

Evaluación de la digestión anaerobia como forma sustentable de valorización de residuos de granjas avícolas

I ENCUENTRO DE INVESTIGADORES/AS DE UTEC

01.08.24

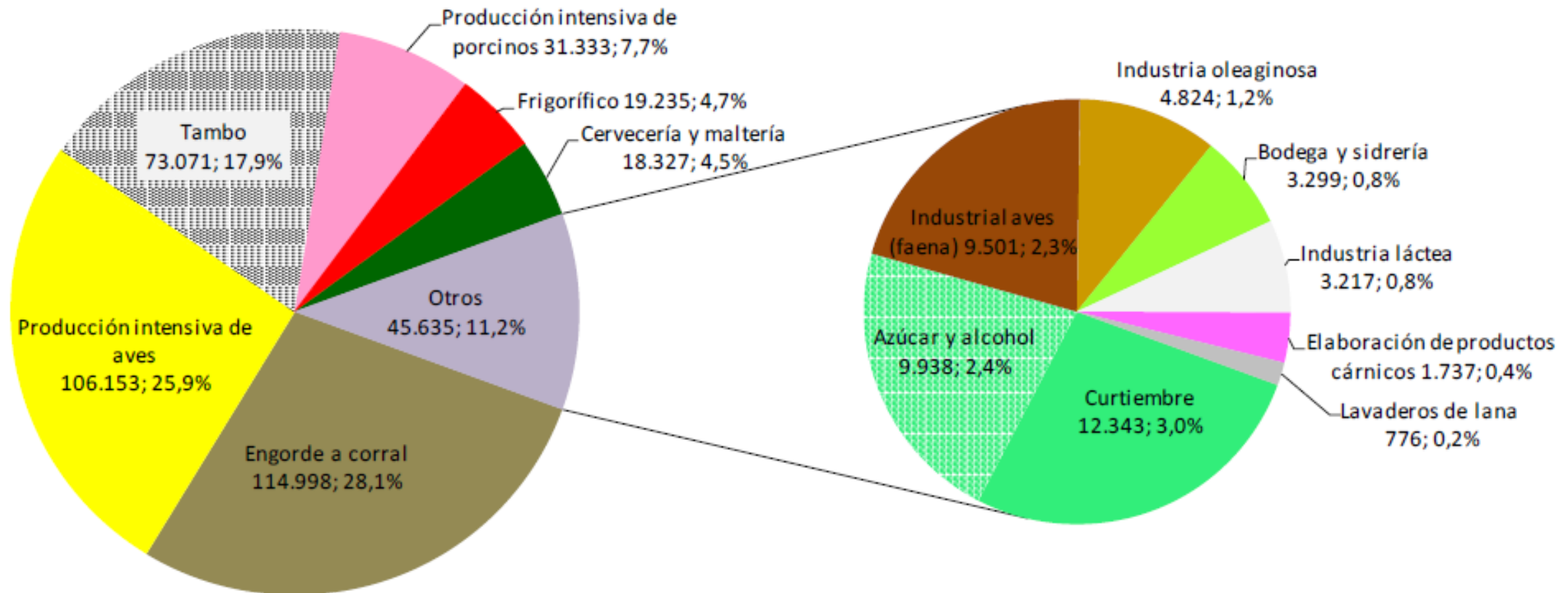
MSc. Qco. Guillermo Zinola

Docente Adjunto. Ingeniería en Agua y Desarrollo Sostenible. UTEC - ITR-CS Durazno
Departamento de Sostenibilidad Ambiental. Unidad Tecnológica de Recursos Naturales

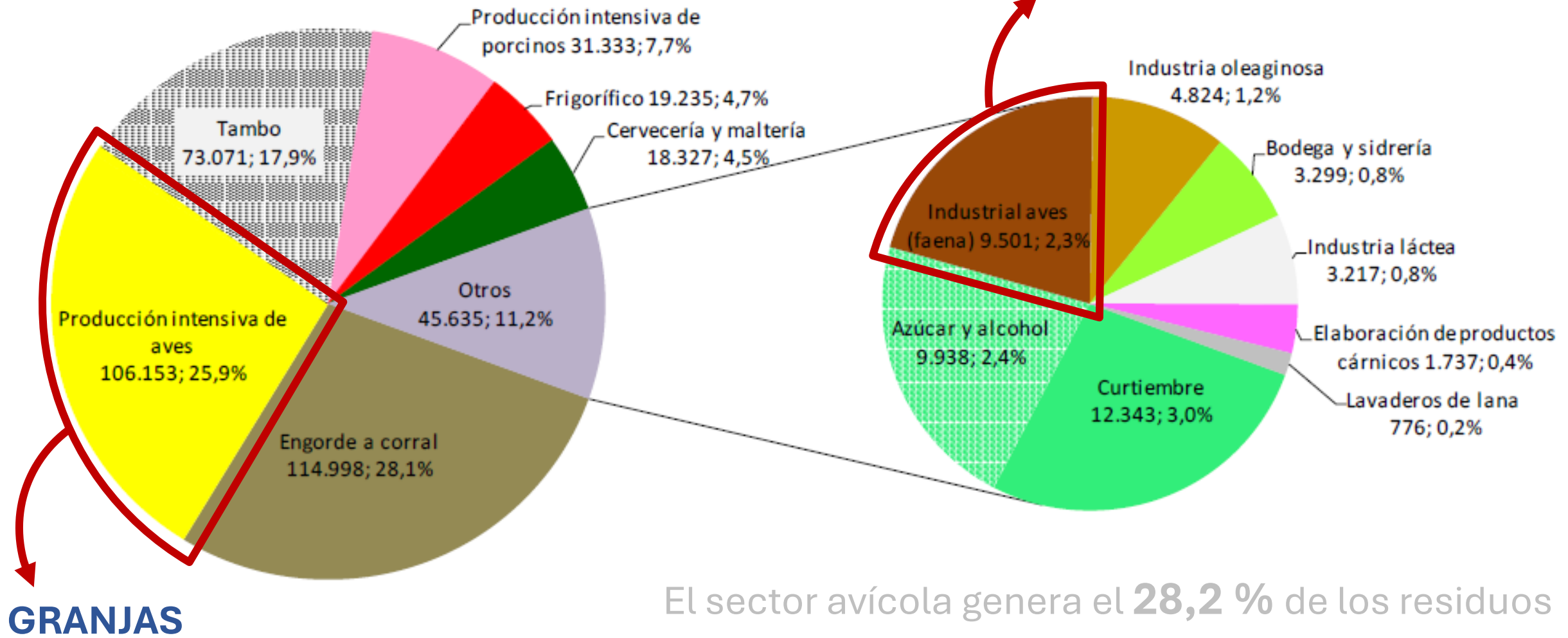


- **Residuos** en el sector avícola
- **Desarrollo de tecnologías** de valorización
- **Codigestión anaerobia** de residuos de granjas avícolas
- **Estrategia** de investigación
- **Producción** de biogás y digestato
- **Optimización y escalado** del bioproceso
- **Evaluación de la sostenibilidad** de las tecnologías

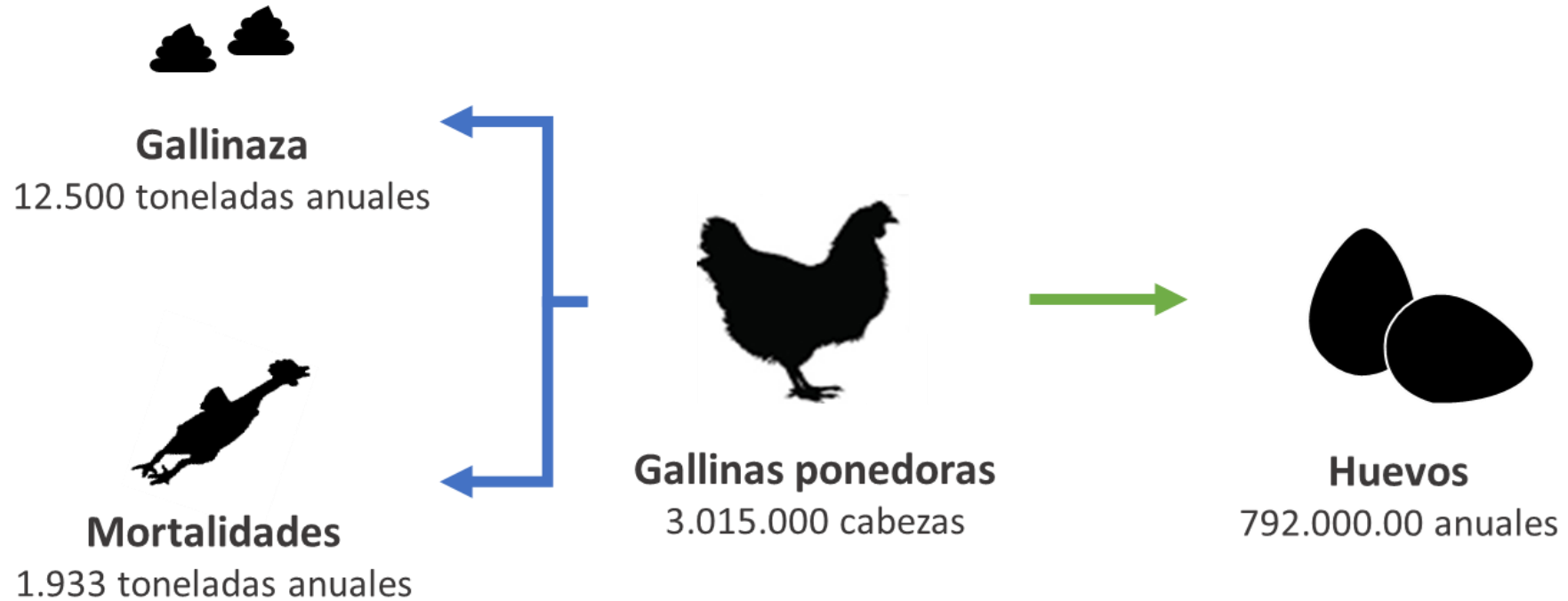
RESIDUOS EN EL SECTOR AVÍCOLA



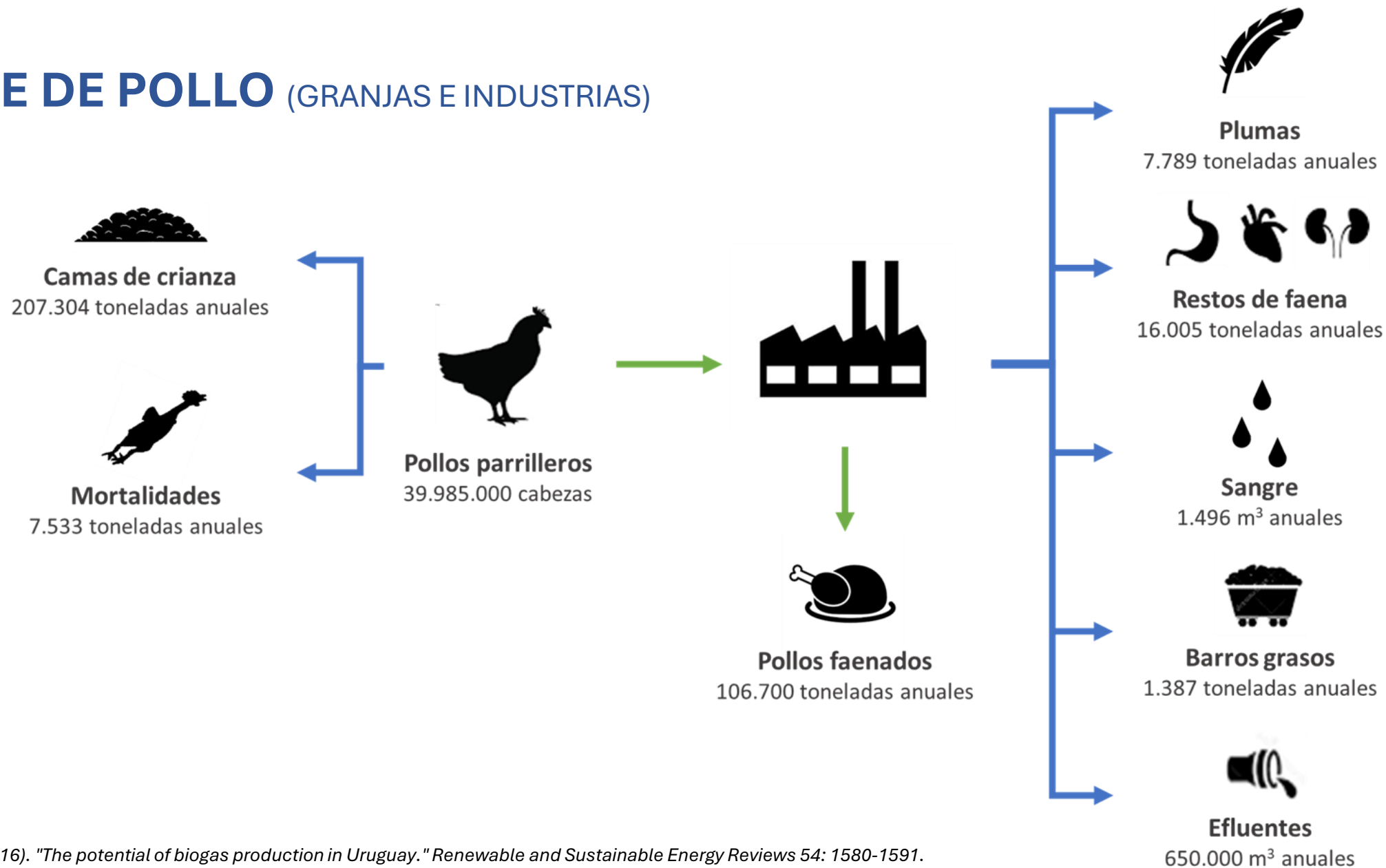
El sector avícola genera el **28,2 %** de los residuos agropecuarios y agroindustriales de Uruguay



PRODUCCION DE HUEVOS (GRANJAS)



CARNE DE POLLO (GRANJAS E INDUSTRIAS)



López Moreda, I. (2016). "The potential of biogas production in Uruguay." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54: 1580-1591.

Benzano, F., V. Emmer and M. J. González (2016). *Cuantificación de residuos generados en sectores agroindustriales uruguayos*. Biovalor. Uruguay.

DIEA-MGAP (2016). *Anuario Estadístico Agropecuario 2016*. Uruguay.

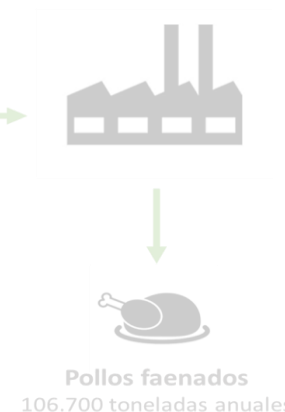
Disminución de las
cantidades generadas

Proporción entre **CC:GA**
a nivel nacional es **24:1**

3.800 TonST/año



81.000 TonST/año



POLLOS

CAMA DE CRIANZA (CC)

La cría se realiza sobre el piso de galpones cerrados, siendo la cáscara de arroz el material absorbente. Es removida cada 240 d, o 5 lotes de cría



34.160.000 pollos (100%)^a

POLLOS

CAMA DE CRIANZA (CC)

La cría se realiza sobre el piso de galpones cerrados, siendo la cáscara de arroz el material absorbente. Es removida cada 240 d, o 5 lotes de cría



GALLINAS PONEDORAS

FREE RANGE (GA-FR)

Se encuentran sobre el piso de galpones, con acceso al exterior durante el día (8h/d). El material absorbente es cáscara de arroz, el que es removido cada 600d



AUTOMATIZADO (GA-AUT)

Están confinadas en jaulas ubicadas en hileras, donde de forma automática las deyecciones son colectadas y removidas de los galpones 3 veces por semana



CONVENCIONAL (GA-CON)

Son confinadas en jaulas en una única fila elevada, donde las deyecciones son colectadas a nivel del piso y removidas de los galpones cada 6 meses



Parámetro	Símbolo	CC	GA-FR	GA-AUT	GA-CONV	Unidades
Generación anual (%)	JTS	81.000 (100)	396 (12)	1.118 (36)	1.716 (52)	tonTS/año
Humedad	%HUM	42	16	76	47	%
Sólidos totales	TS	583	839	244	534	gTS/kg
Sólidos volátiles (VS/TS)	VS	472 (81)	521 (62)	173 (71)	323 (60)	gVS/kg (%)
Carbono	C	35	29	27	27	% ^a
Nitrógeno total (C/TN)	TN	3,5 (10)	2,9 (10)	5,3 (4)	3,7 (7)	% ^a (gC/gN)
Fósforo total (TN/TP)	TP	1,63 (2,1)	2,21 (1,3)	2,05 (2,6)	3,69 (1,0)	% ^a (gN/gP)

TRATAMIENTO
BIOLÓGICO?

Parámetro	Símbolo	CC	GA-FR	GA-AUT	GA-CONV	Unidades
Generación anual (%)	JTS	81.000 (100)	396 (12)	1.118 (36)	1.716 (52)	tonTS/año
Humedad	%HUM	42	16	76	47	%
Sólidos totales	TS	583	839	244	534	gTS/kg
Sólidos volátiles (VS/TS)	VS	472 (81)	521 (62)	173 (71)	323 (60)	gVS/kg (%)
Carbono	C	35	29	27	27	% ^a
Nitrógeno total (C/TN)	TN	3,5 (10)	2,9 (10)	5,3 (4)	3,7 (7)	% ^a (gC/gN)
Fósforo total (TN/TP)	TP	1,63 (2,1)	2,21 (1,3)	2,05 (2,6)	3,69 (1,0)	% ^a (gN/gP)

Alta disponibilidad de materia orgánica en todos los residuos

TRATAMIENTO
BIOLÓGICO?

Parámetro	Símbolo	CC	GA-FR	GA-AUT	GA-CONV	Unidades
Generación anual (%)	JTS	81.000 (100)	396 (12)	1.118 (36)	1.716 (52)	tonTS/año
Humedad	%HUM	42	16	76	47	%
Sólidos totales	TS	583	839	244	534	gTS/kg
Sólidos volátiles (VS/TS)	VS	472 (81)	521 (62)	173 (71)	323 (60)	gVS/kg (%)
Carbono	C	35	29	27	27	% ^a
Nitrógeno total (C/TN)	TN	3,5 (10)	2,9 (10)	5,3 (4)	3,7 (7)	% ^a (gC/gN)
Fósforo total (TN/TP)	TP	1,63 (2,1)	2,21 (1,3)	2,05 (2,6)	3,69 (1,0)	% ^a (gN/gP)

TRATAMIENTO
BIOLÓGICO?

Alta disponibilidad de materia orgánica en todos los residuos

%Hum y TN afectados por el tiempo de permanencia en los galpones

Parámetro	Símbolo	CC	GA-FR	GA-AUT	GA-CONV	Unidades
Generación anual (%)	JTS	81.000 (100)	396 (12)	1.118 (36)	1.716 (52)	tonTS/año
Humedad	%HUM	42	16	76	47	%
Sólidos totales	TS	583	839	244	534	gTS/kg
Sólidos volátiles (VS/TS)	VS	472 (81)	521 (62)	173 (71)	323 (60)	gVS/kg (%)
Carbono	C	35	29	27	27	% ^a
Nitrógeno total (C/TN)	TN	3,5 (10)	2,9 (10)	5,3 (4)	3,7 (7)	% ^a (gC/gN)
Fósforo total (TN/TP)	TP	1,63 (2,1)	2,21 (1,3)	2,05 (2,6)	3,69 (1,0)	% ^a (gN/gP)

TRATAMIENTO
BIOLÓGICO?

Alta disponibilidad de materia orgánica en todos los residuos

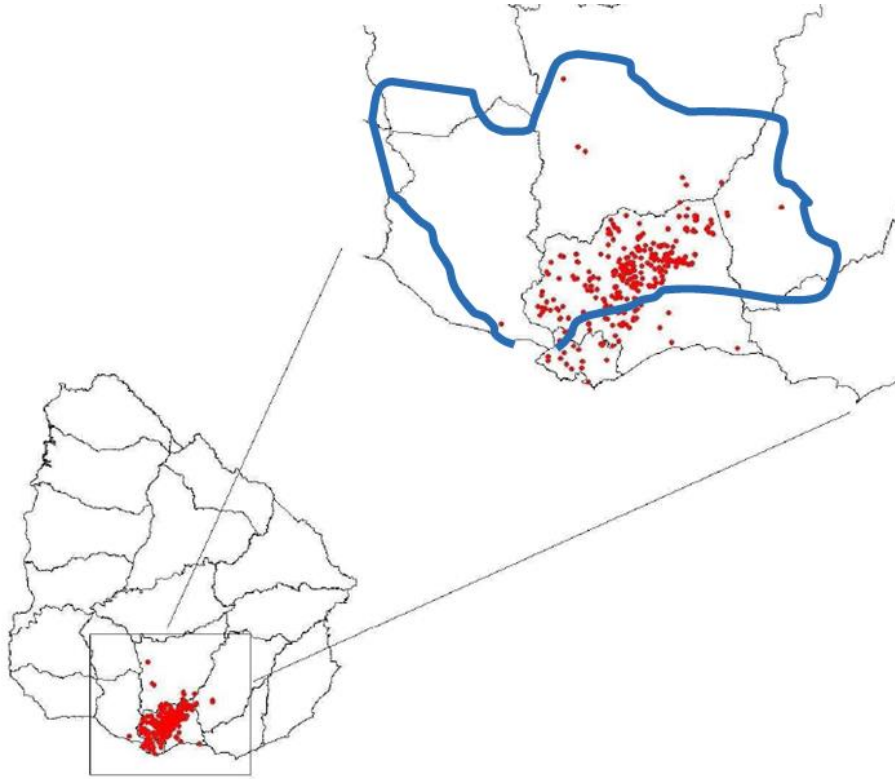
%Hum y TN afectados por el tiempo de permanencia en los galpones

Relaciones C/N bajas pueden afectar los procesos biológicos

CC y GA-FR (camas) > GA-CONV (volatilización de NH₃) > GA-AUT

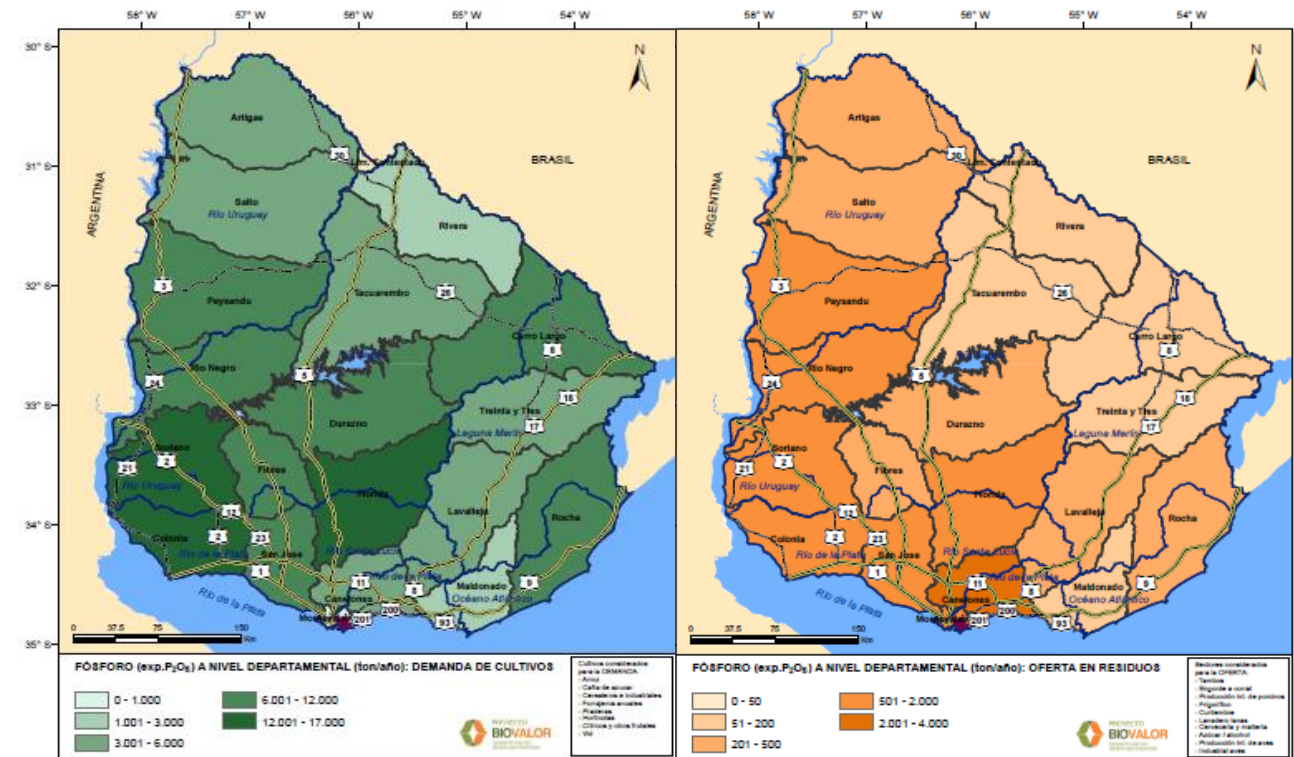
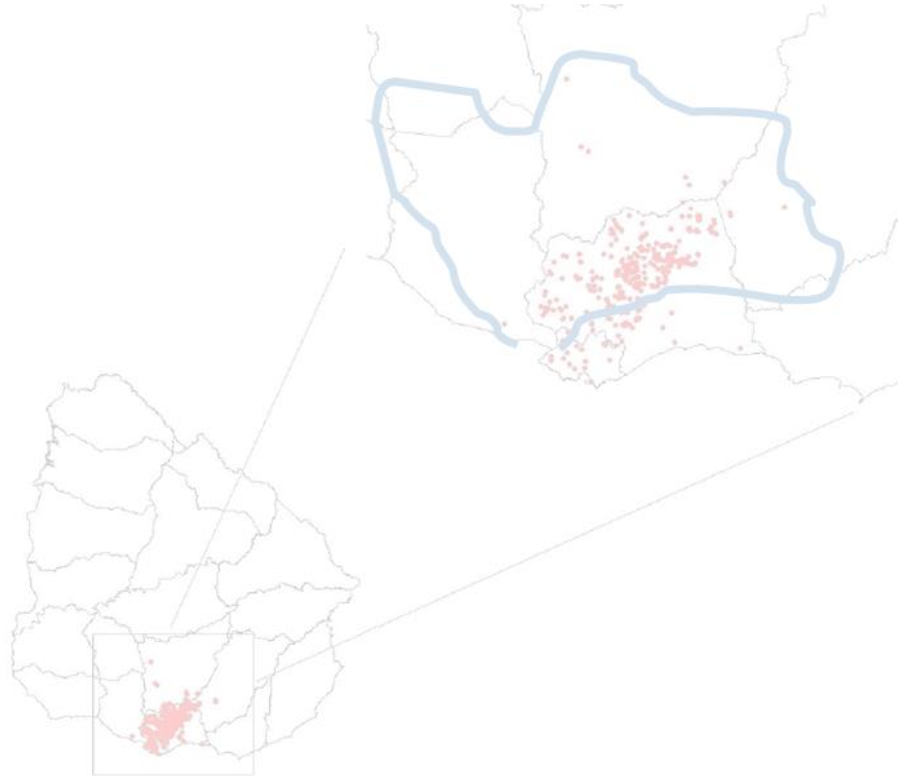
SOLUCIONES CENTRALIZADAS

concentración geográfica + variabilidad de la generación



SOLUCIONES CENTRALIZADAS

concentración geográfica + variabilidad de la generación



NUTRIENTES (fósforo)

oferta proveniente de residuos orgánicos vs demanda de cultivos

DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN

INIA FPTA-374: Revalorización del estiércol de ave

Propuesta y evaluación de diferentes alternativas incluyendo producción de energía y fertilizantes orgánicos



INIA FPTA-374: Revalorización del estiércol de ave

Propuesta y evaluación de diferentes alternativas incluyendo producción de energía y fertilizantes orgánicos



1. **Implementación de tratamientos** (compostaje, quickwash y digestión anaeróbica) y estudio de la influencia de diferentes variables sobre la eficiencia de los procesos y obtención de productos.

INIA FPTA-374: Revalorización del estiércol de ave

Propuesta y evaluación de diferentes alternativas incluyendo producción de energía y fertilizantes orgánicos



1. **Implementación de tratamientos** (compostaje, quickwash y digestión anaeróbica) y estudio de la influencia de diferentes variables sobre la eficiencia de los procesos y obtención de productos.
2. **Obtención de productos de calidad verificada** mediante estudios y análisis integrales (presencia de patógenos, resistencia a antibióticos y contenido de nutrientes).

INIA FPTA-374: Revalorización del estiércol de ave

Propuesta y evaluación de diferentes alternativas incluyendo producción de energía y fertilizantes orgánicos



1. **Implementación de tratamientos** (compostaje, quickwash y digestión anaeróbica) y estudio de la influencia de diferentes variables sobre la eficiencia de los procesos y obtención de productos.
2. **Obtención de productos de calidad verificada** mediante estudios y análisis integrales (presencia de patógenos, resistencia a antibióticos y contenido de nutrientes).
3. **Conocimiento del valor agronómico** desde el punto de vista sanitario y ambiental de los mejoradores de suelo mediante estudios de laboratorio, invernáculo y campo.

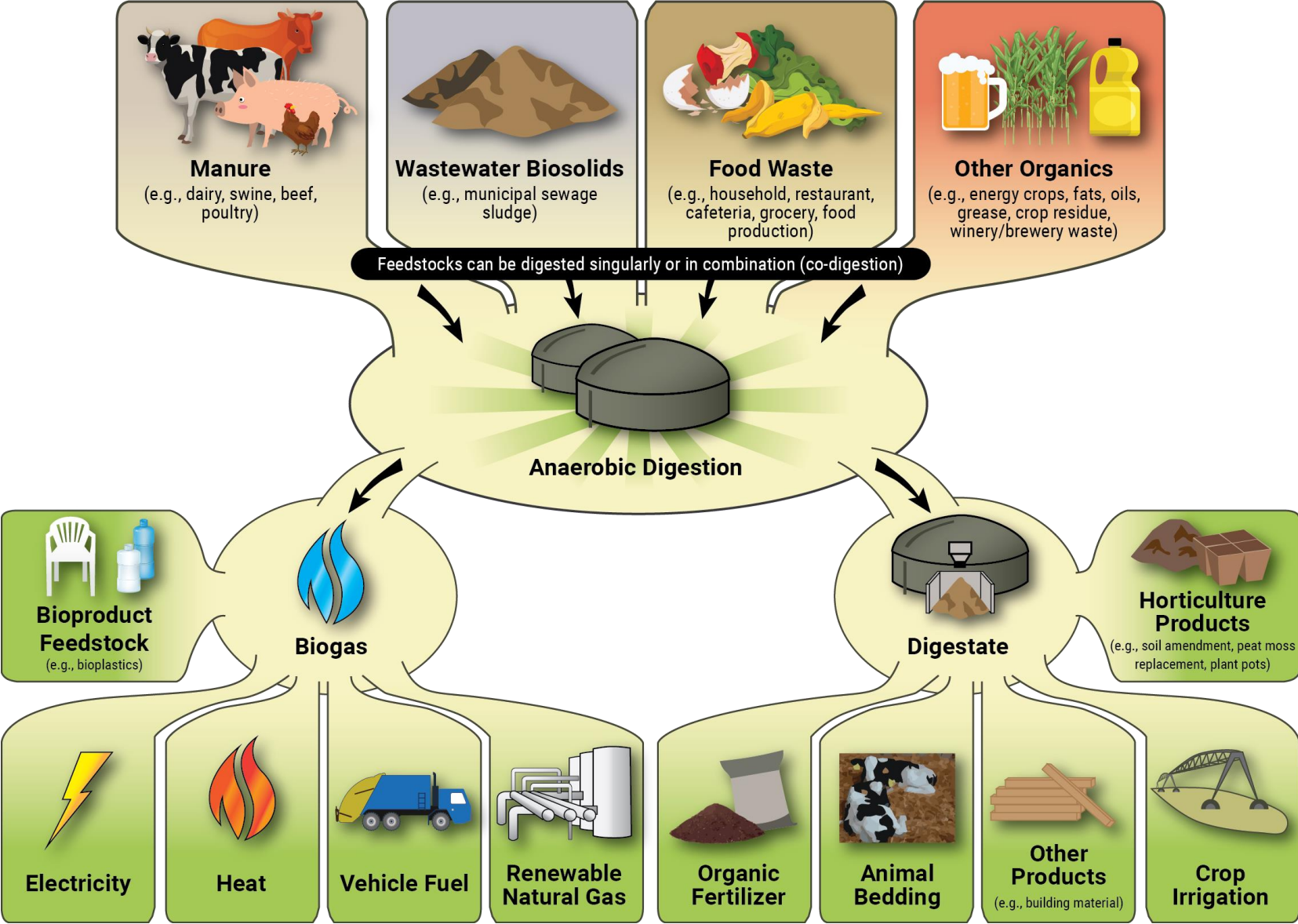
INIA FPTA-374: Revalorización del estiércol de ave

Propuesta y evaluación de diferentes alternativas incluyendo producción de energía y fertilizantes orgánicos

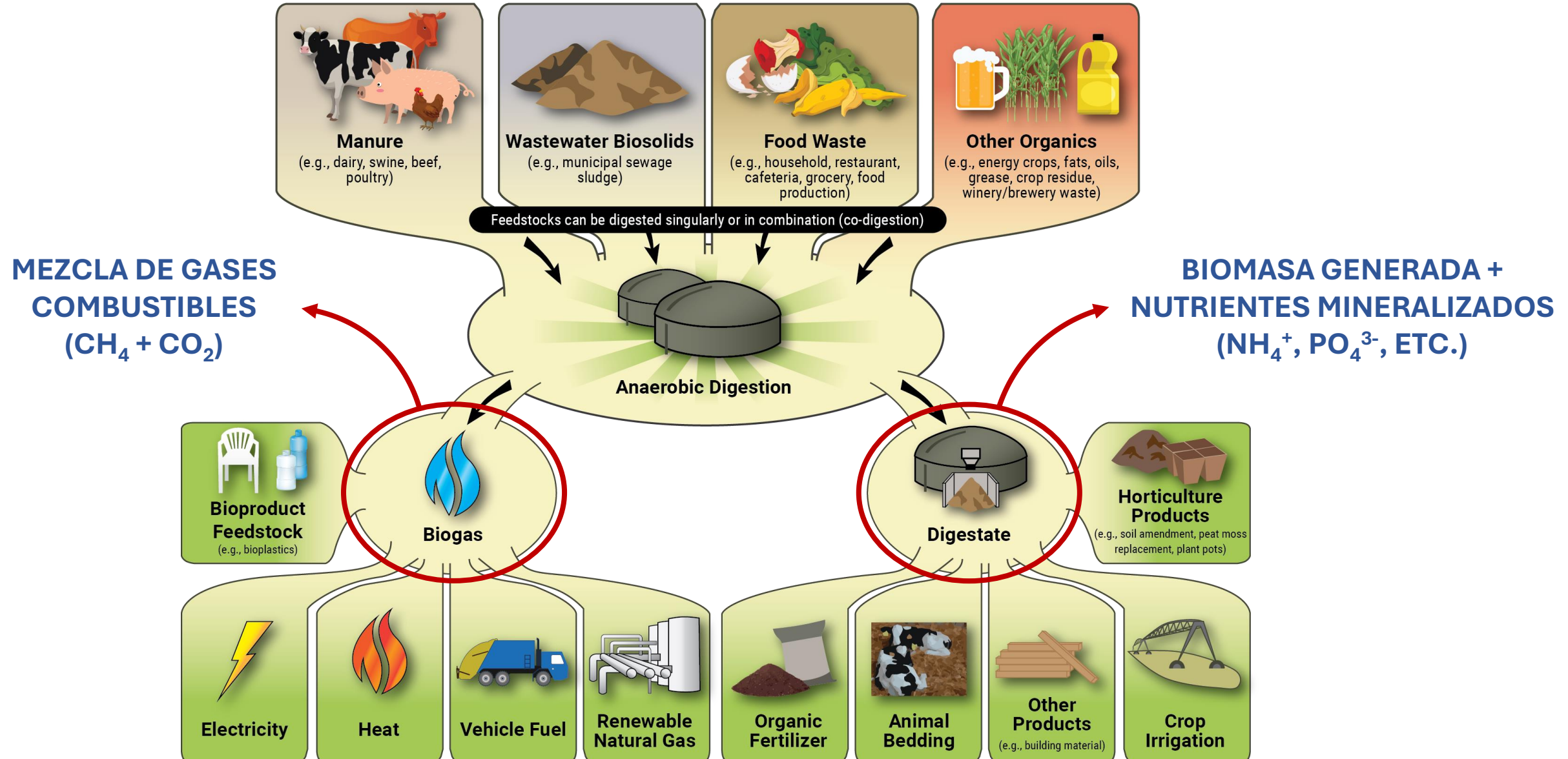


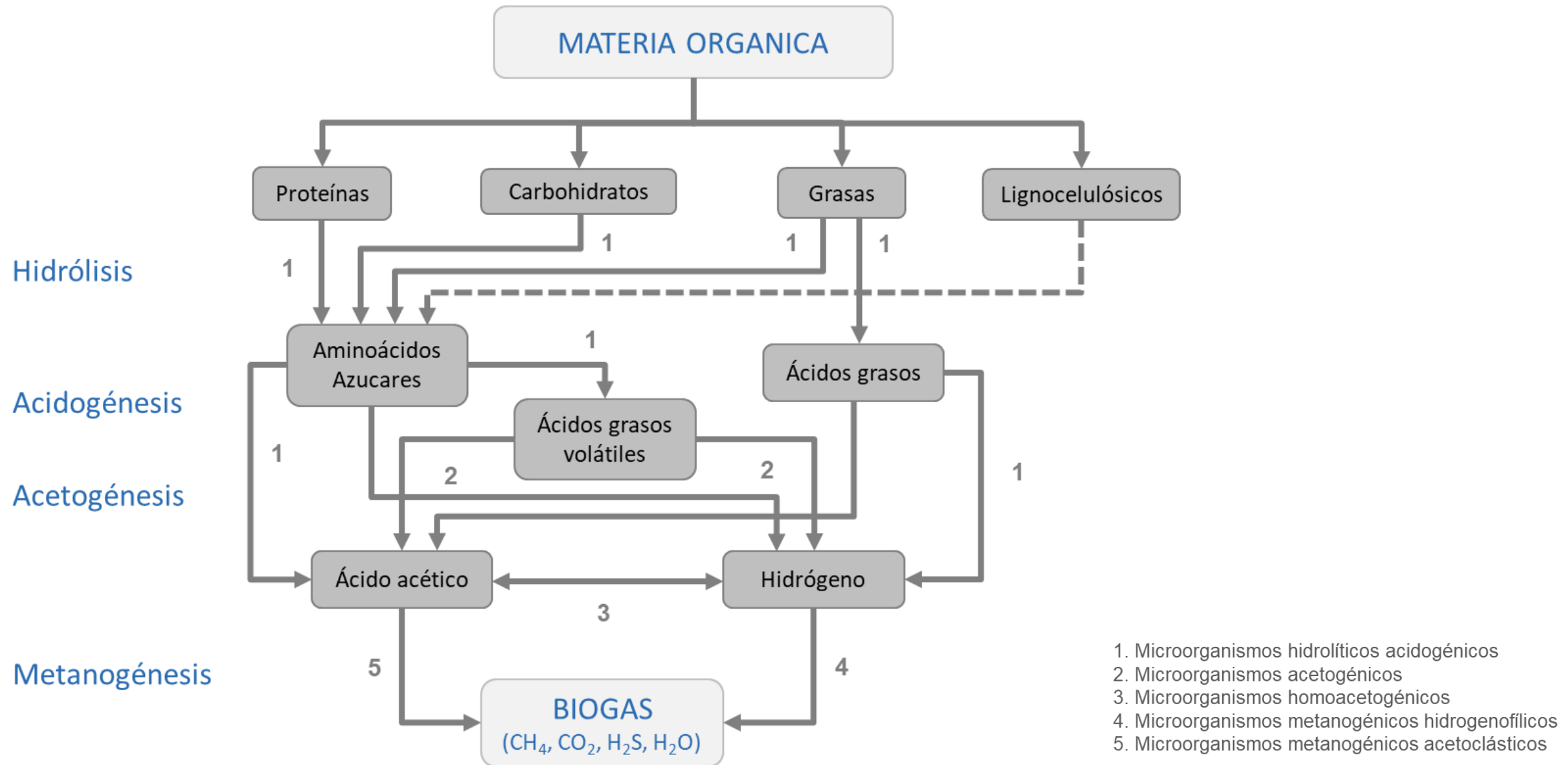
1. **Implementación de tratamientos** (compostaje, quickwash y digestión anaeróbica) y estudio de la influencia de diferentes variables sobre la eficiencia de los procesos y obtención de productos.
2. **Obtención de productos de calidad verificada** mediante estudios y análisis integrales (presencia de patógenos, resistencia a antibióticos y contenido de nutrientes).
3. **Conocimiento del valor agronómico** desde el punto de vista sanitario y ambiental de los mejoradores de suelo mediante estudios de laboratorio, invernáculo y campo.
4. **Conocimiento del costo y beneficios** de cada una de las tecnologías implementadas como herramienta para su adopción apropiada a las distintas empresas de la cadena avícola.

CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS DE GRANJAS AVÍCOLAS



CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS DE GRANJAS AVÍCOLAS





MEZCLA DE RESIDUOS DE AVÍCOLAS

codigestión anaerobia de CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV

Complementariedad de nutrientes

mejorar la relación C/N

Disminución de toxicidad

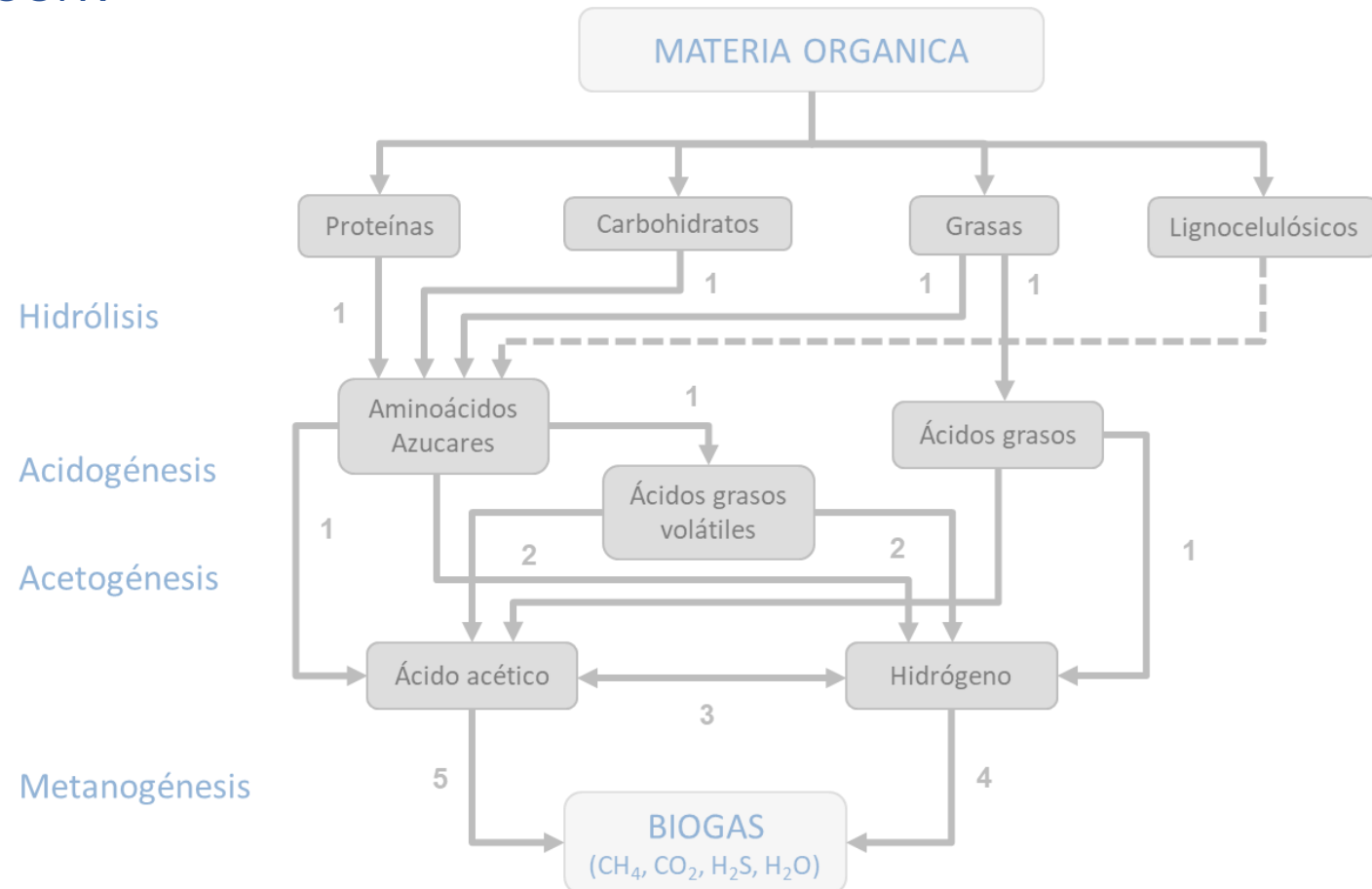
evitar la inhibición por NH_4^+

Generación de residuos variable

fluctuaciones en la cantidad y características

Productos con calidad verificable

control de procesos en plantas centralizadas



DOCTORADO EN QUIMICA

Universidad de la República



Evaluación de la digestión anaerobia como
forma sustentable de valorización de residuos
de granjas avícolas

PhD. Claudia Etchebehere (IIBCE)

PhD. Héctor García (UTEC)

DOCTORADO EN QUIMICA

Universidad de la República



Evaluación de la digestión anaerobia como forma sustentable de valorización de residuos de granjas avícolas

PhD. Claudia Etchebehere (IIBCE)

PhD. Héctor García (UTEC)

BECA DE DOCTORADO

Sostenibilidad de cadenas exportadoras agropecuarias y forestales



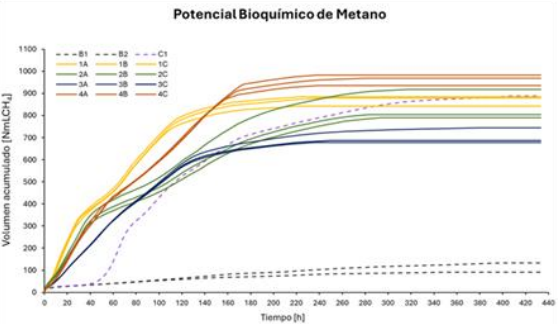
AGENCIA NACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN



- 1. Conocer el potencial de producción de metano y el digestato** obtenido de los diferentes residuos por separado y de diferentes mezclas de estos.
- 2. Determinar las variables operativas del bioproceso** en reactores CSTR que permitan producir la mayor cantidad de metano.
- 3. Escalar el proceso y evaluar el desempeño** de la tecnología considerando fluctuaciones estacionales de temperatura.
- 4. Evaluar la sustentabilidad** de la implementación a escala completa de la tecnología desarrollada.



**evaluación de la producción
de biogás y digestato de los
residuos y sus mezclas**
(CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV)

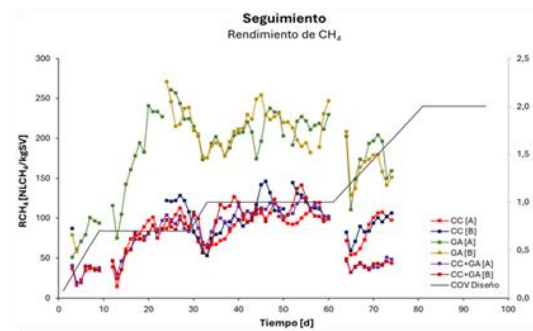
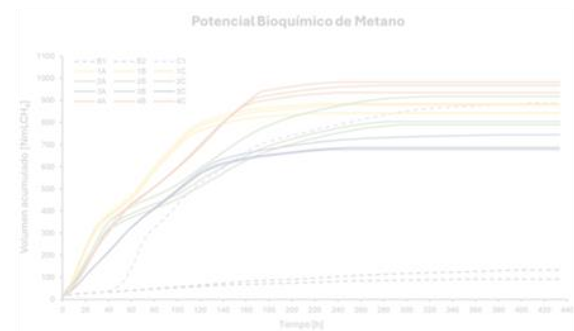




**evaluación de la producción
de biogás y digestato de los
residuos y sus mezclas**
(CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV)



**optimización de variables
para la operación de
reactores en continuo**
(TRH y COV)





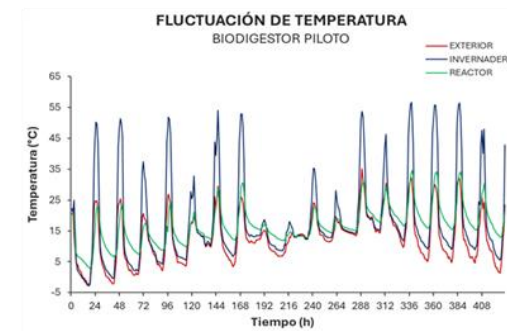
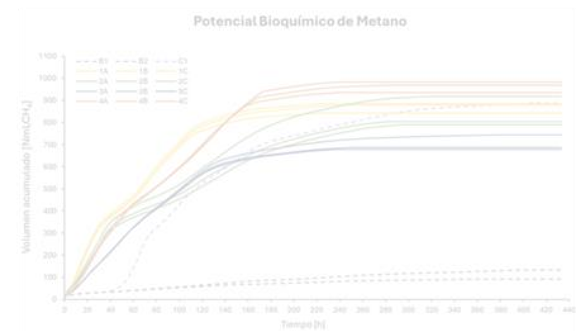
**evaluación de la producción
de biogás y digestato de los
residuos y sus mezclas**
(CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV)



**optimización de variables
para la operación de
reactores en continuo**
(TRH y COV)



**impacto de la
temperatura en el proceso
en reactor a escala piloto**
(desempeño tecnológico)





evaluación de la producción de biogás y digestato de los residuos y sus mezclas
(CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV)



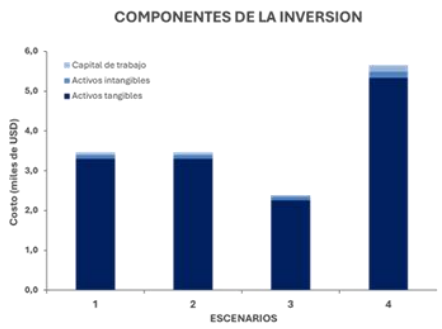
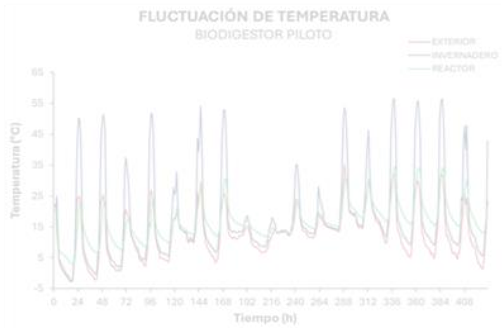
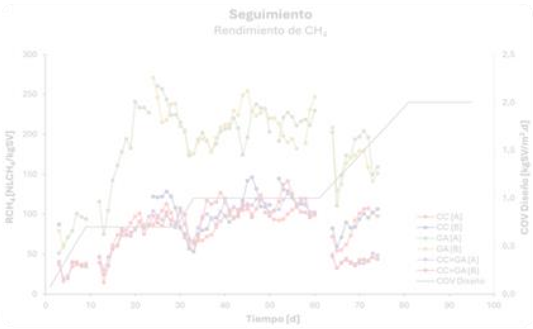
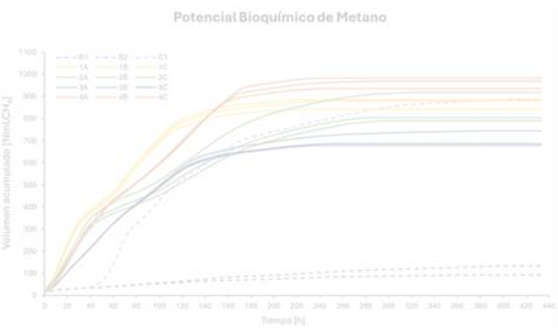
optimización de variables para la operación de reactores en continuo
(TRH y COV)



impacto de la temperatura en el proceso en reactor a escala piloto
(desempeño tecnológico)



evaluación de la sustentabilidad de la tecnología propuesta
(rentabilidad y ODS)



ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN



evaluación de la producción de biogás y digestato de los residuos y sus mezclas (CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV)



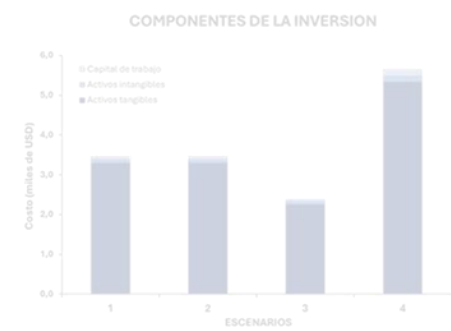
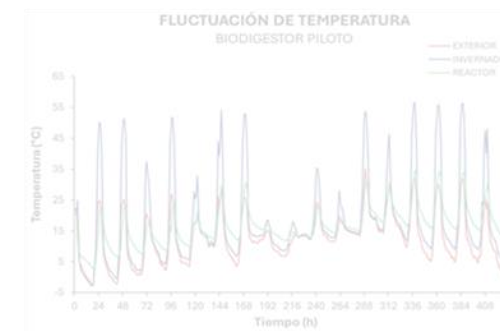
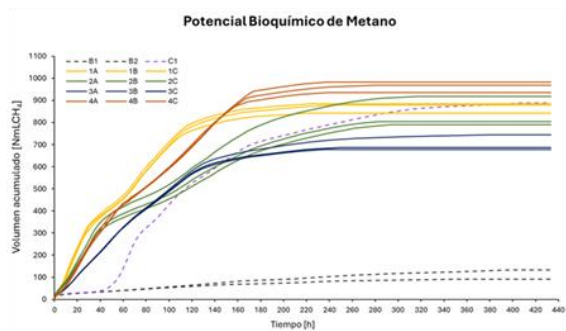
optimización de variables para la operación de reactores en continuo (TRH y COV)



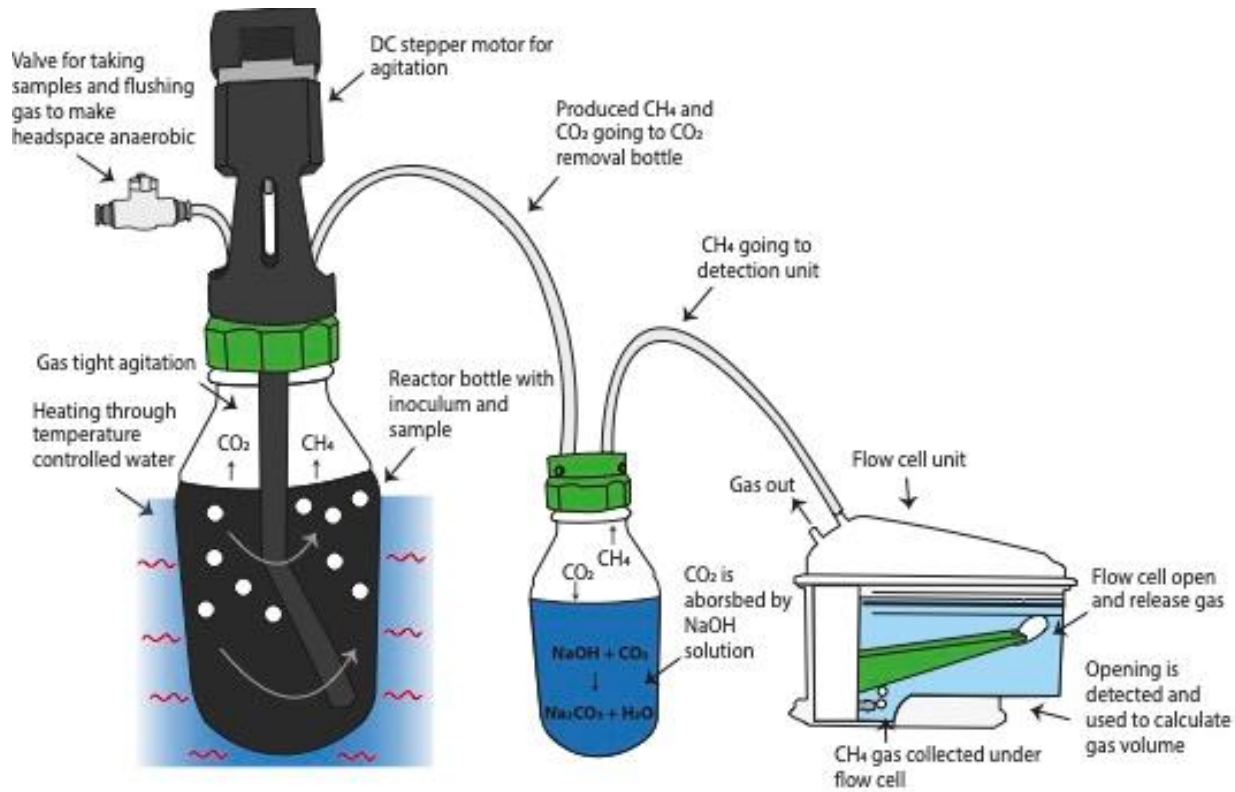
impacto de la temperatura en el proceso en reactor a escala piloto (desempeño tecnológico)



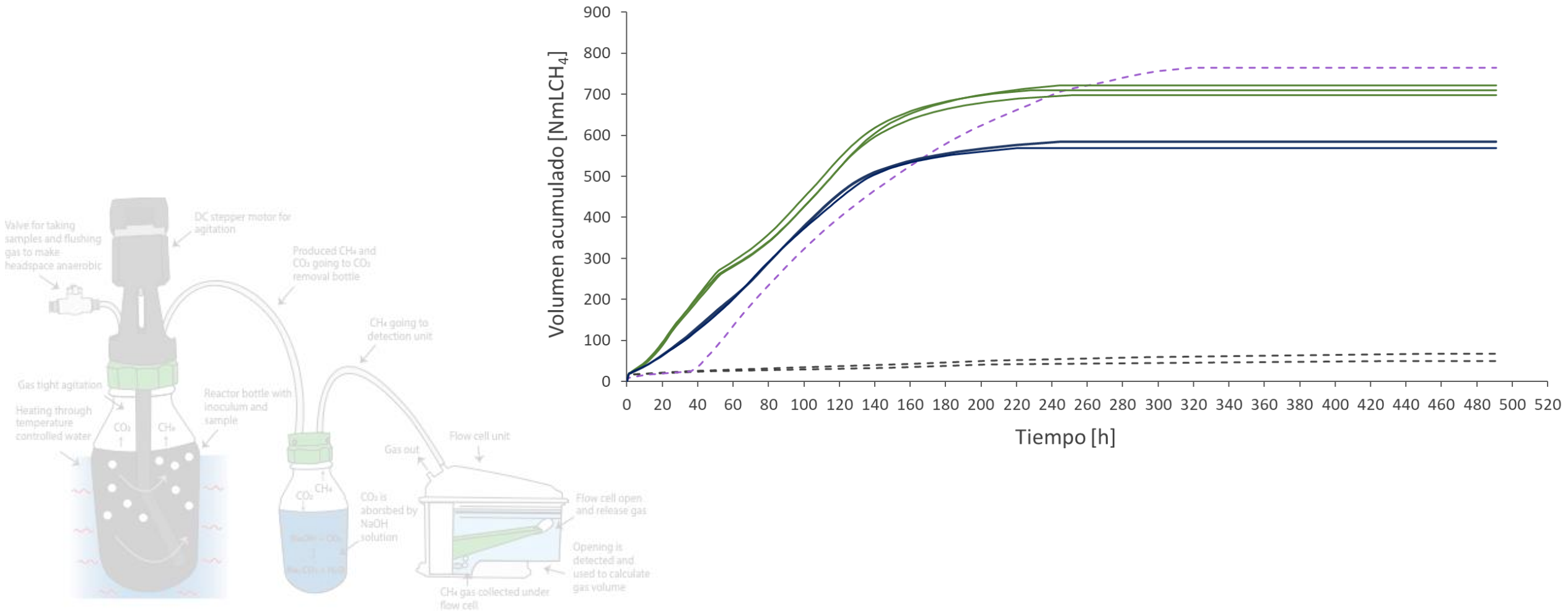
evaluación de la sustentabilidad de la tecnología propuesta (rentabilidad y ODS)



POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

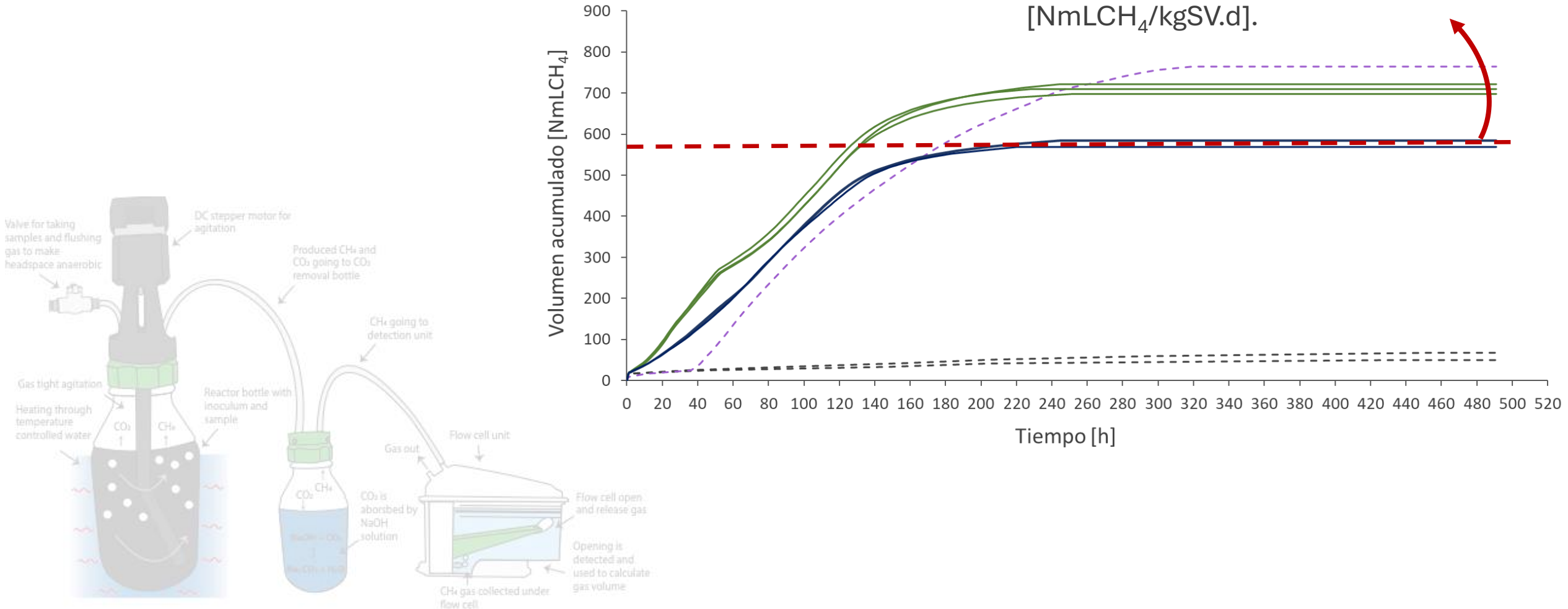


POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)



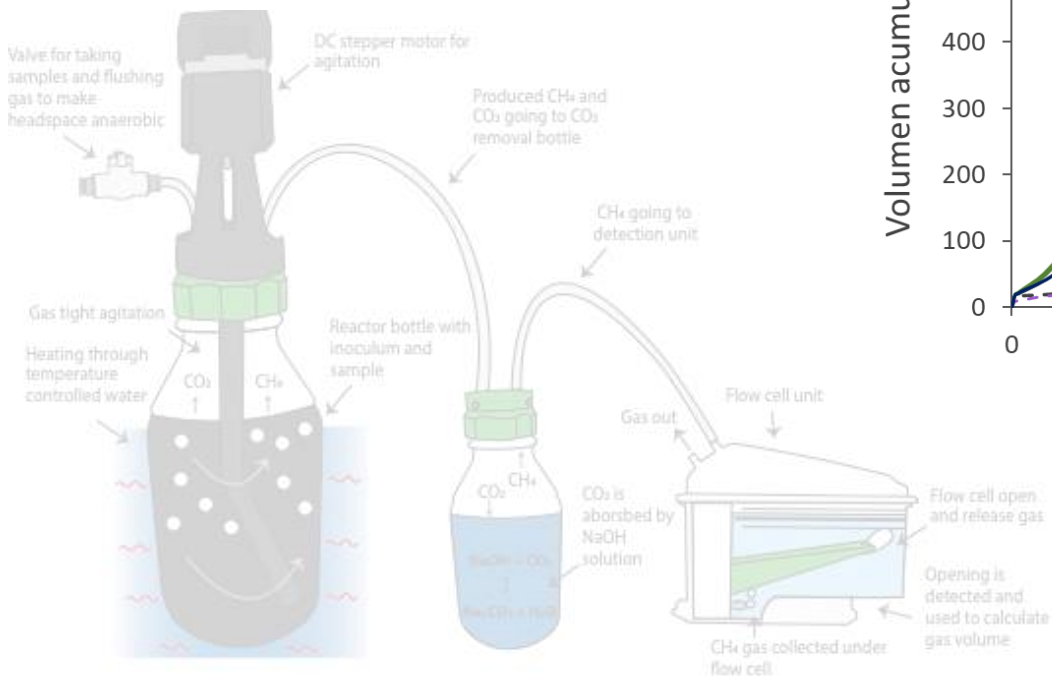
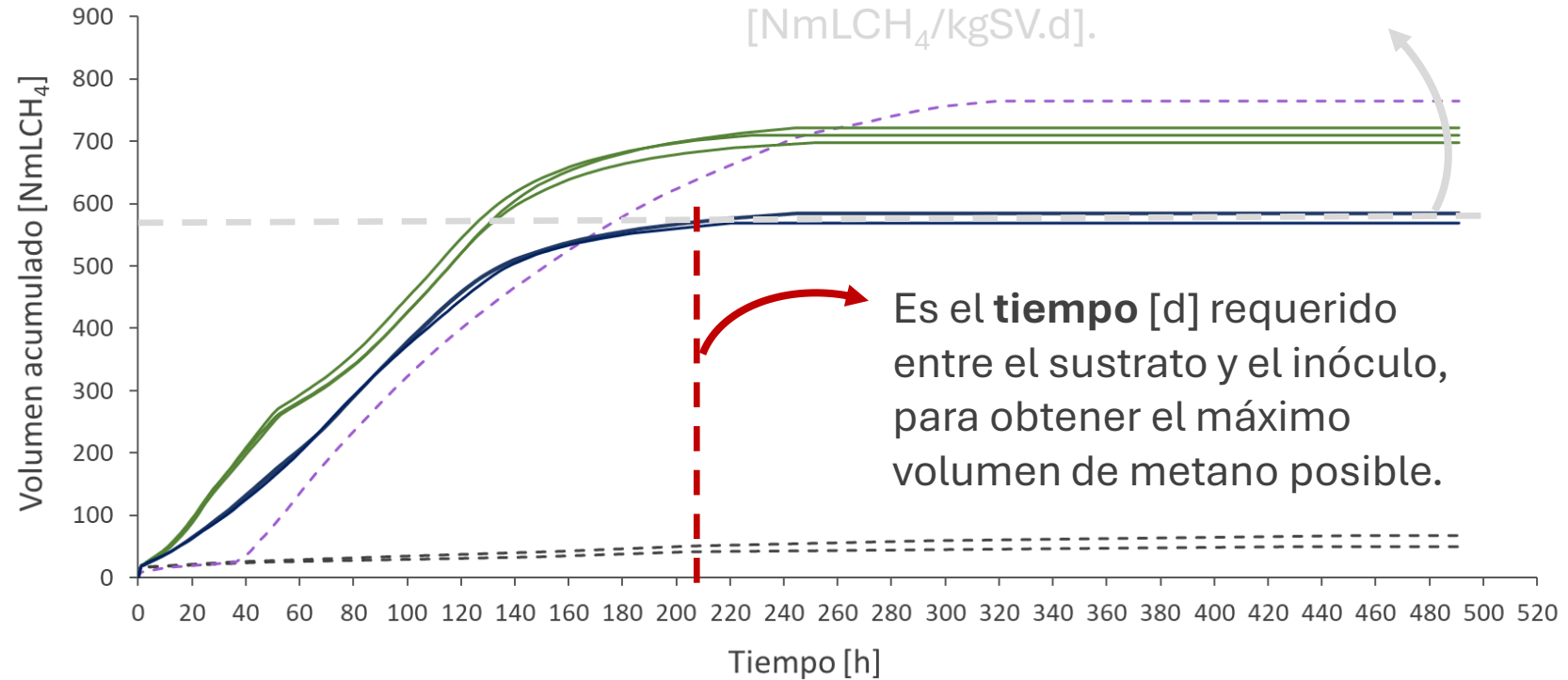
POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Máximo volumen de metano obtenido del residuo agregado al reactor, obteniendo así su **potencial bioquímico de metano** [NmLCH₄/kgSV.d].

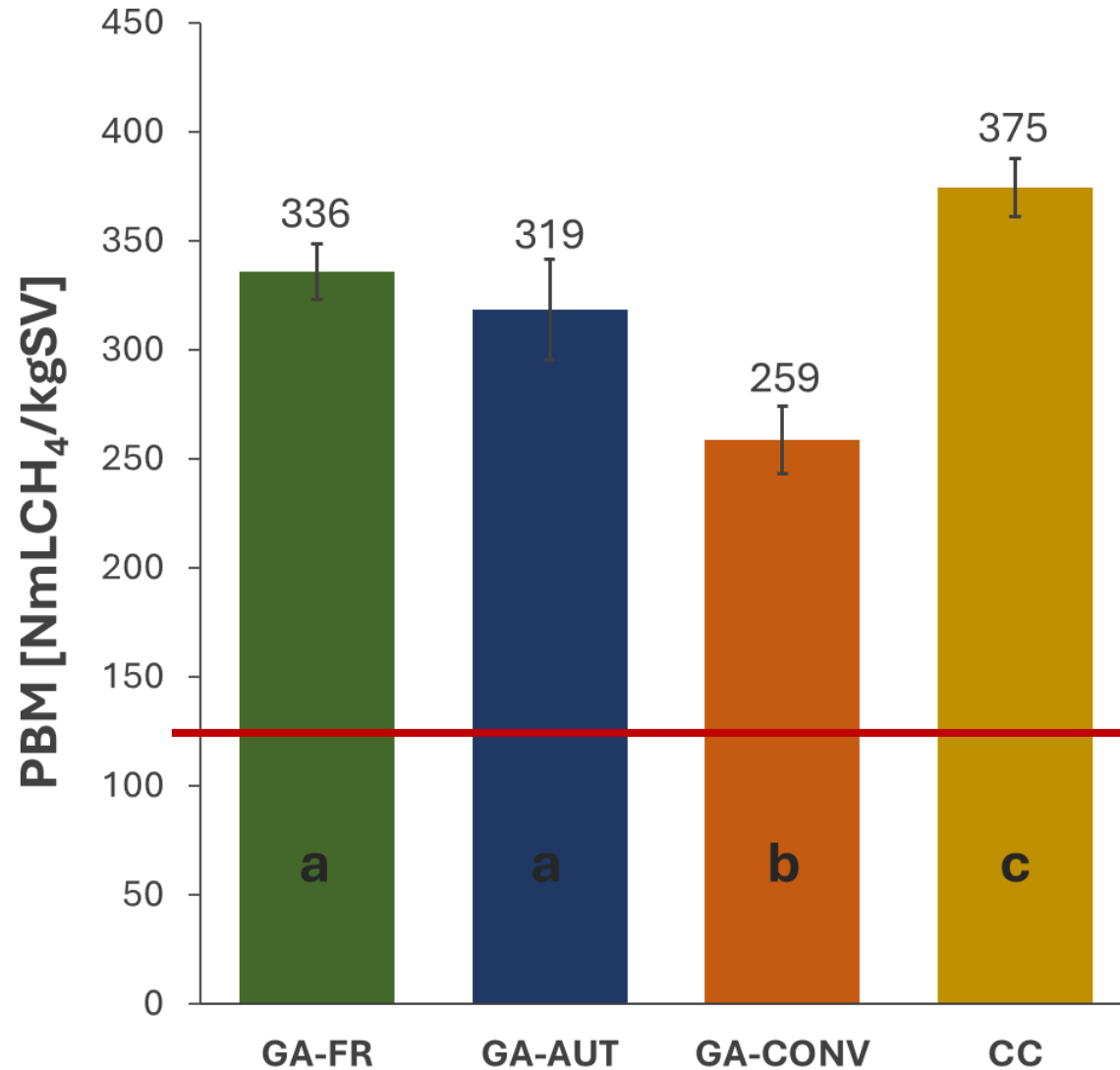


POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Máximo volumen de metano obtenido del residuo agregado al reactor, obteniendo así su **potencial bioquímico de metano** [NmLCH₄/kgSV.d].



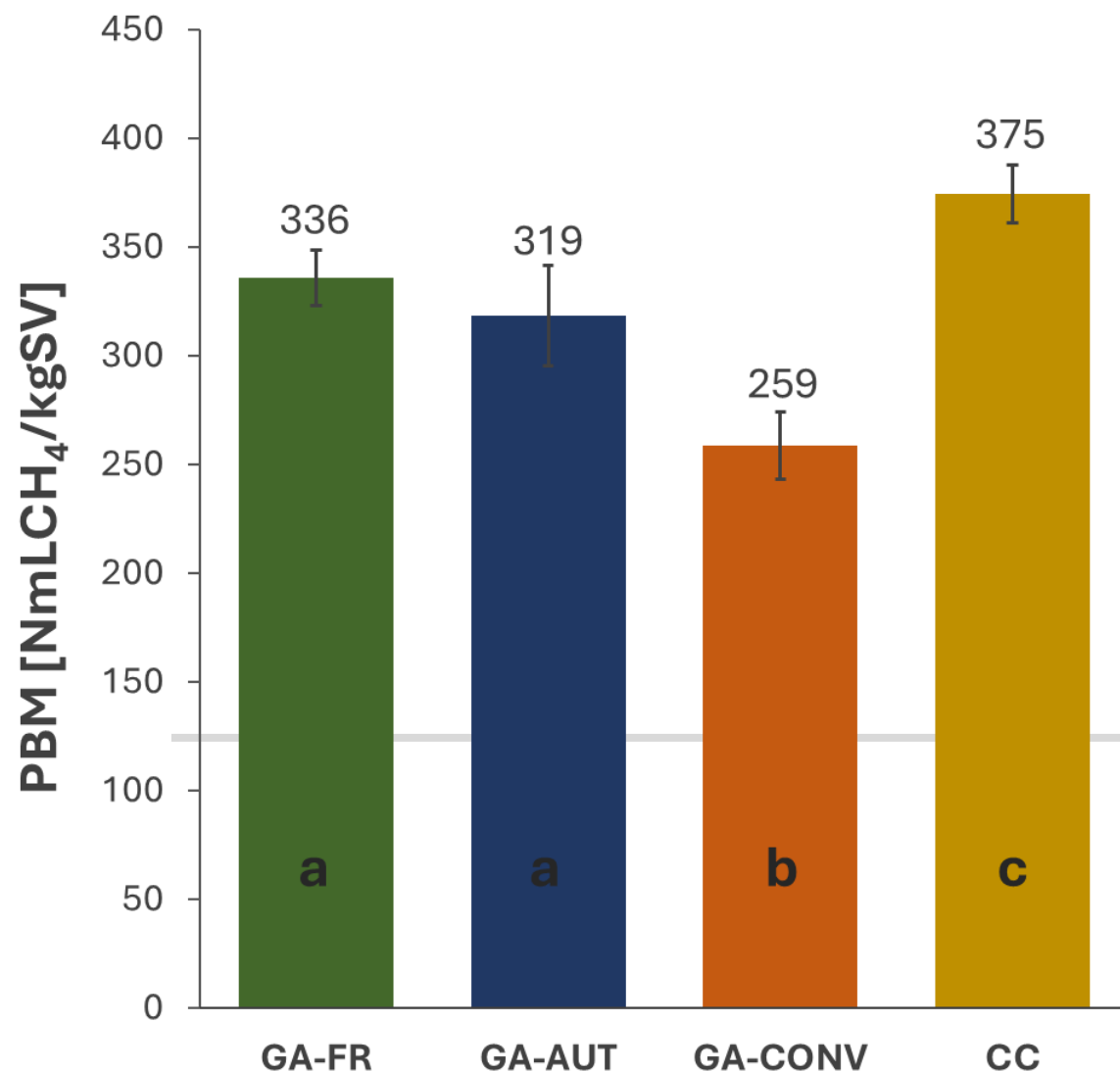
PBM DE LOS RESIDUOS INDIVIDUALES



RESIDUOS CON MUY BUEN POTENCIAL
PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Efluentes de tambos presentan valores de PBM de entre
100 y 150 NmLCH₄/kgSV

PBM DE LOS RESIDUOS INDIVIDUALES



La **CC** presentó el valor **más alto de PBM**.

Los **residuos** generados en los procesos que usan cáscara de arroz en camas de crianza (**mayor relación C/N**) obtuvieron los **mayores PBM**.

La **baja relación C/N** de la GA-AUT (C/N = 4) **no impactó en el PBM**, ya que este fue mayor que el obtenido para la GA-CONV (C/N = 7).

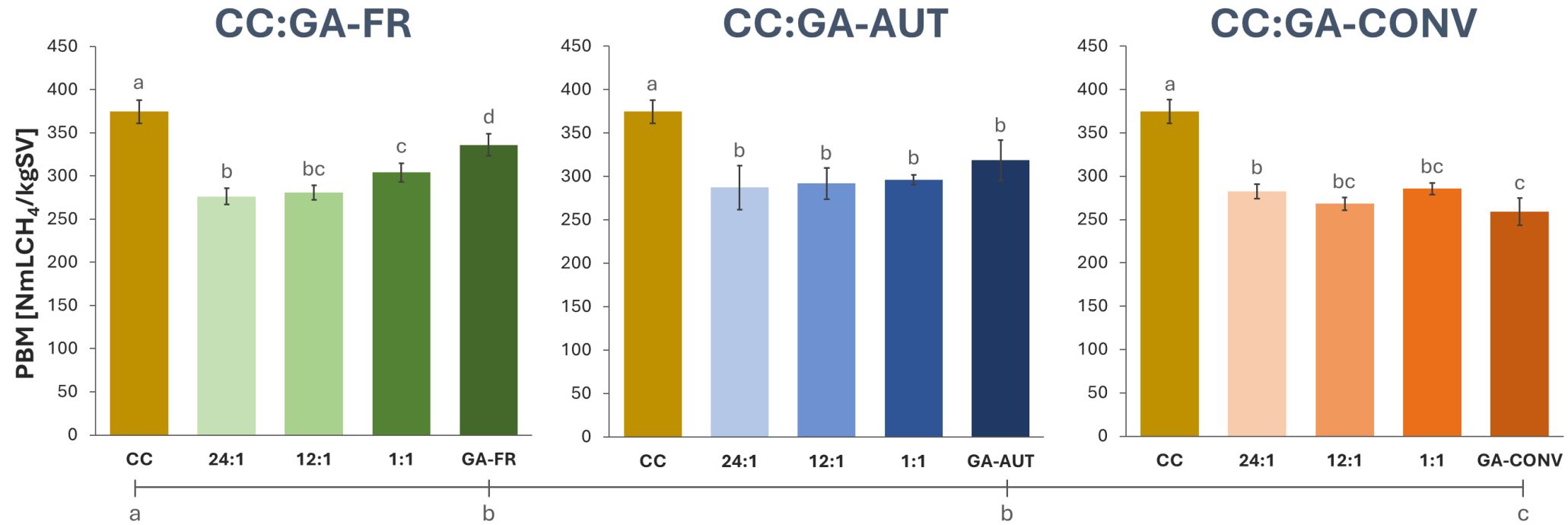
RESIDUOS CON MUY BUEN POTENCIAL
PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Efluentes de tambos presentan valores de PBM de entre 100 y 150 NmLCH₄/kgSV

PBM DE MEZCLAS DE RESIDUOS

CODIGESTIÓN

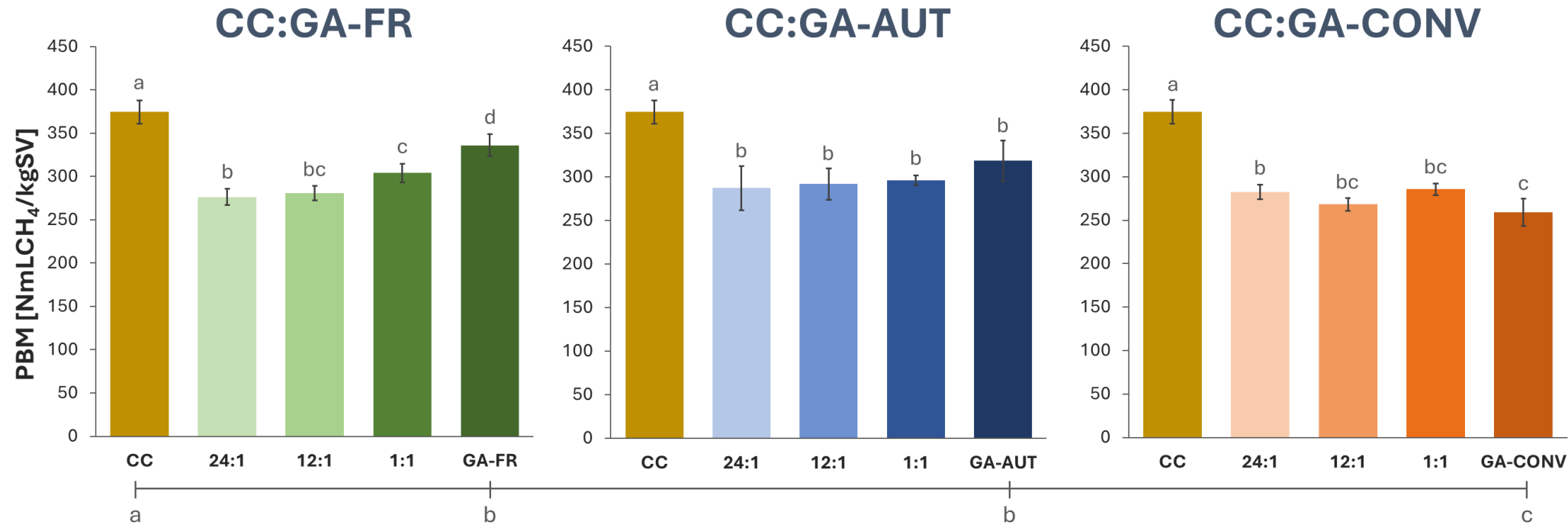
- CC + 3 tipos de GA (FR, AUT Y CONV)
- Proporciones CC:GA (24:1, 12:1 y 1:1)



PBM DE MEZCLAS DE RESIDUOS

CODIGESTIÓN

- CC + 3 tipos de GA (FR, AUT Y CONV)
- Proporciones CC:GA (24:1, 12:1 y 1:1)

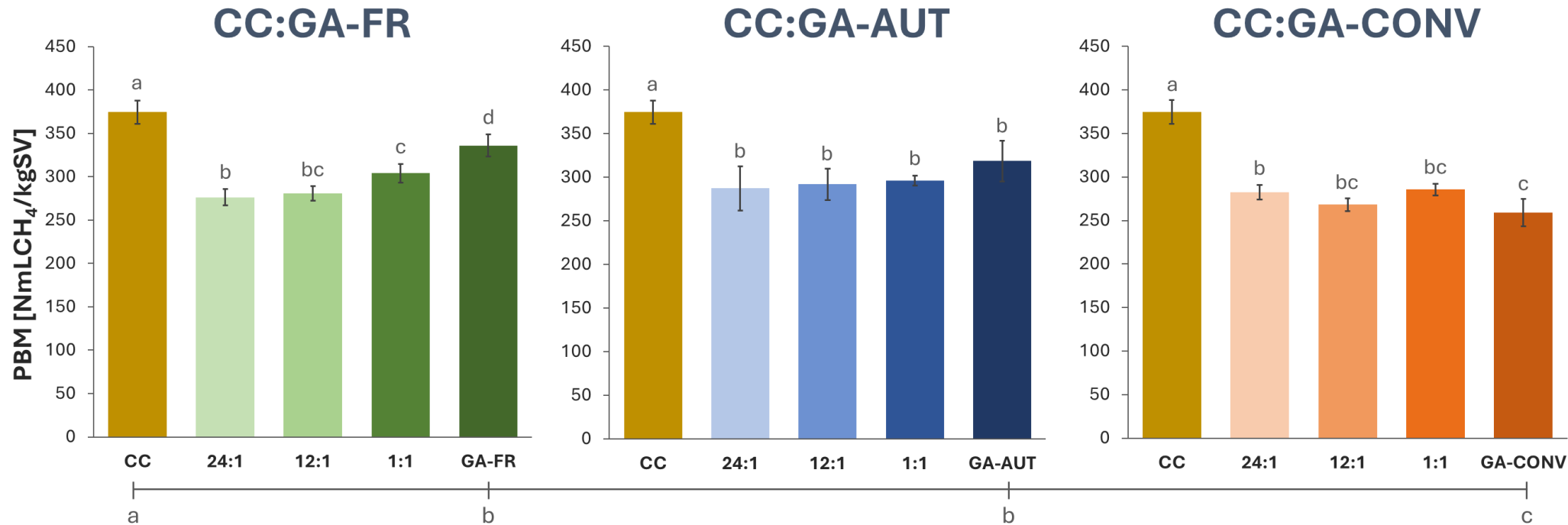


Los **PBM** de las mezclas fueron menores a los obtenidos para los **residuos separados**, excepto para el caso **CC:GA-CONV (24:1)** que fue mayor al PBM de la GA-CONV, pero aún menor al de la CC.

PBM DE MEZCLAS DE RESIDUOS

CODIGESTIÓN

- CC + 3 tipos de GA (FR, AUT Y CONV)
- Proporciones CC:GA (24:1, 12:1 y 1:1)

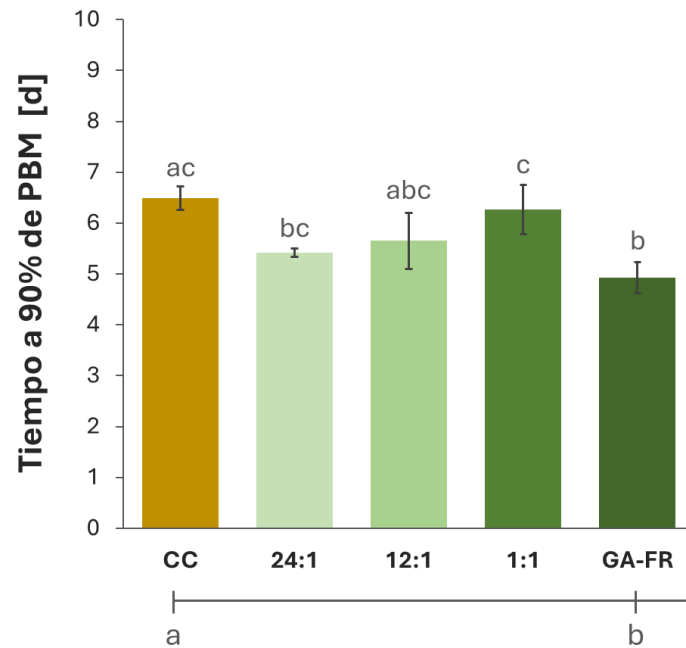


Los PBM de las mezclas fueron menores a los obtenidos para los **residuos separados**, excepto para el caso **CC:GA-CONV (24:1)** que fue mayor al PBM de la GA-CONV, pero aún menor al de la CC.

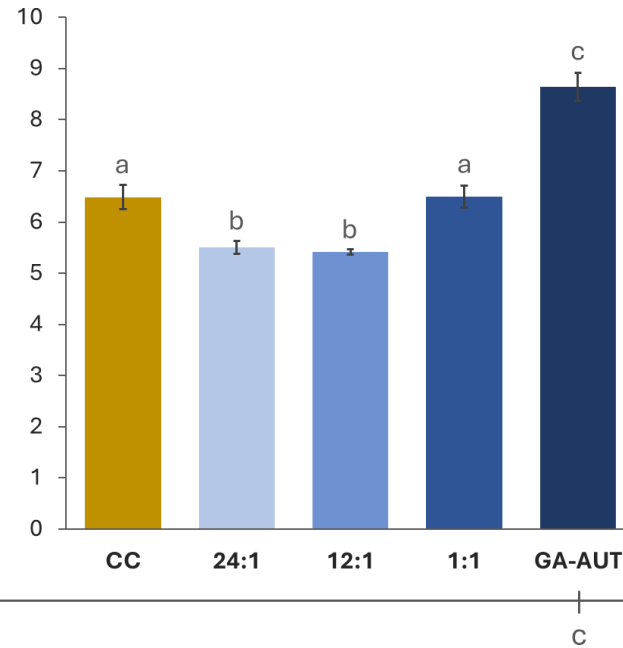
No se observaron diferencias significativas en el PBM cuando se utilizan las **distintas GA**, ni cuando se modifican las **proporciones entre CC:GA**.

TIEMPO DEL PROCESO

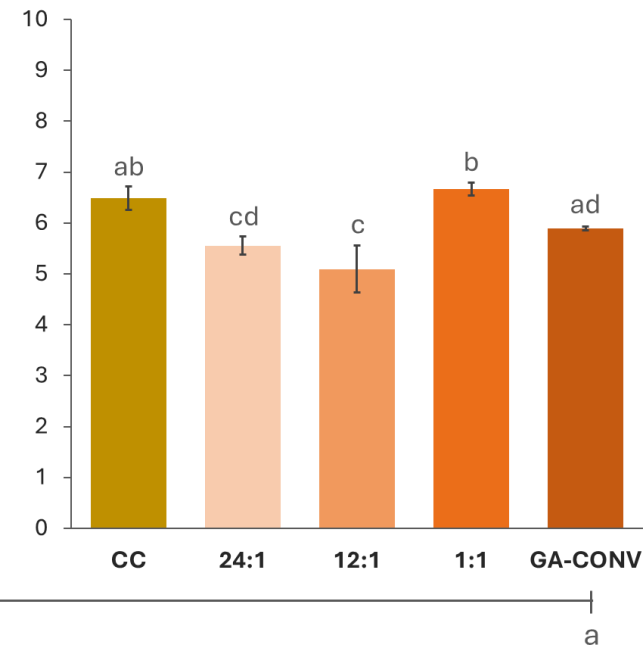
CC:GA-FR



CC:GA-AUT



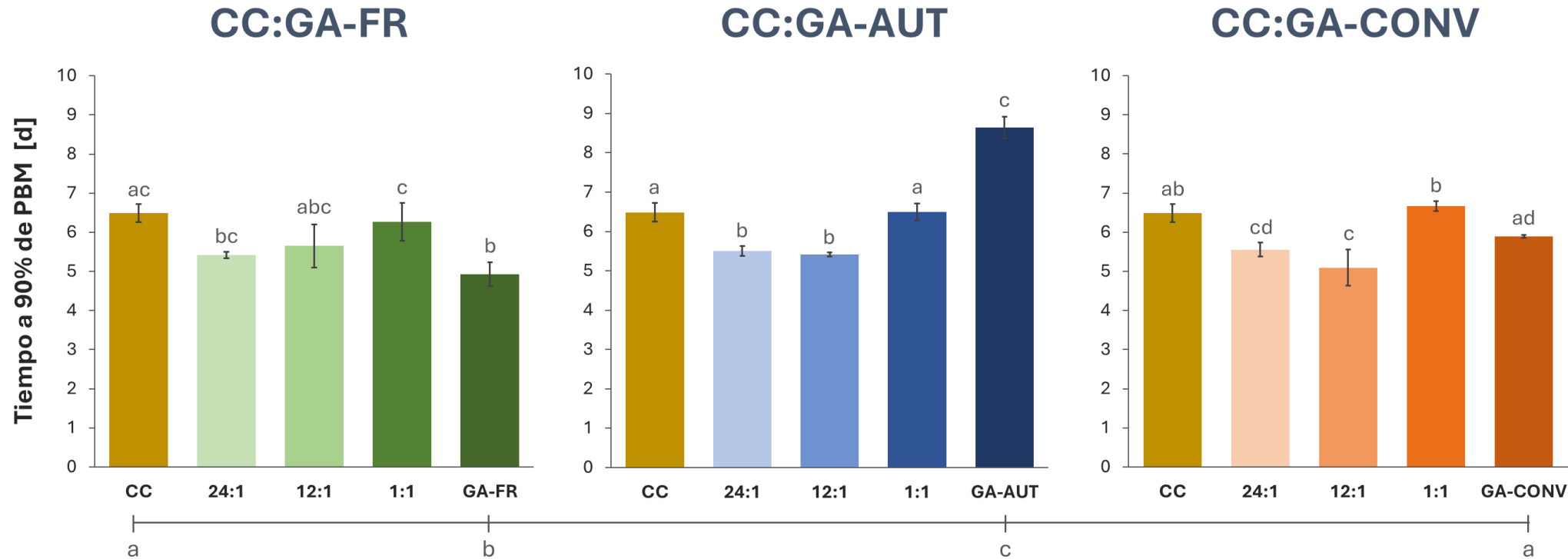
CC:GA-CONV



CODIGESTIÓN

- CC + 3 tipos de GA (FR, AUT Y CONV)
- Proporciones CC:GA (24:1, 12:1 y 1:1)

TIEMPO DEL PROCESO



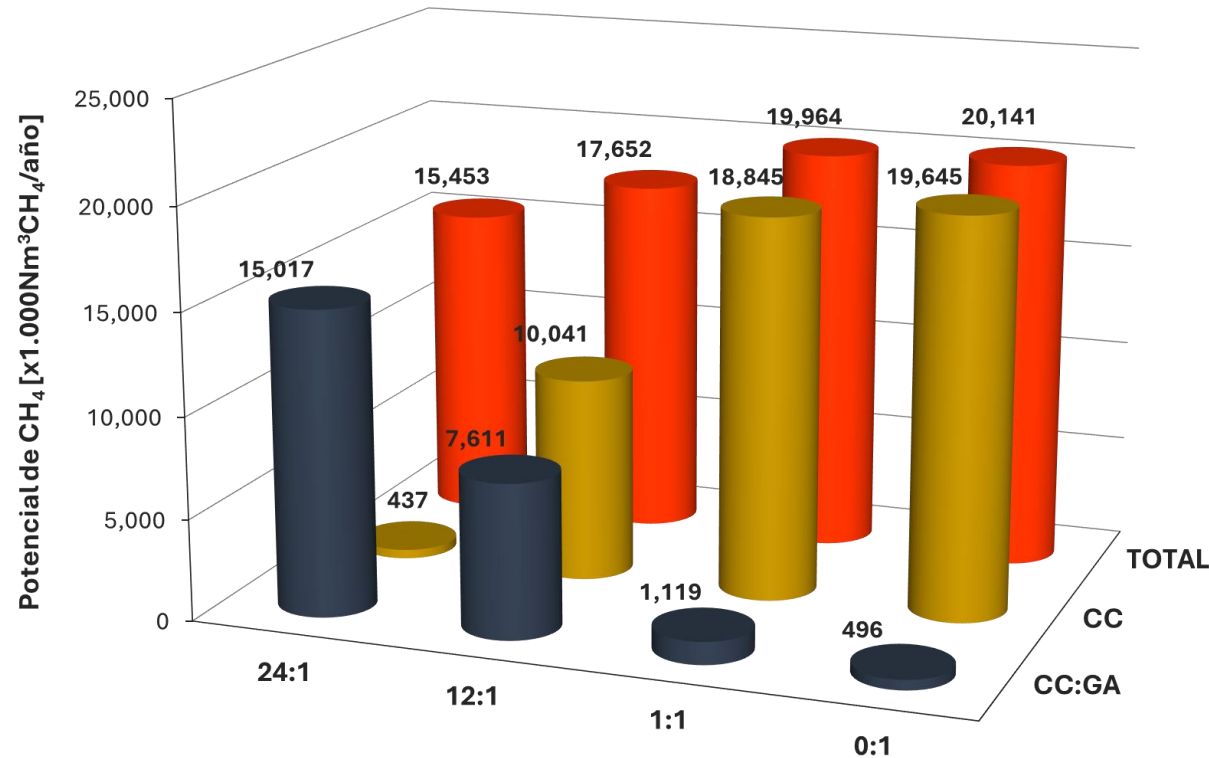
CODIGESTIÓN

- CC + 3 tipos de GA (FR, AUT Y CONV)
- Proporciones CC:GA (24:1, 12:1 y 1:1)

Los **tiempos requeridos para la CoDA** de los residuos considerando la obtención del 90% del potencial máximo de generación de CH_4 (PBM), se vieron **reducidos** con respecto a los **procesos de monodigestion**.
Implica **la reducción** en el volumen de los reactores y los **costos** de la tecnología a escala completa.

POTENCIAL MÁXIMO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Escenario CC:GA-CONV (24:1)

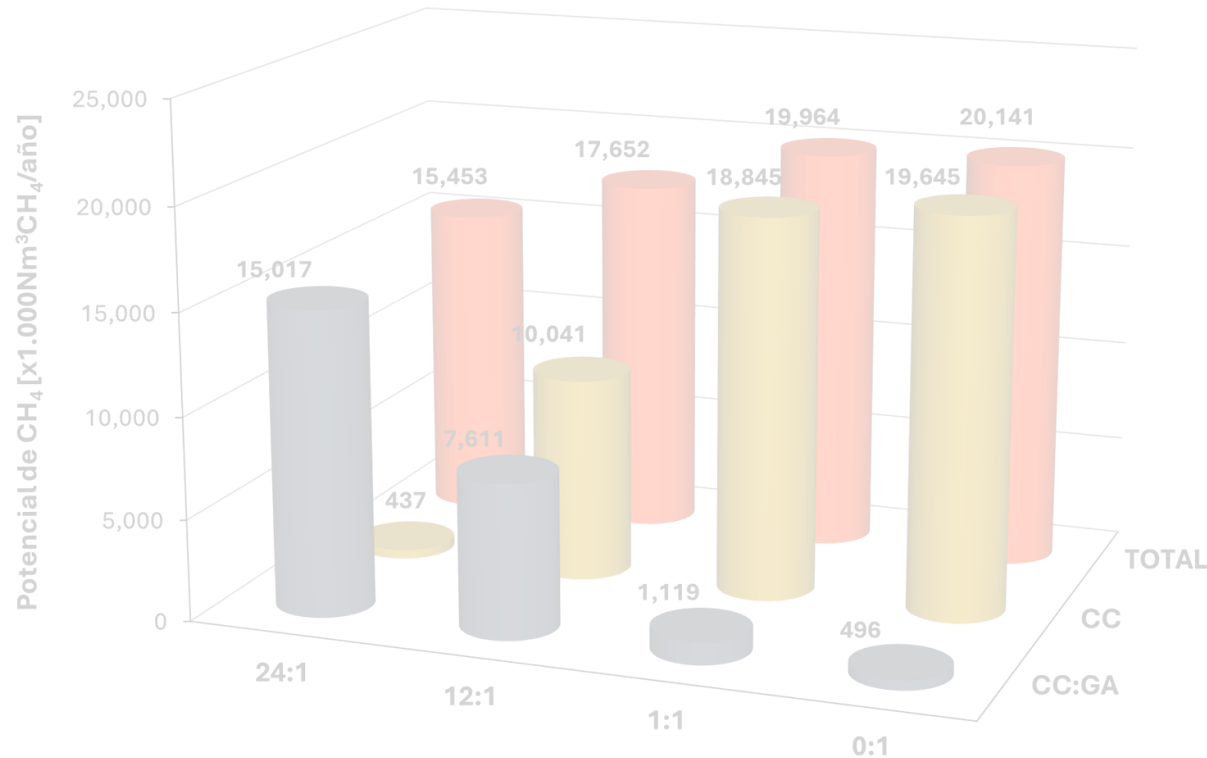


No sería conveniente la CoDA de los residuos debido a que **se produciría menos energía** que la valorización de ellos de forma independiente.

Resta considerar la rentabilidad de los distintos escenarios en relación con la **reducción de los tiempos** del proceso.

POTENCIAL MÁXIMO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Escenario CC:GA-CONV (24:1)



No sería conveniente la CoDA de los residuos debido a que **se produciría menos energía** que la valorización de ellos de forma independiente.

Resta considerar la rentabilidad de los distintos escenarios en relación con la **reducción de los tiempos** del proceso.

Sin embargo, la **CoDA traería ventajas operativas**, dadas la **frecuencia y variabilidad** de la generación de residuos, así como la necesidad de **operar el proceso en un régimen continuo**.

EVALUACIÓN AGRONOMICA DEL DIGESTATO

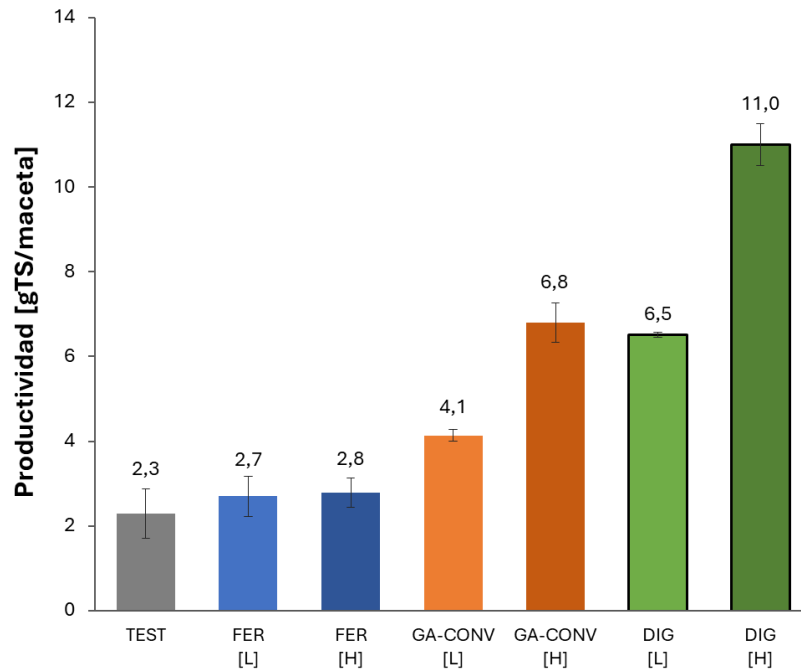
Escenario CC:GA-CONV (24:1)

Parámetro	Símbolo	Ensayo de PBM (Batch)				Unidades
		CC	GA-CONV	CC:GA-CONV	Digestato	
Concentración de hidrogeniones	pH	9.25	8.74	8.95	7.88	-
Conductividad eléctrica	EC _{25°C}	6.11	8.29	8.94	4.95	mS/cm
Humedad	%Hum	41.7	46.6	41.9	97.3	%
Densidad	ρ	0.267	1.099	0.380	0.990	g/mL
Sólidos totales	TS	583.0	534.3	580.6	27.5	gTS/kg
Sólidos volátiles	VS	809	604	799	575	gVS/kgTS
Demanda química de oxígeno	DQO	475	517	478	1,276	gO ₂ /kgTS
Carbono	C	351	269	346	292	gC/kgTS
Nitrógeno total	TN	35	37	35	39	gN/kgTS
Fósforo total	TP	16	37	17	14	gP/kgTS
Potencial bioquímico de metano	PBM	375 (14)	259 (15)	282 (9)	-	NmLCH ₄ /kgVS

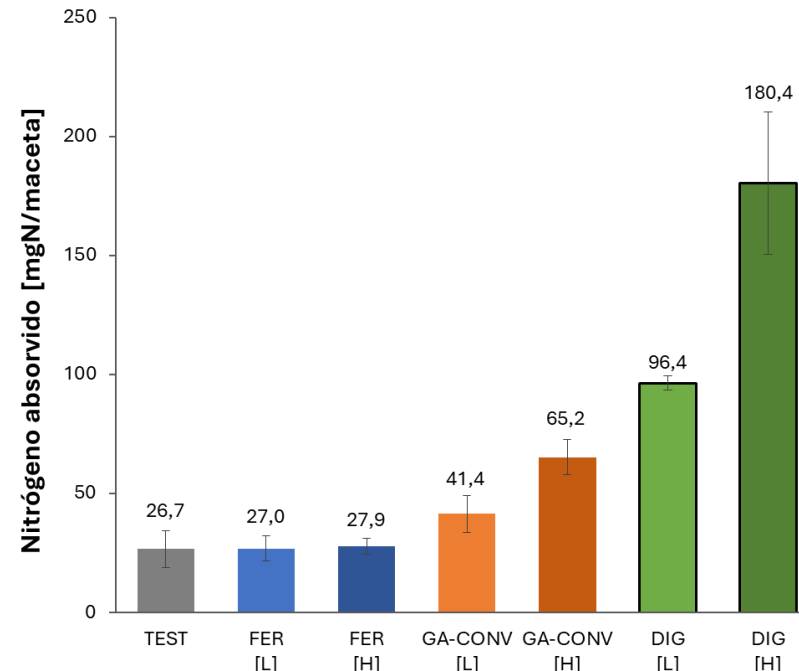
EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL DIGESTATO

Escenario CC:GA-CONV (24:1)

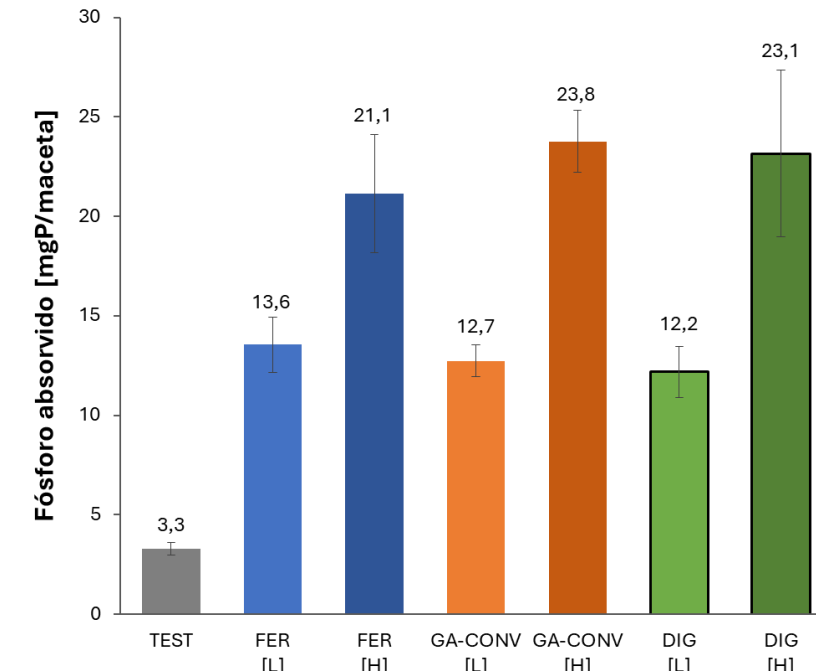
PRODUCCIÓN DE BIOMASA



ABSORCIÓN DE NITRÓGENO



ABSORCIÓN DE FÓSFORO



En una dosis de aplicación alta (100 kgP/ha) el **digestato** tuvo el mejor desempeño en el ensayo de **invernadero** (avena), donde fue comparado con un **fertilizante mineral** (18% N and 46% P₂O₅) y **GA-CONV**.



evaluación de la producción de biogás y digestato de los residuos y sus mezclas
(CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV)



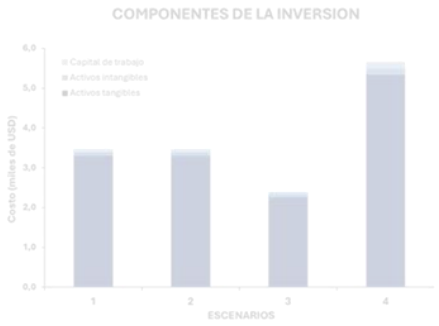
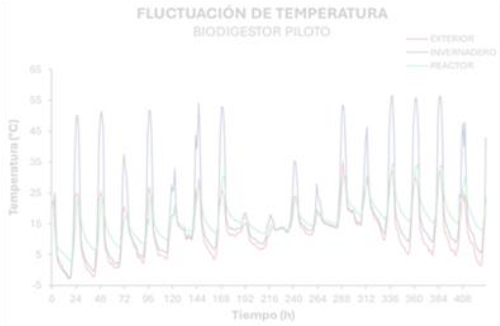
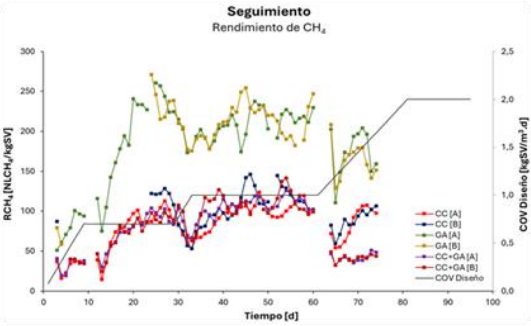
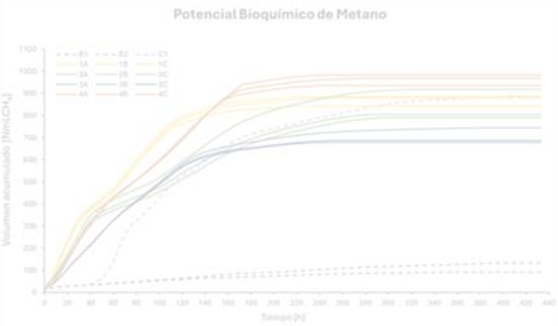
optimización de variables para la operación de reactores en continuo
(TRH y COV)



impacto de la temperatura en el proceso en reactor a escala piloto
(desempeño tecnológico)

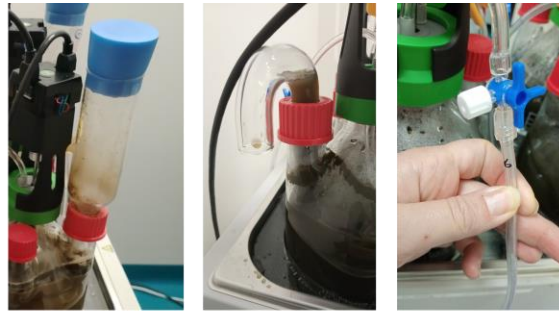


evaluación de la sustentabilidad de la tecnología propuesta
(rentabilidad y ODS)



CARGA DE ALIMENTACIÓN (COV) Y TIEMPO DEL PROCESO (TRH)

Escenario CC:GA-CONV



Reactores CSTR operados en continuo
alimentación diaria y 37°C

CC, GA-CONV y CC:GA-CON (24:1)
3 tratamientos por duplicado (6 reactores de 2L)

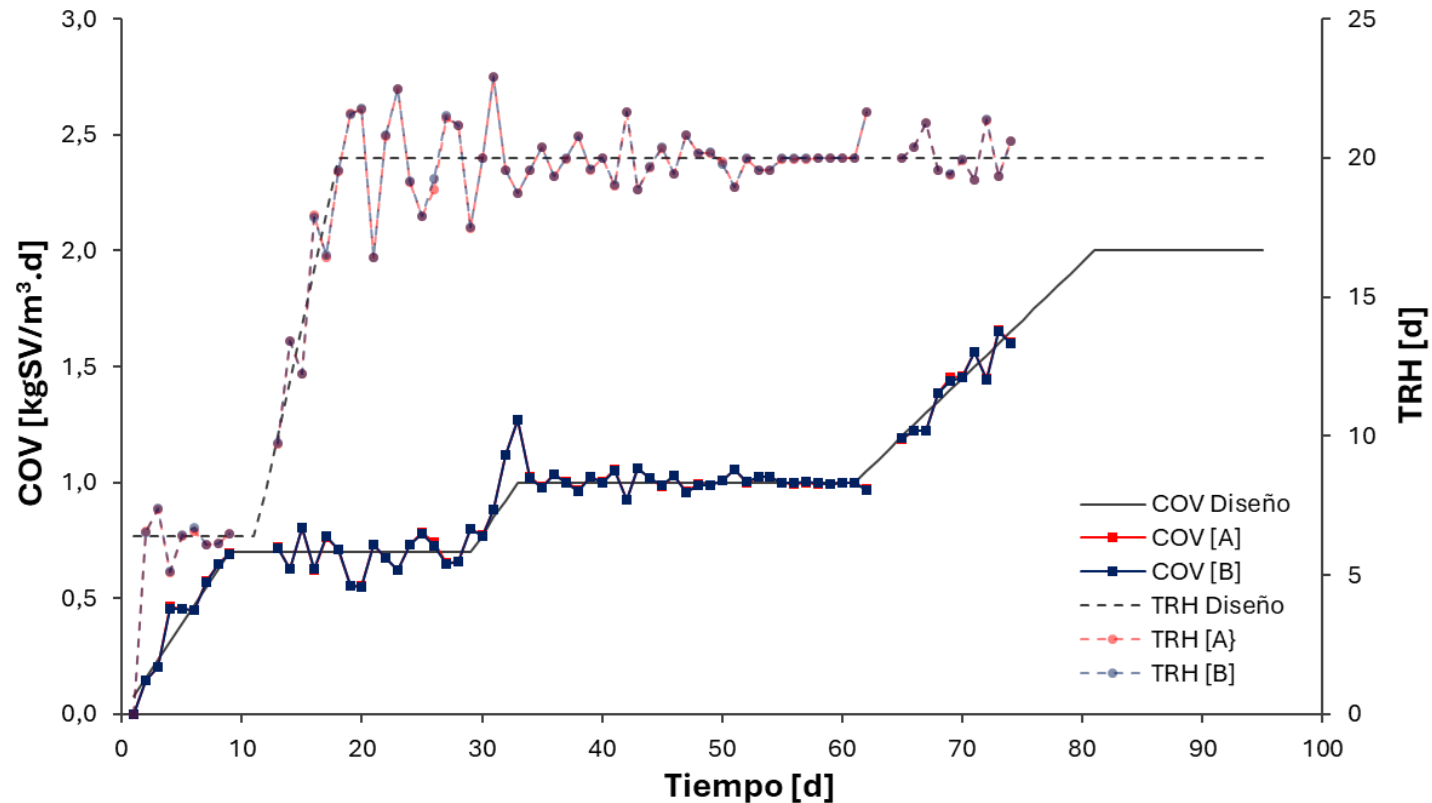
TRH fijo y aumento progresivo de la COV
TRH = 20d. COV = 1, 2 y 3 kgSV/m³.d

Seguimiento del bioproceso
CH₄ y pH diariamente
ST y SV (residuos) y FOS/TAC y NH₄⁺ semanalmente

Evaluación en estado estacionario
Balance de masas (DQO, N y P)
AGV, C, especies de N y de P, macro y micronutrientes
Comunidad microbiana, patógenos y resistencia

OPERACIÓN DE LOS CSTR

CC - Alimentación R1 y R2
COV y TRH



Inoculación y puesta en marcha

≈ 35 días

Estado estacionario 1 (COV = 1,0 kgSV/m³.d)

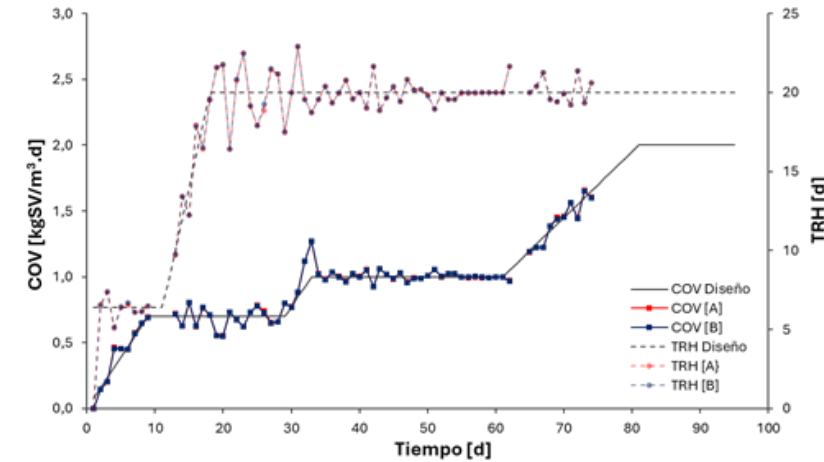
≈ 30 días

Transición al Estado estacionario 2

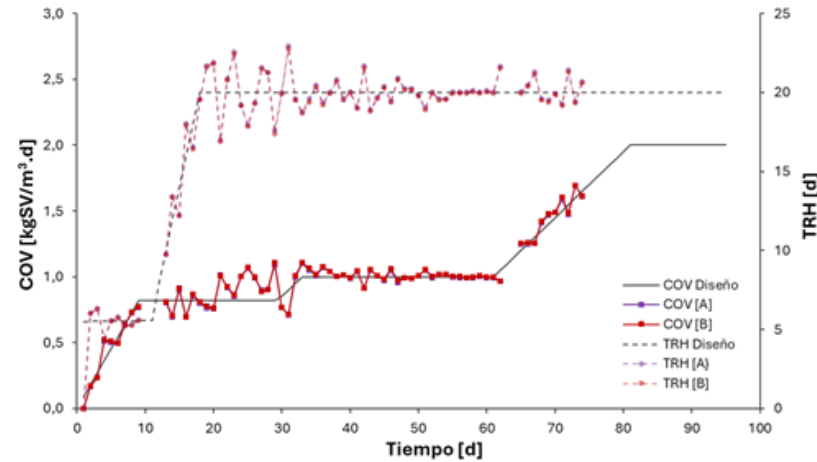
≈ 20 días

OPERACIÓN DE LOS CSTR

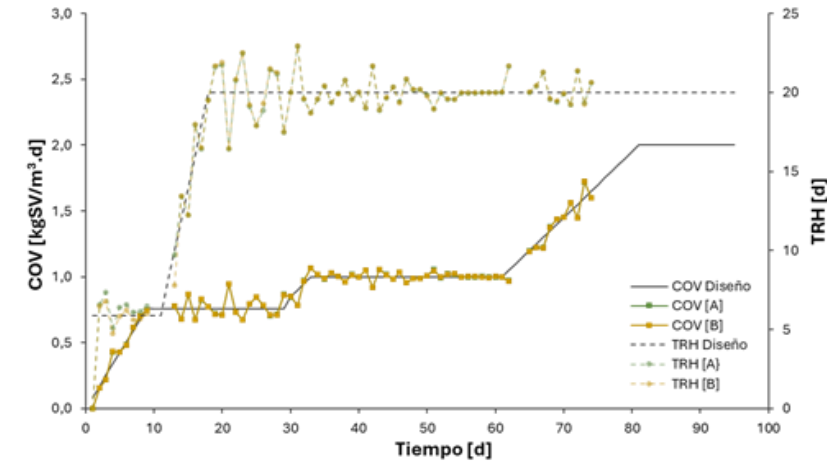
CC - Alimentación R1 y R2
COV y TRH



CC+GA - Alimentación R5 y R6
COV y TRH



GA - Alimentación R3 y R4
COV y TRH



CASI 100 DÍAS DE ENSAYO

segundo estado estacionario (COV = 2,0 kgVS/m³.d)

MARÍA AYALA y PABLO DÍAZ
GRACIAS!!!

Inoculación y puesta en marcha

≈ 35 días

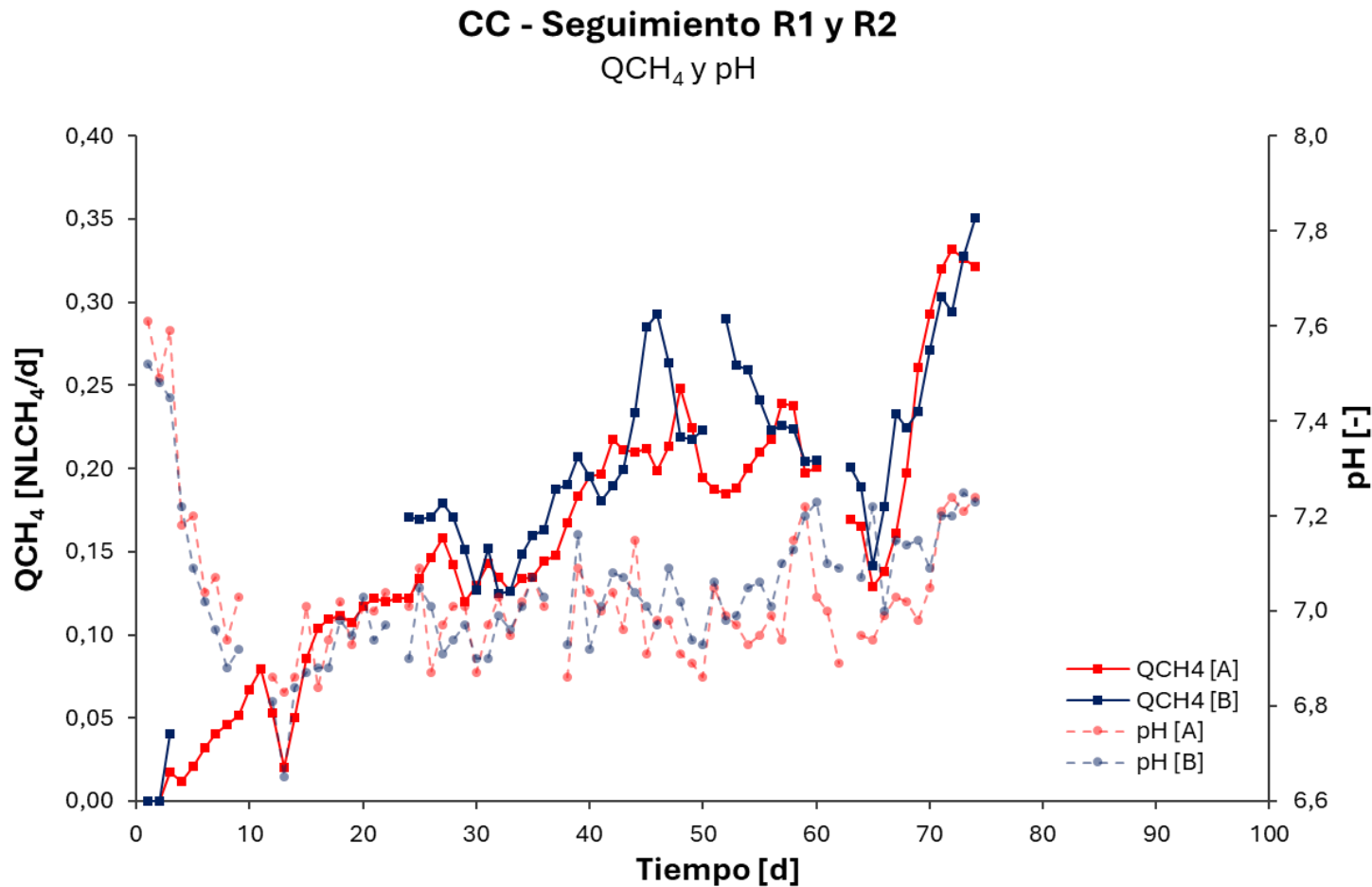
Estado estacionario 1 (COV = 1,0 kgSV/m³.d)

≈ 30 días

Transición al Estado estacionario 2

≈ 20 días

SEGUIMIENTO DEL PROCESO



La producción de **CH₄** ha **aumentado con** los incrementos de **la alimentación** (COV)

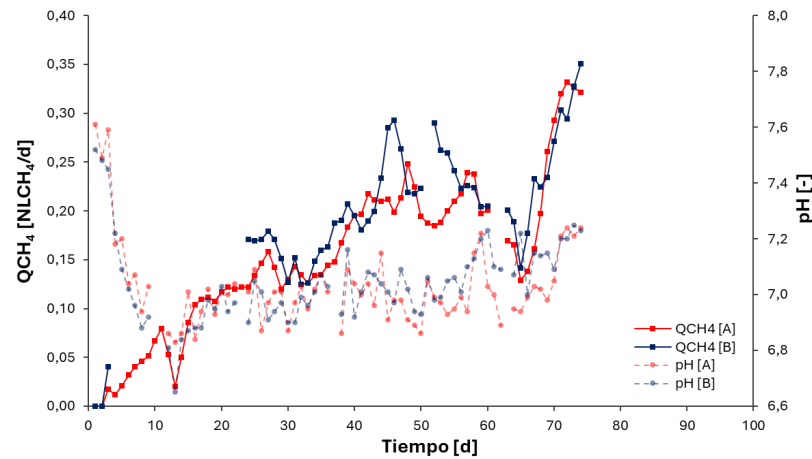
El **pH** se mantiene **estables** y dentro del rango adecuado (6,5-8,0)

SEGUIMIENTO DEL PROCESO

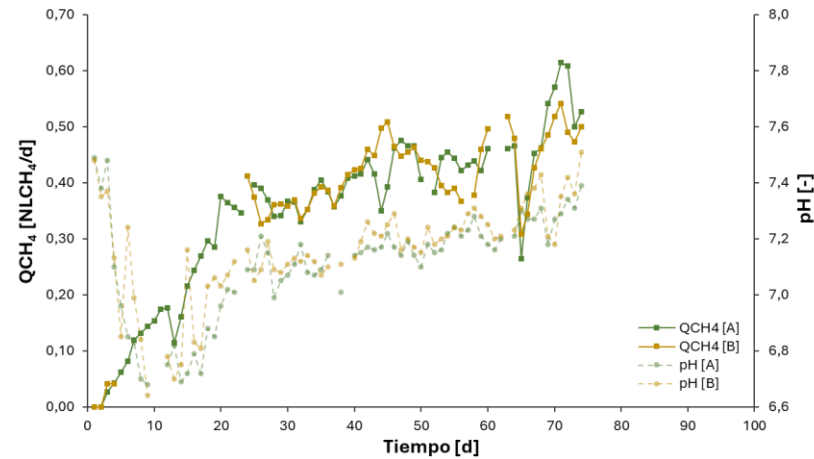
La producción de CH_4 ha aumentado con los incrementos de la alimentación (COV)

El pH se mantiene **estables** y dentro del rango adecuado (6,5-8,0)

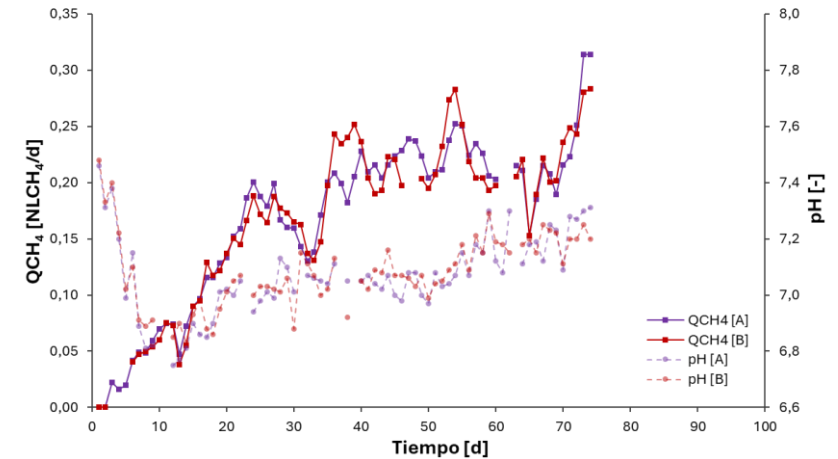
CC - Seguimiento R1 y R2
QCH₄ y pH



GA - Seguimiento R3 y R4
QCH₄ y pH

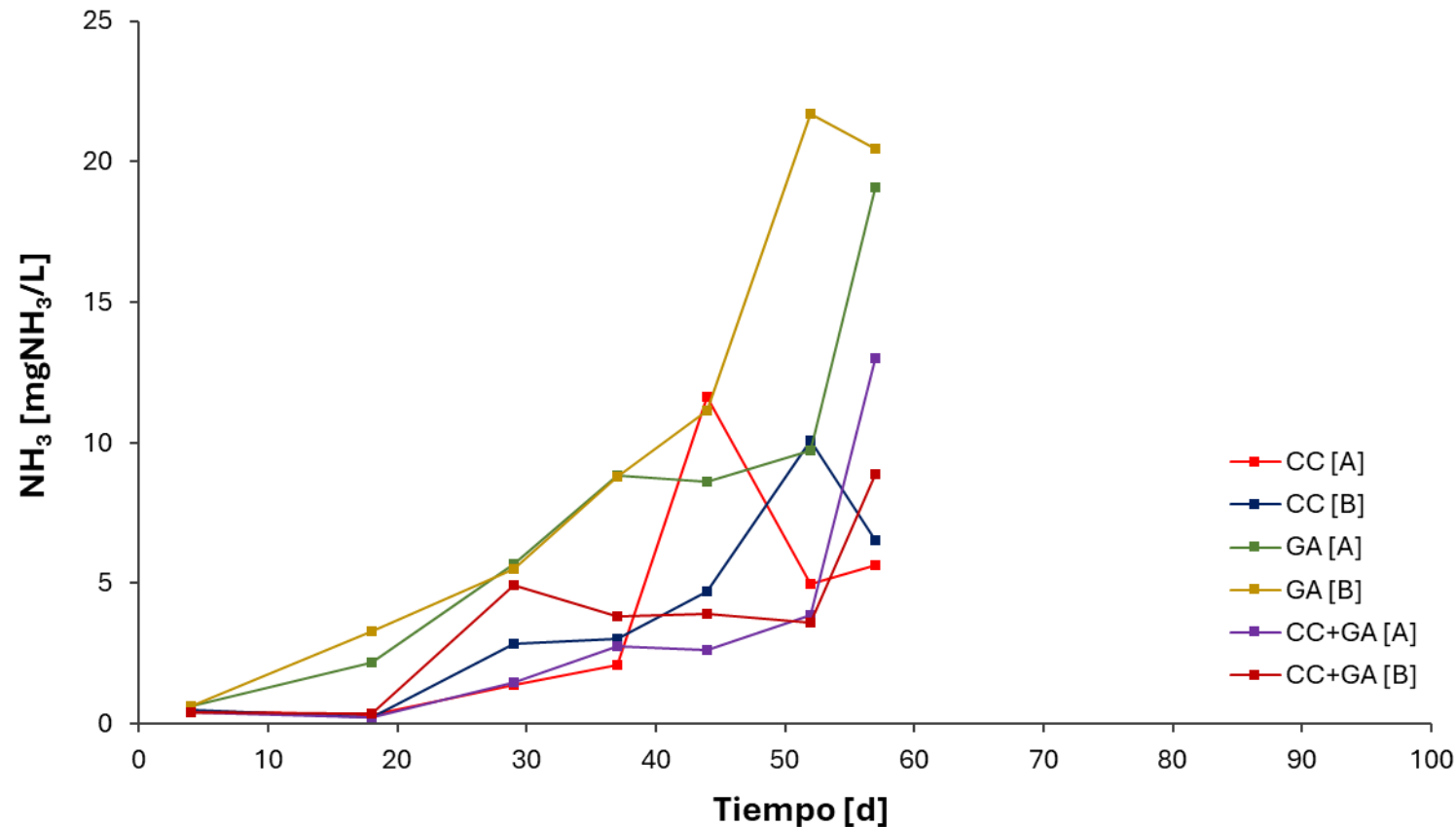


CC+GA - Seguimiento R5 y R6
QCH₄ y pH



SEGUIMIENTO DEL PROCESO

NH₃ soluble



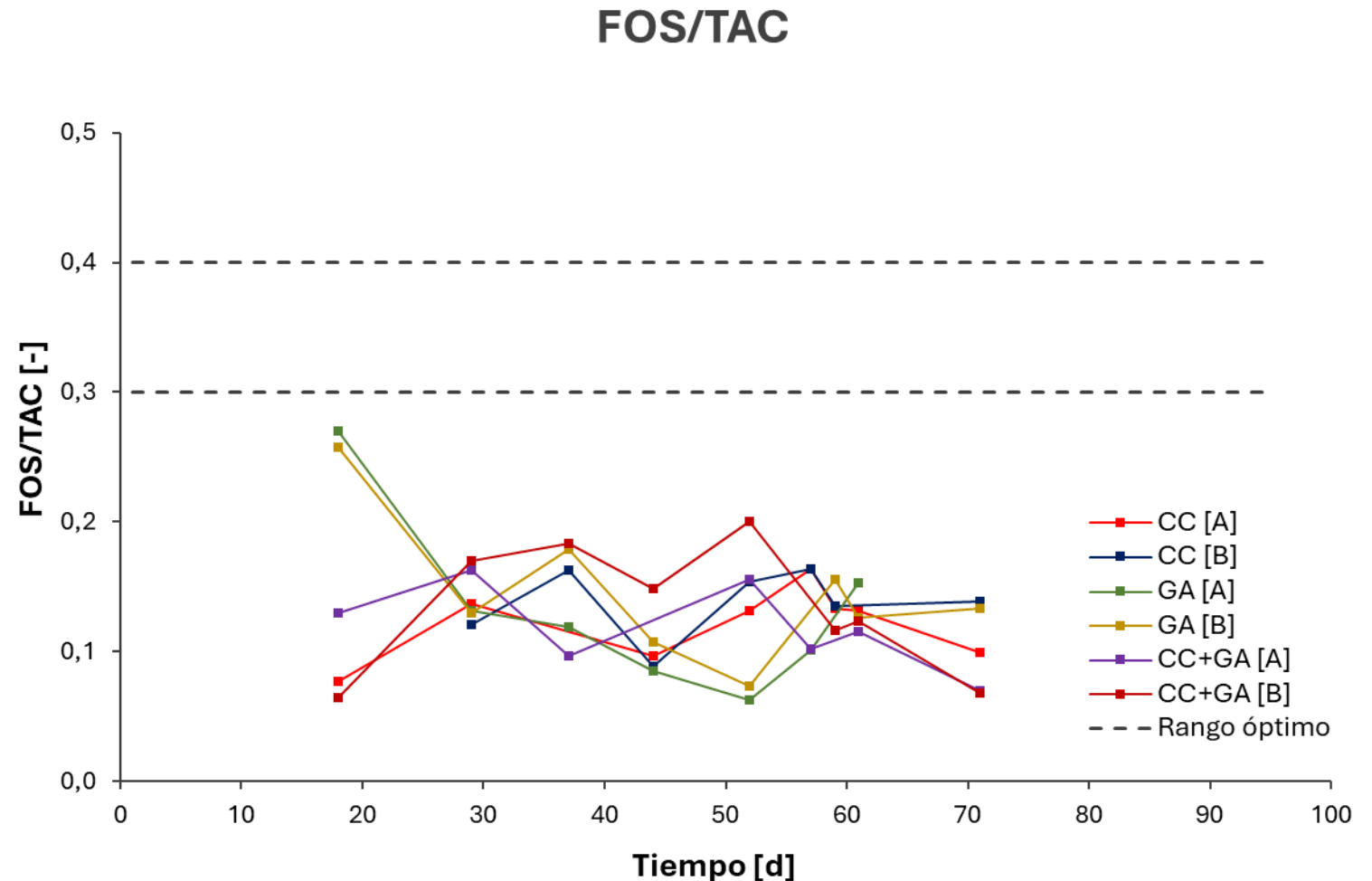
Concentración de **NH₃ en solución** se encuentra bastante **por debajo de niveles inhibitorios** reportados (150-700 mgNH₃/L)

Los reactores que usan **GA** presentan valores **más altos** que los alimentados con **CC** (relación C/N)

SEGUIMIENTO DEL PROCESO

El **FOS/TAC** se utiliza para monitorear la **capacidad alcalina** con la que cuenta el proceso de modo de **evitar el proceso de acidificación** antes de que suceda (pH)

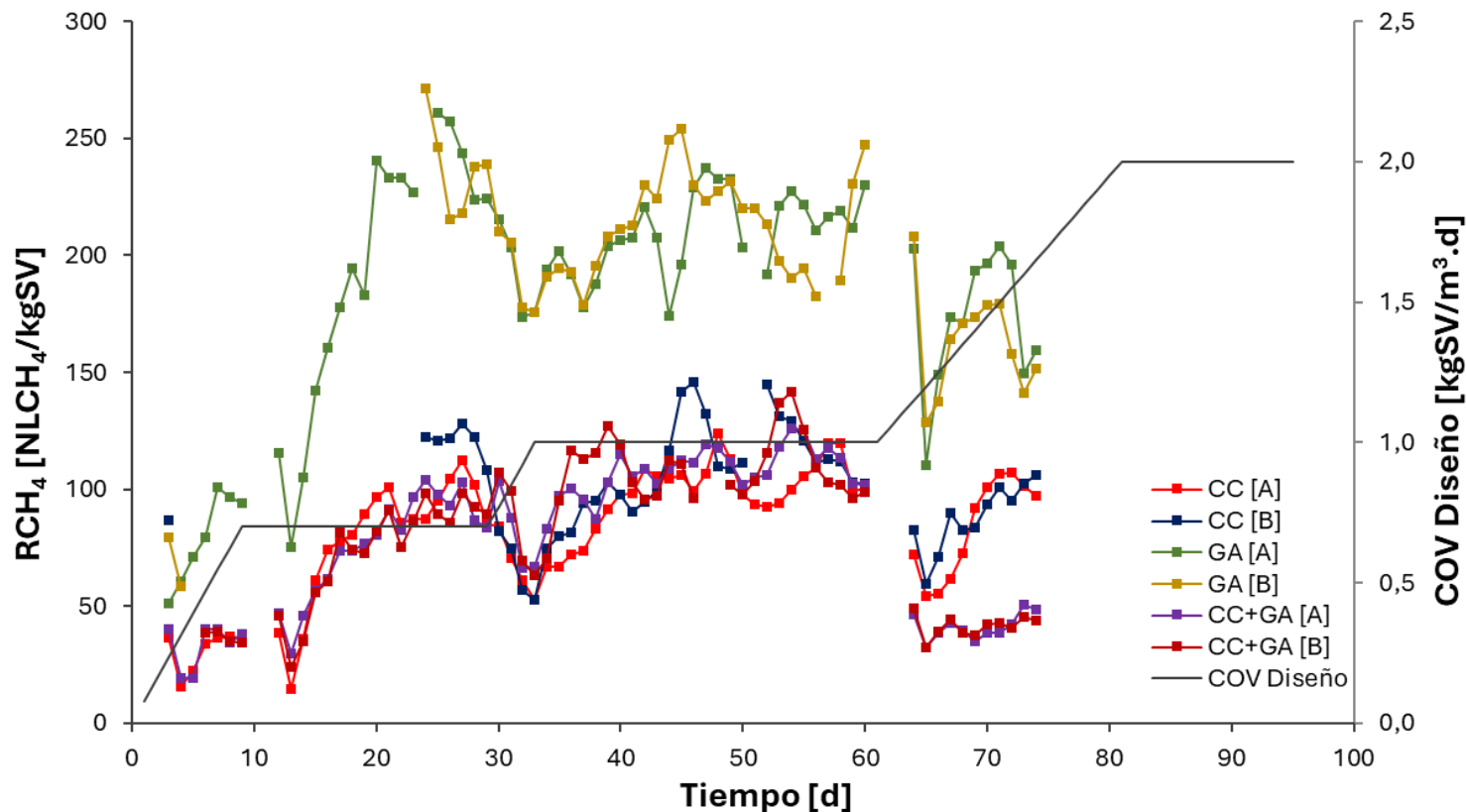
Actualmente el indicador sugiere que aún **se puede seguir incrementando la alimentación** (menor volumen de reactor)



SEGUIMIENTO DEL PROCESO

Alimentación y producción de metano

COV y R_{CH_4}



Mayor rendimiento de CH_4 en **GA-CONV** que para **CC** y **CC:GA-CONV (24:1)**, siendo lo opuesto a lo que se observó en los ensayos de PBM.

Inhibición por NH_3 soluble a COV altas?



evaluación de la producción de biogás y digestato de los residuos y sus mezclas
(CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV)



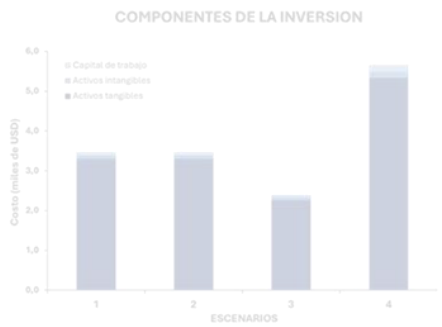
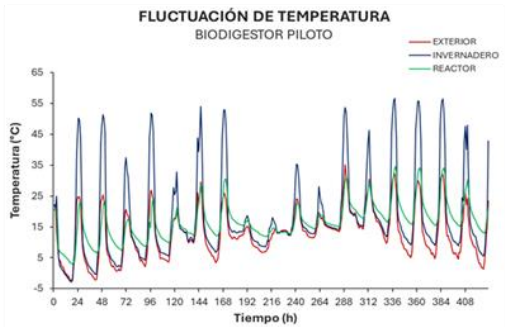
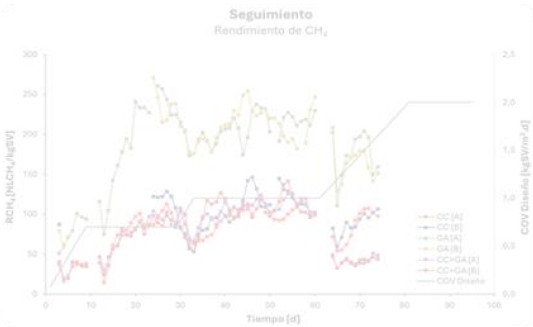
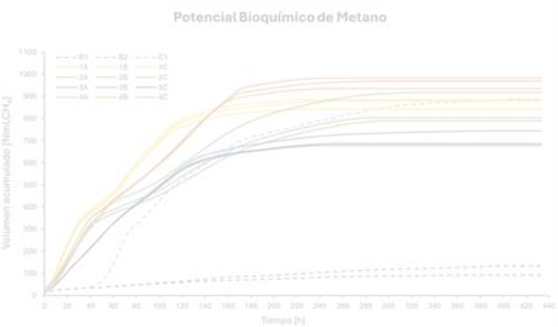
optimización de variables para la operación de reactores en continuo
(TRH y COV)



impacto de la temperatura en el proceso en reactor a escala piloto
(desempeño tecnológico)



evaluación de la sustentabilidad de la tecnología propuesta
(rentabilidad y ODS)



BIODIGESTOR A ESCALA PILOTO



Reactor CSTR en continuo

reactor de 1200L con invernadero (T)

CC:GA-CON (24:1)

alimentación cada 2 días

COV constante y aumento progresivo de TRH

COV = según ensayo BRS. TRH > 20 d

Seguimiento del bioproceso

CH₄, T y pH cada 2 días

SV (residuos), FOS/TAC y NH₄⁺ semanal

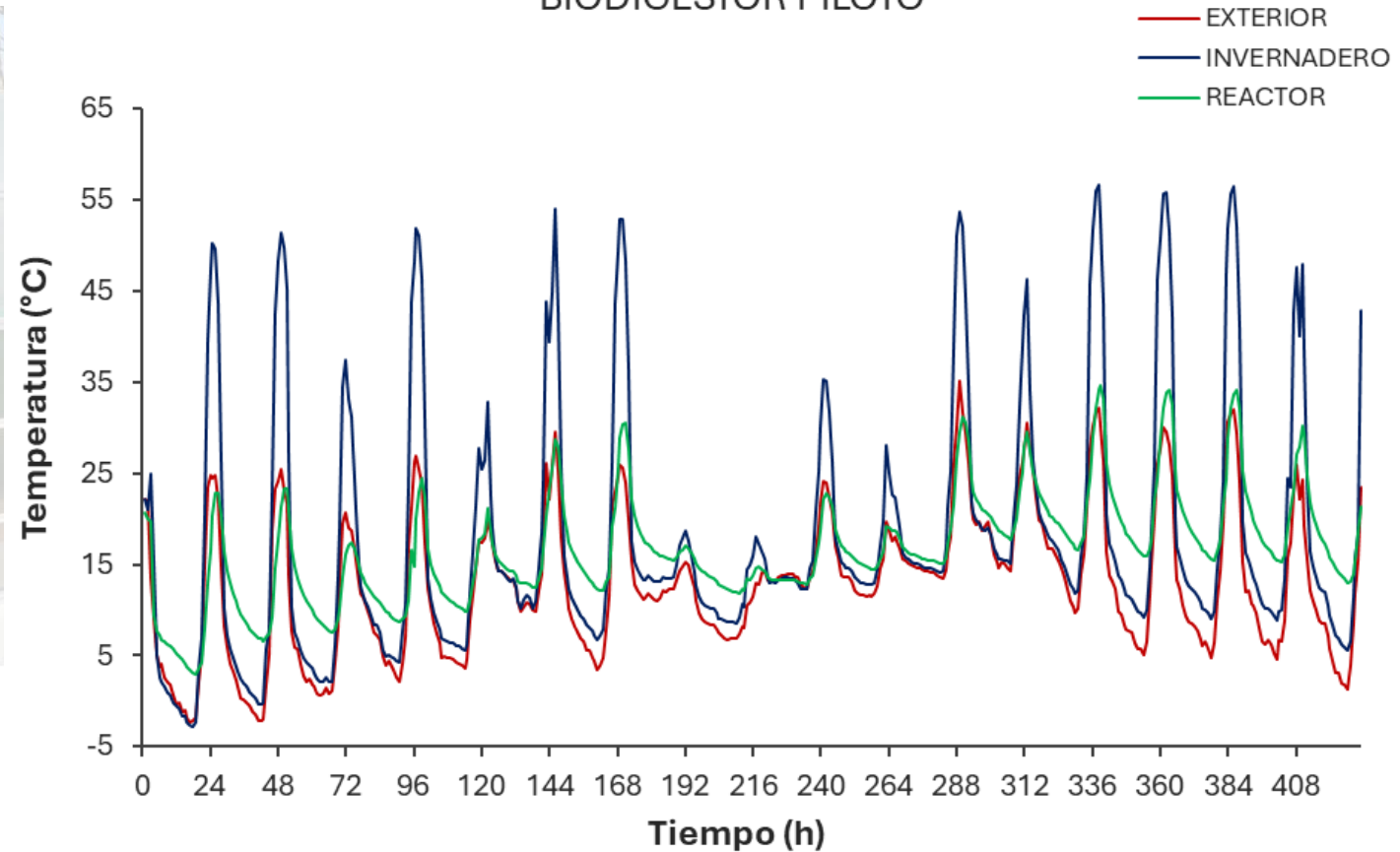
Evaluación en estado estacionario

Balance de masas (DQO, N y P), AGV, C, especies de N y de P, macro y micronutrientes, comunidad microbiana, patógenos y resistencia

BIODIGESTOR A ESCALA PILOTO

ESTUDIAR TECNOLOGÍAS
DE APROVECHAMIENTO
DE DIGESTATO Y DE
PURIFICACIÓN DEL
BIOGÁS

FLUCTUACIÓN DE TEMPERATURA
BIODIGESTOR PILOTO





evaluación de la producción de biogás y digestato de los residuos y sus mezclas
(CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV)



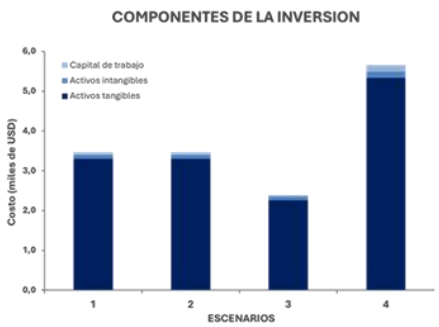
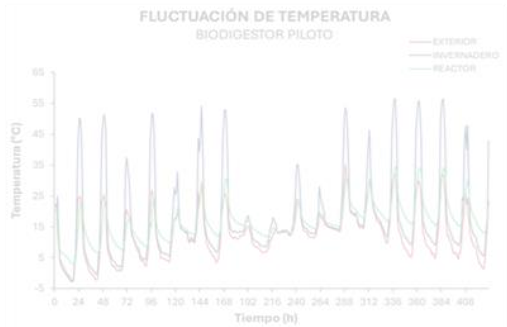
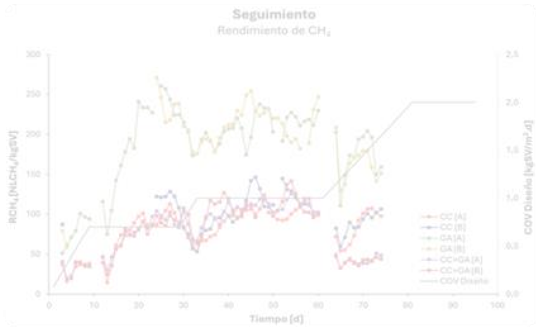
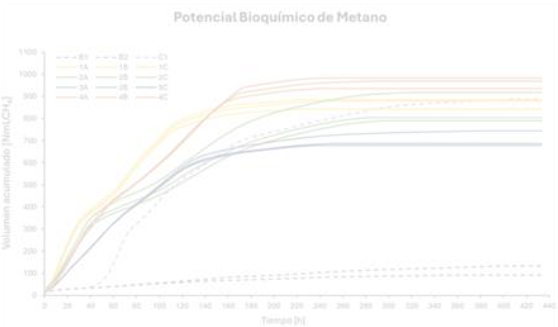
optimización de variables para la operación de reactores en continuo
(TRH y COV)



impacto de la temperatura en el proceso en reactor a escala piloto
(desempeño tecnológico)



evaluación de la sustentabilidad de la tecnología propuesta
(rentabilidad y ODS)



GRACIAS

I ENCUENTRO DE INVESTIGADORES/AS DE UTEC

01.08.24

MSc. Qco. Guillermo Zinola

Docente Adjunto. Ingeniería en Agua y Desarrollo Sostenible. UTEC - ITR-CS Durazno
Departamento de Sostenibilidad Ambiental. Unidad Tecnológica de Recursos Naturales