% lípidos	80-85	350-600
Suero	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	7-10	40-55
Suero concentrado	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	18-22	100-130
Hidrolizados de carne y huesos	70% proteínas, 30% lípidos	10-15	70-100
Mermeladas	90% azúcares, ácidos orgánicos	50	300
Aceite soja/margarinas	90% aceites vegetales	90	800-1000
Bebidas alcohólicas	40% alcohol	40	240
Fangos residuales	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	3-4	17-22
Fangos residuales concentrados	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	15-20	85-110

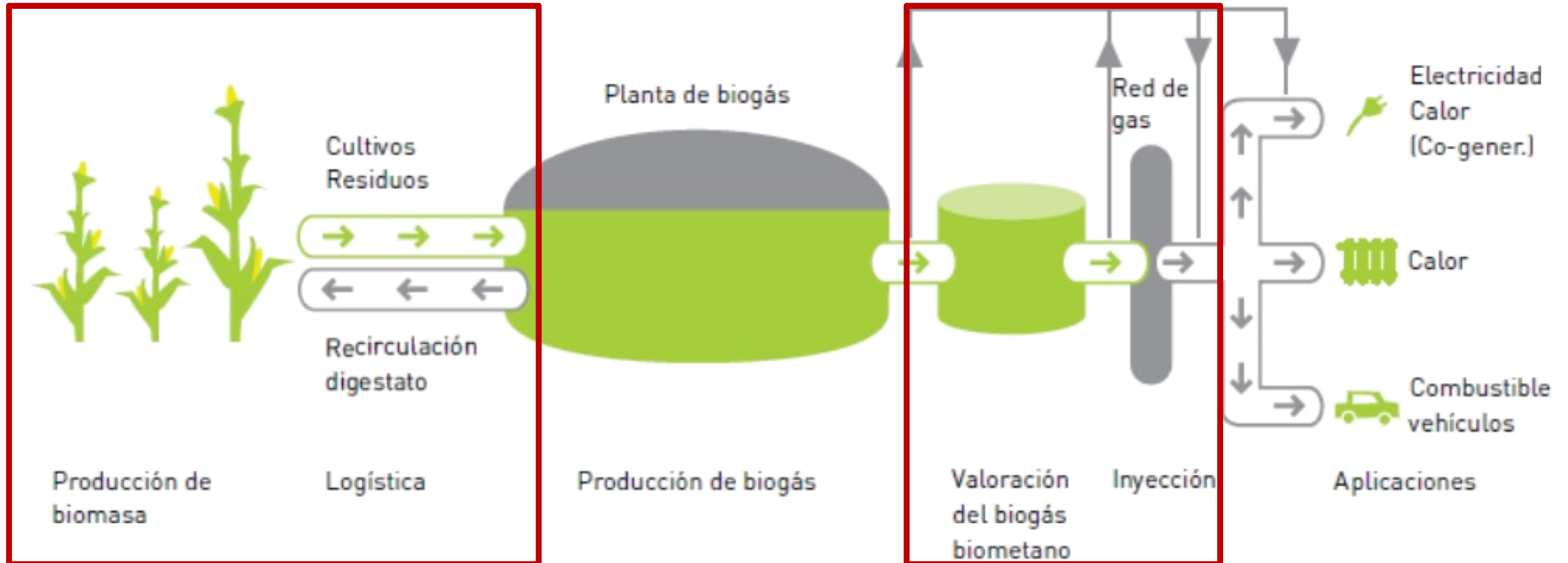
# Retos de la digestión anaerobia en el ámbito agroalimentario



- Utilización de cultivos captadores, residuos de cultivos, y otras fuentes de biomasa.
- Purificación del biogás e inyección del biometano en la red de distribución de gas natural, como alternativa a la generación e inyección eléctrica.
- Sistemas compactos y automatizados para el tratamiento descentralizado de residuos alimentarios (p.e. PIMEs del sector, HORECA, hospitales, mercados, etc.).
- Comprensión y aprovechamiento de los procesos microbianos que facilitan la co-digestión anaerobia de residuos que contienen sustancias inhibidoras (AGV, amonio, etc.)
- Sistemas de bajo coste y técnicamente asequibles para pequeños productores.

# Valorización de residuos vegetales y del biometano

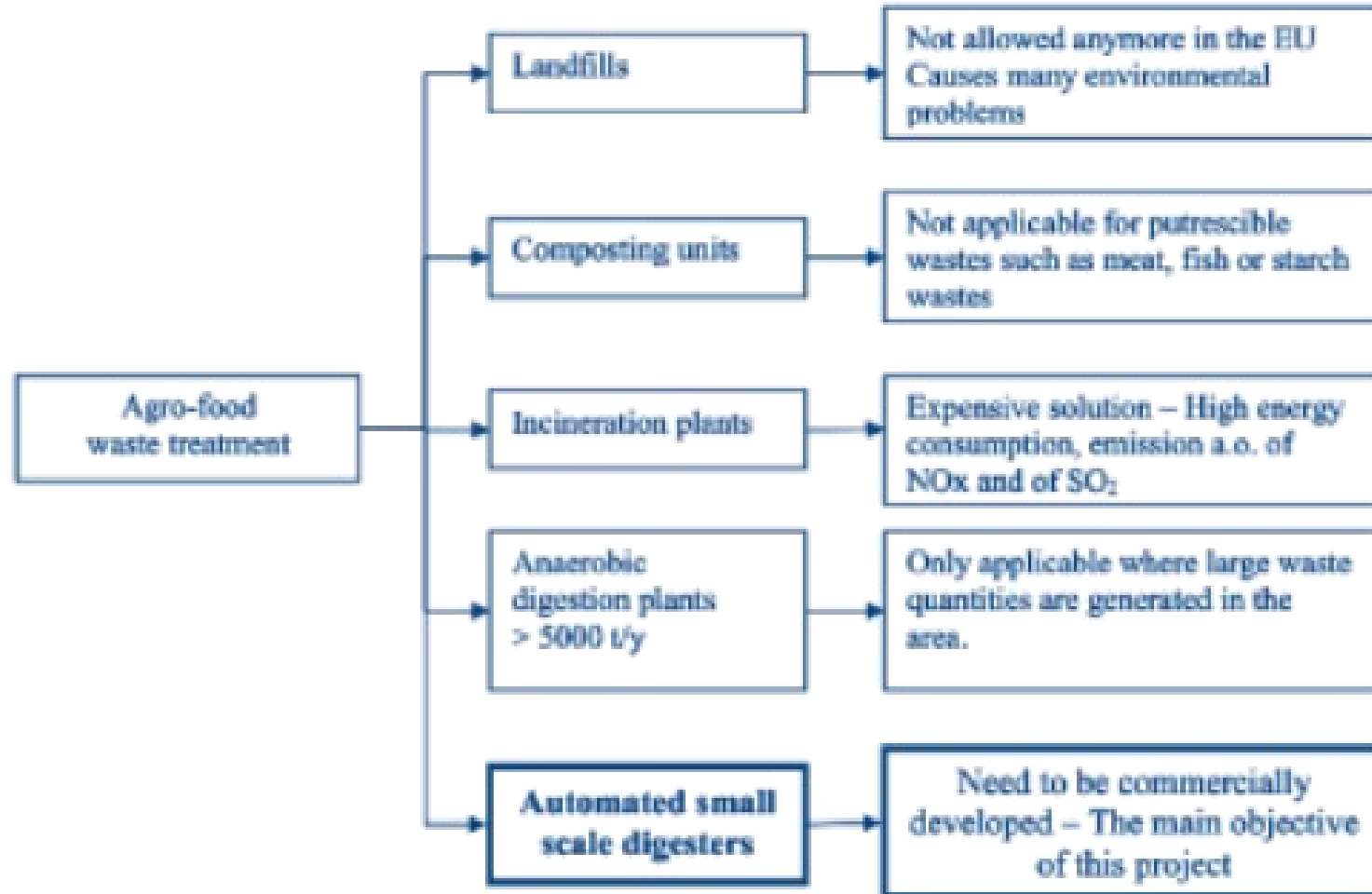
Cadena de valor de la producción de biogás, valorización a biometano y su inyección en la red de gas





# Los residuos alimentarios

En Europa cada año se generan 89.000.000 T de residuos orgánicos procedentes de la industria agroalimentaria (EUROSTAT, 2006).



# Sistemas compactos y automatizados



# Exposición a alto contenido de amonio: el proceso SAO



**Localidad:** Vilasana, Cataluña

**Tipo:** CSTR, **Volumen:** 1500 m<sup>3</sup> (2x)

**HRT:** 65 días, **TAN:** 2 – 4 gTAN L<sup>-1</sup>

**Regimen de T<sup>o</sup>:** Mesofílico

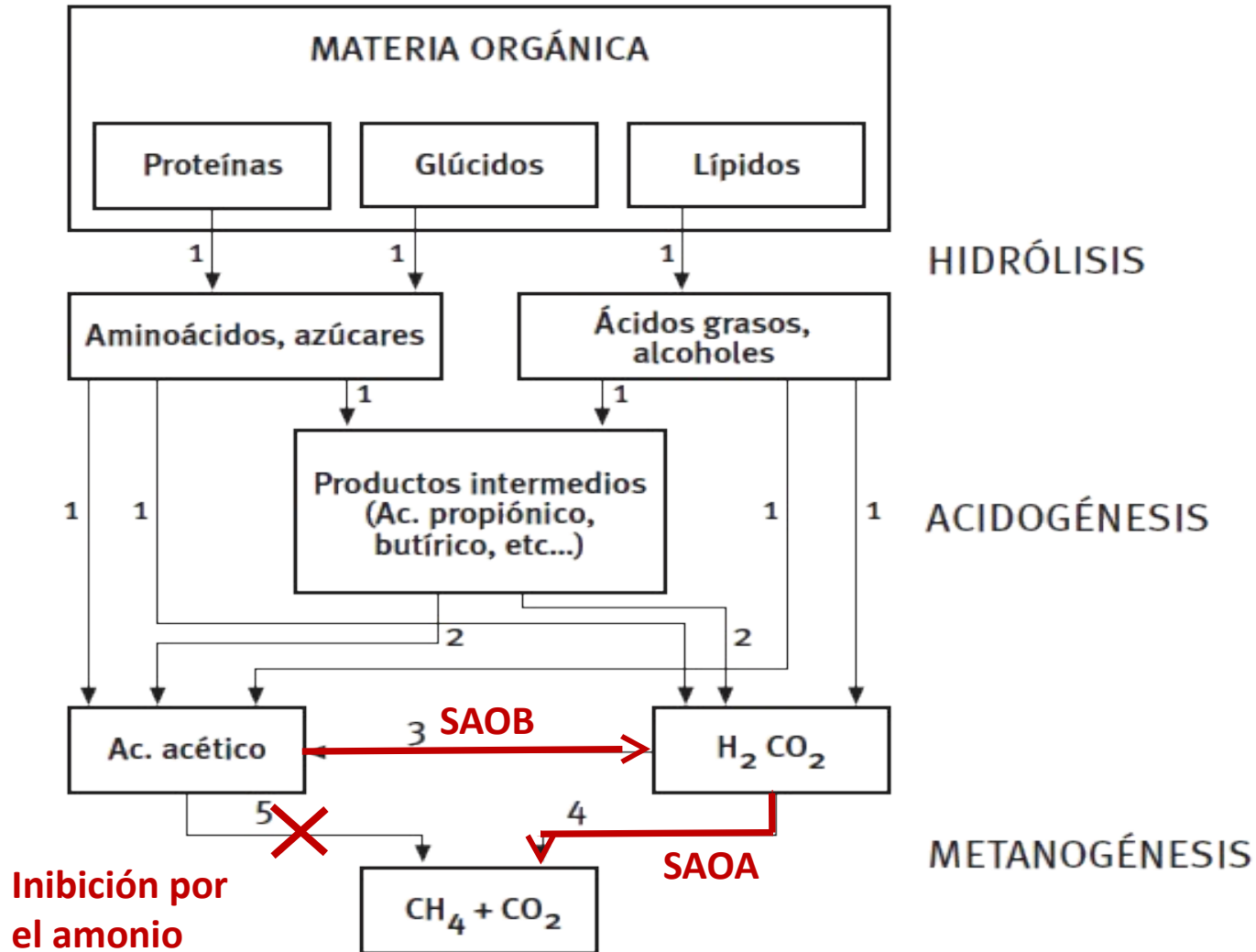
**Capacidad:** 11.000 m<sup>3</sup> de purines porcinos y 4.500 m<sup>3</sup> de residuos alimentarios al año

**Proyecto PROGRAMO (INIA)**

# Exposición a alto contenido de amonio: el proceso SAO



## Técnicas de fraccionamiento isotópico del biogás



Apparent fractionation factor ( $\alpha_c$ )

(Conrad 2005, Conrad et al. 2009)

$$\alpha_c = (\delta^{13}\text{CO}_2 + 1000) / (\delta^{13}\text{CH}_4 + 1000)$$

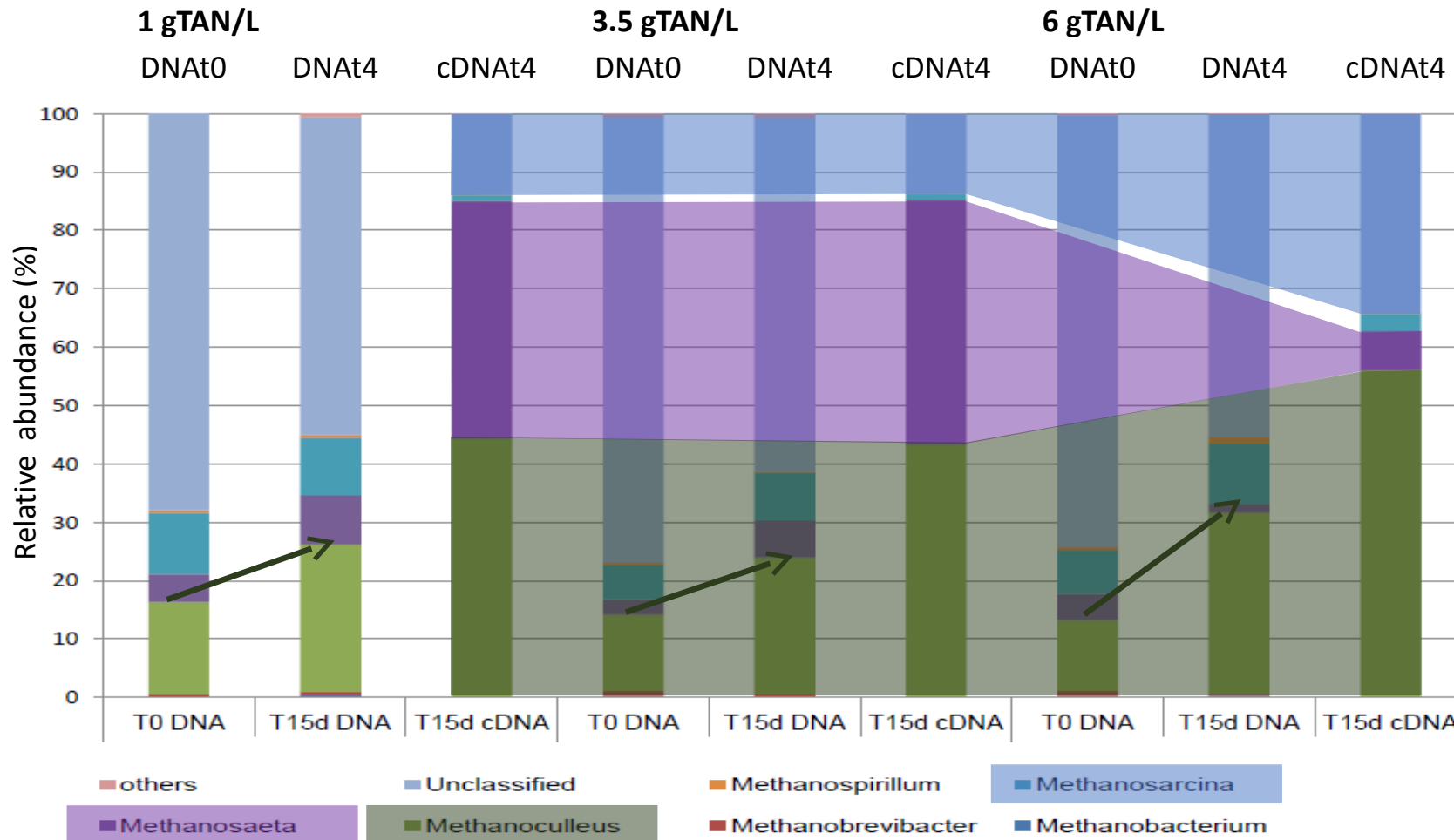
$\alpha_c < 1.055$  Dominance of acetotrophic methanogenesis

$\alpha_c > 1.065$  Dominance of hydrogenotrophic methanogenesis

$\alpha_c > 1.080$  Exclusively hydrogenotrophic methanogenesis

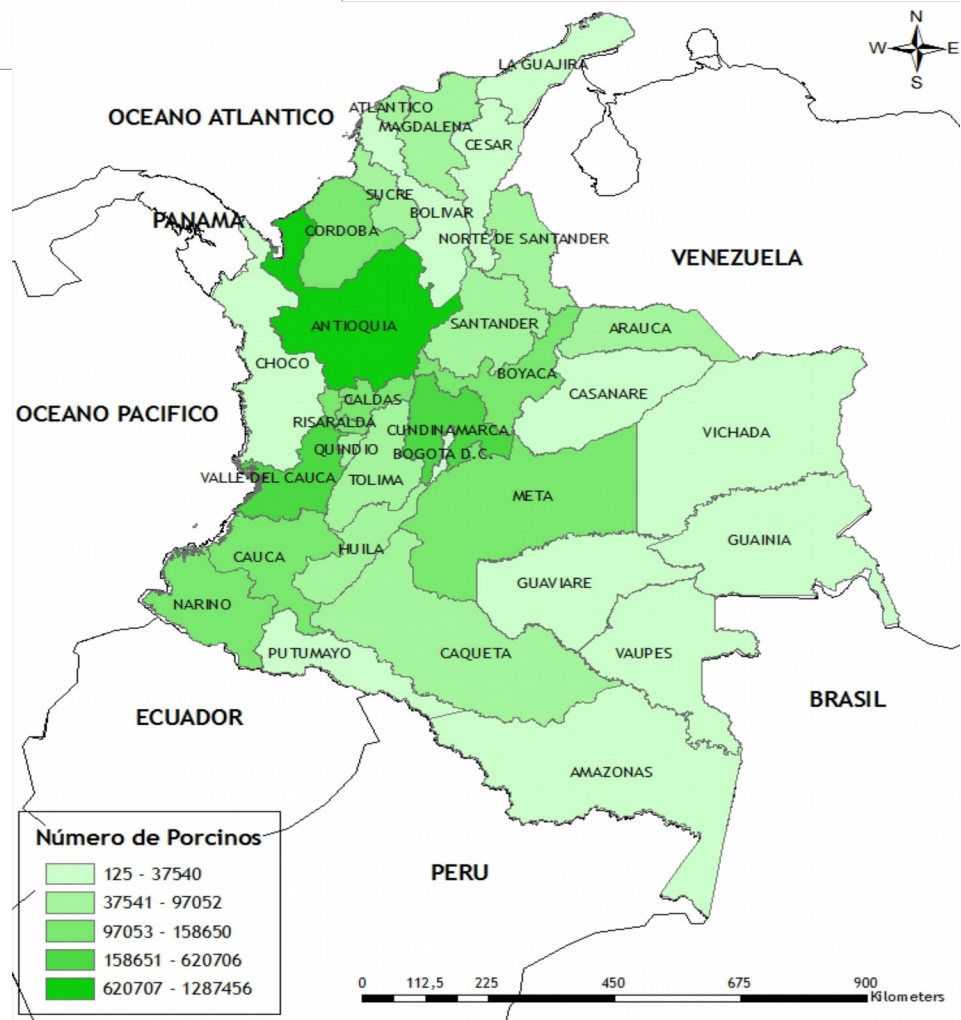
# Exposición a alto contenido de amonio: el proceso SAO

## Técnicas de biología molecular





# Los doce trabajos de Hércules



## Colombia:

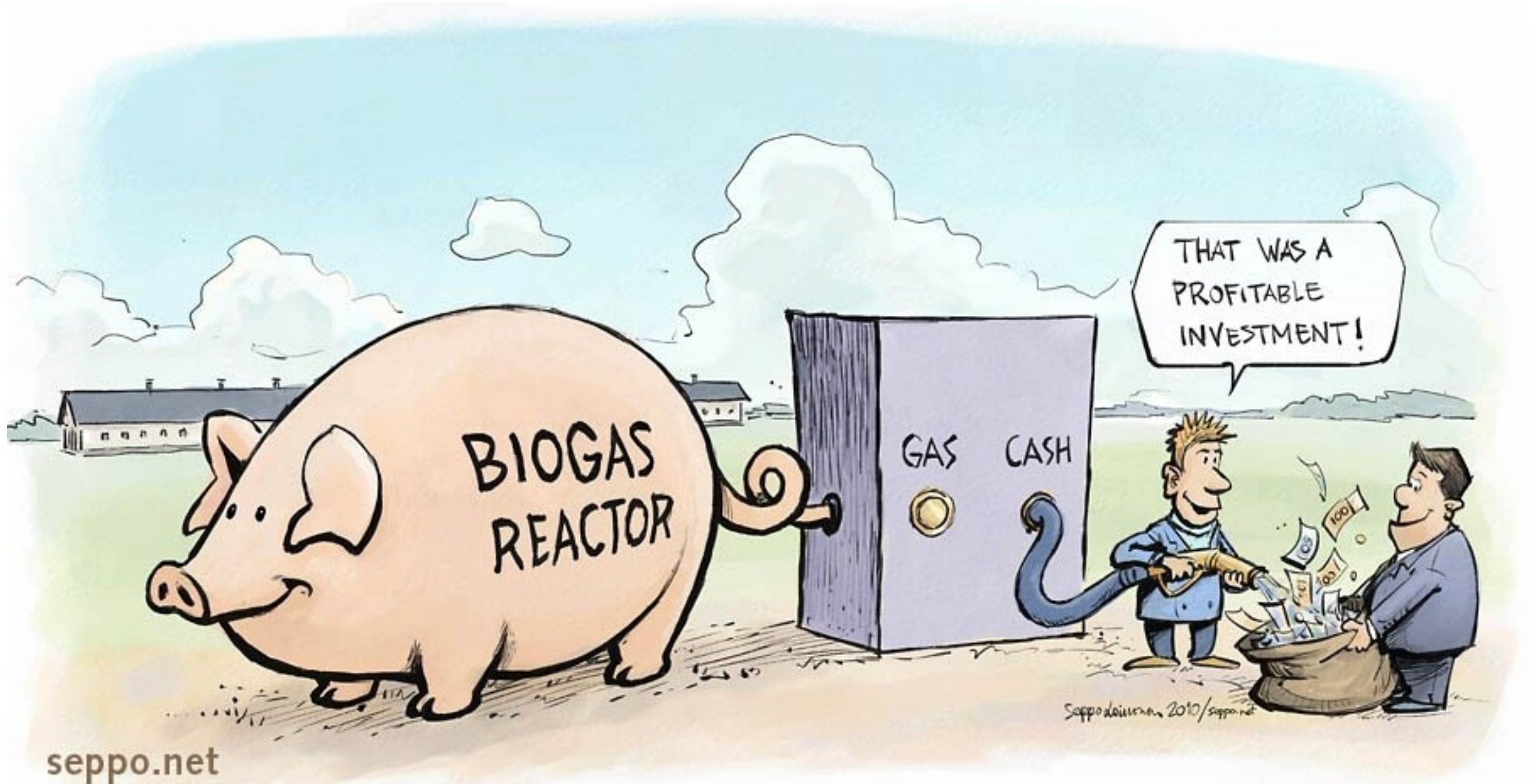
0,09 cerdos/cápita; 3,7 cerdos/km<sup>2</sup>

ICA (2013)



- Colombia cuenta con una población porcina de 5.094.664 animales, distribuidos en 218.698 granjas (ICA, 2016).
- Se trata de un sector en con un gran potencial de crecimiento.
- Las deyecciones del sector porcino generades durante un año serían equivalente a unos 11.000.000 m<sup>3</sup> de purines.
- Hay que aprovechar la oportunidad para desarrollar e implementar planes de gestión que contribuyan a la sostenibilidad del sector.

Muchas gracias por su atención!

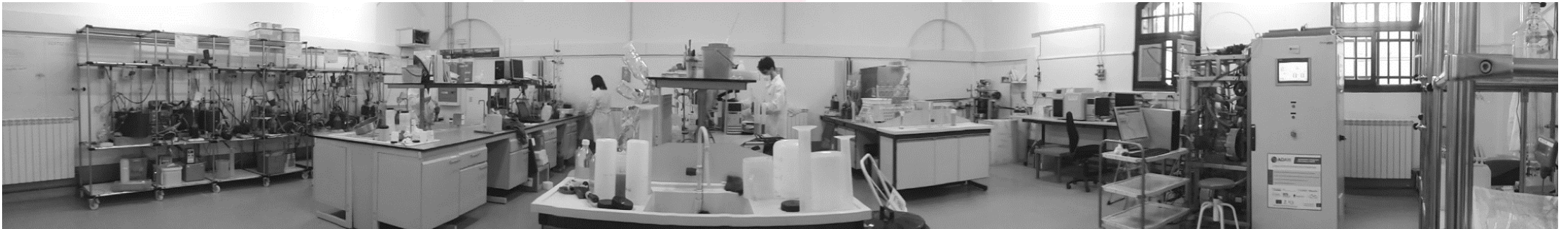








# Muchas gracias por su atención!



**Dirección postal:** Torre Marimon, 081 40 Caldes de Montbui, Barcelona, España

**Teléfono:** +34 93 4674040, ext 1334; **Móvil:** +34 637346685

**E-mail:** francesc.prenafeta@irta.cat



