



Ministerio
de Educación
y Cultura



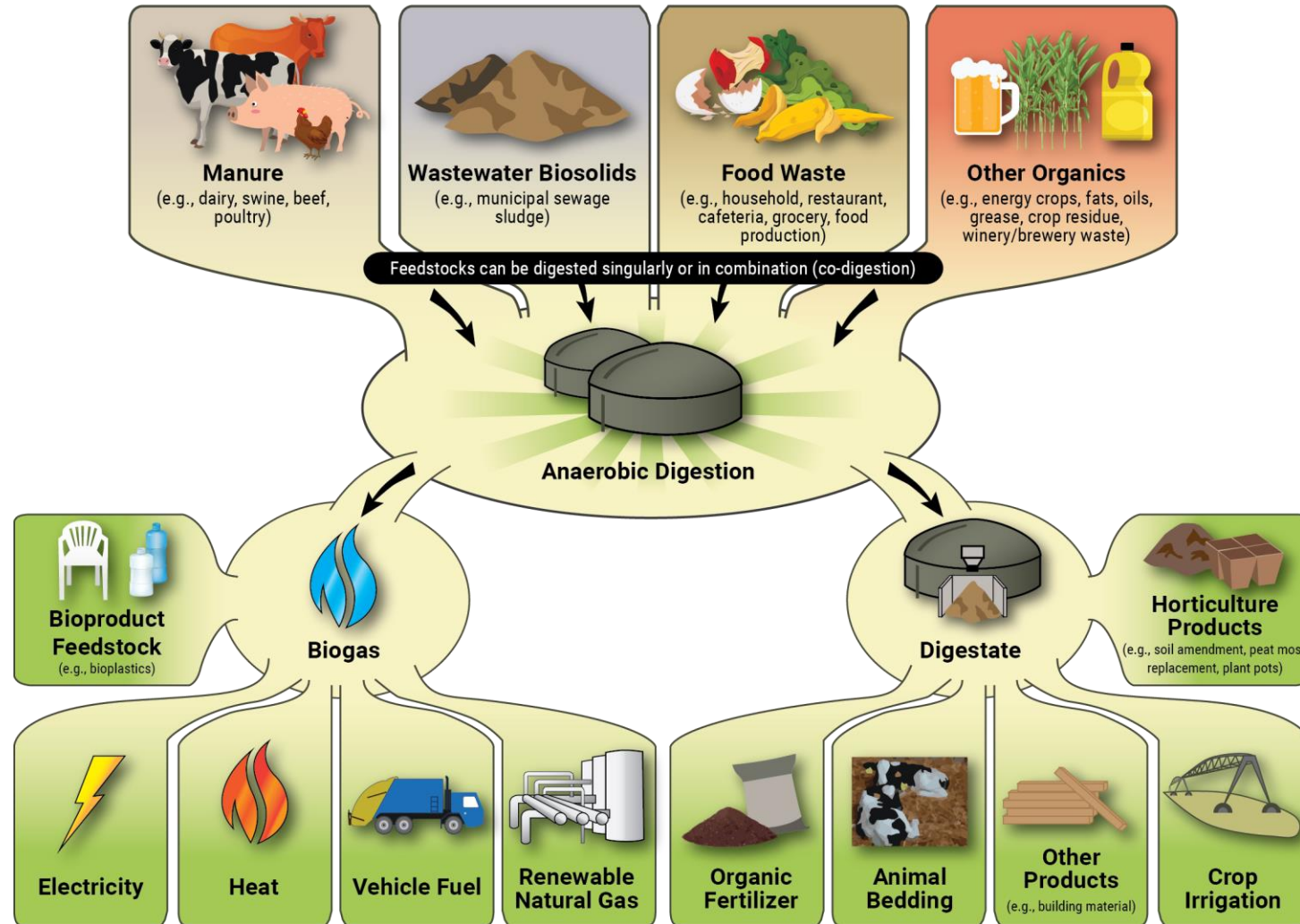
Resultados del Proyecto: Revalorización del estiércol de ave

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

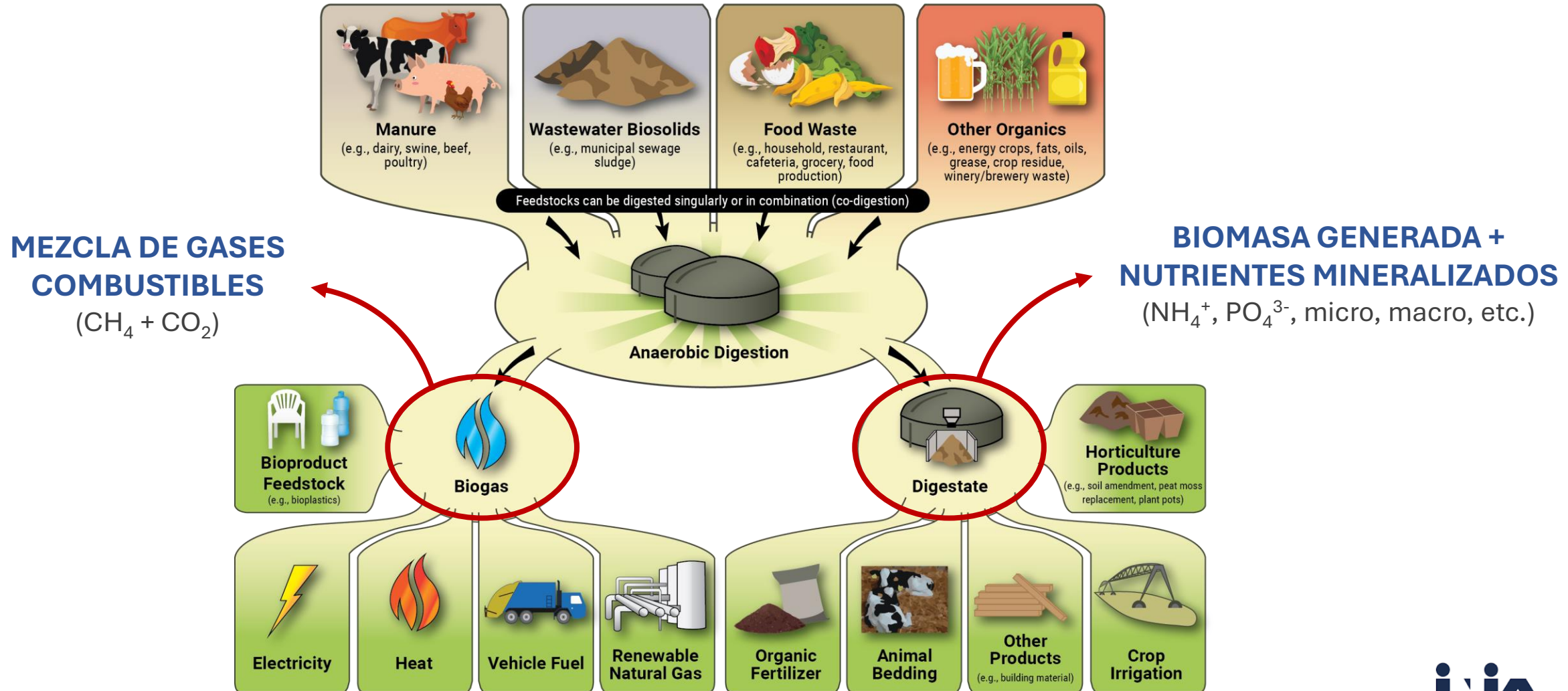
Guillermo Zinola, María Ayala, Pablo Díaz, Andrea Martínez, Patricia Bovio y Claudia Etchebehere

- DIGESTIÓN ANAEROBIA
- RESIDUOS GENERADOS EN GRANJAS AVÍCOLAS
- OBJETIVOS Y METODOLOGÍA
- POTENCIAL DE PRODUCCION DE BIOGAS Y DIGESTATO
- OPTIMIZACIÓN Y ESCALADO DEL BIOPROCESO
- EVALUACIÓN A ESCALA PILOTO
- FACTIBILIDAD ECONÓMICA
- RESUMEN

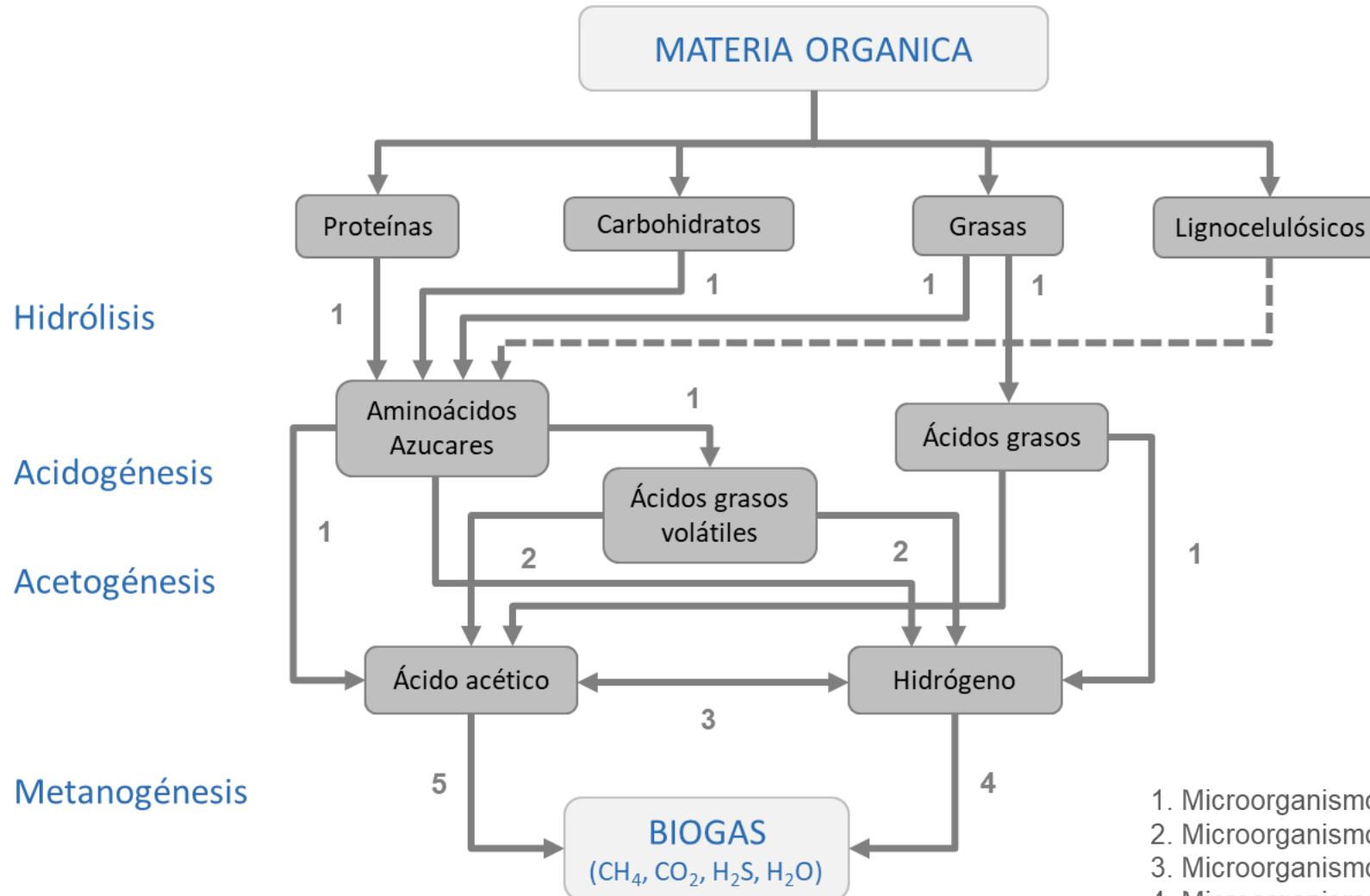
DIGESTIÓN ANAEROBIA



DIGESTIÓN ANAEROBIA



DIGESTIÓN ANAEROBIA



Proceso realizado por **COMUNIDADES** de microorganismos en **AUSENCIA DE OXIGENO**

1. Microorganismos hidrolíticos acidogénicos
2. Microorganismos acetogénicos
3. Microorganismos homoacetogénicos
4. Microorganismos metanogénicos hidrogenofílicos
5. Microorganismos metanogénicos acetoclásticos

RESIDUOS GENERADOS EN GRANJAS AVÍCOLAS

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



RESIDUOS GENERADOS EN GRANJAS AVÍCOLAS

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



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



GALLINAS PONEDORAS

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



RESIDUOS GENERADOS EN GRANJAS AVÍCOLAS



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)

Disminución de las cantidades generadas por mejores prácticas de crianza y se estima que la proporción entre **CC y GA** es actualmente de **24:1** (en ST)

RESIDUOS GENERADOS EN GRANJAS AVÍCOLAS



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

Disminución de las cantidades generadas por mejores prácticas de crianza y se estima que la proporción entre **CC y GA** es actualmente de **24:1** (en ST)

RESIDUOS GENERADOS EN GRANJAS AVÍCOLAS



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)

Disminución de las cantidades generadas por mejores prácticas de crianza y se estima que la proporción entre **CC y GA** es actualmente de **24:1** (en ST)

Alta disponibilidad de materia orgánica en todos los residuos

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



RESIDUOS GENERADOS EN GRANJAS AVÍCOLAS



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)

Disminución de las cantidades generadas por mejores prácticas de crianza y se estima que la proporción entre CC y GA es actualmente de 24:1 (en ST)

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



CODIGESTIÓN ANAEROBIA

Mezcla de CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV

Complementariedad de nutrientes

mejorar la relación C/N

Disminución de toxicidad

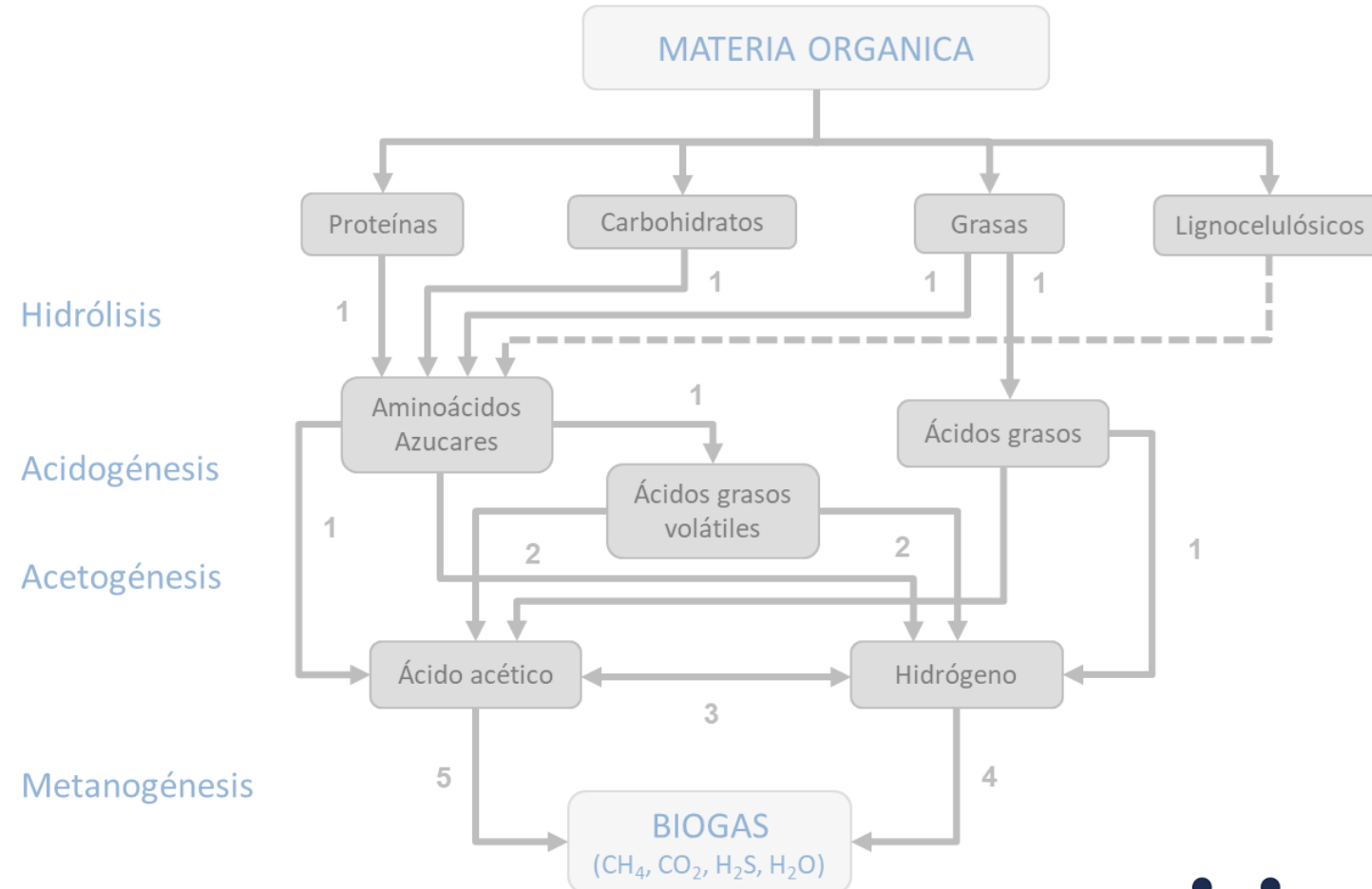
evitar la inhibición por NH_4^+

Generación de residuos variable

fluctuaciones en la cantidad y características

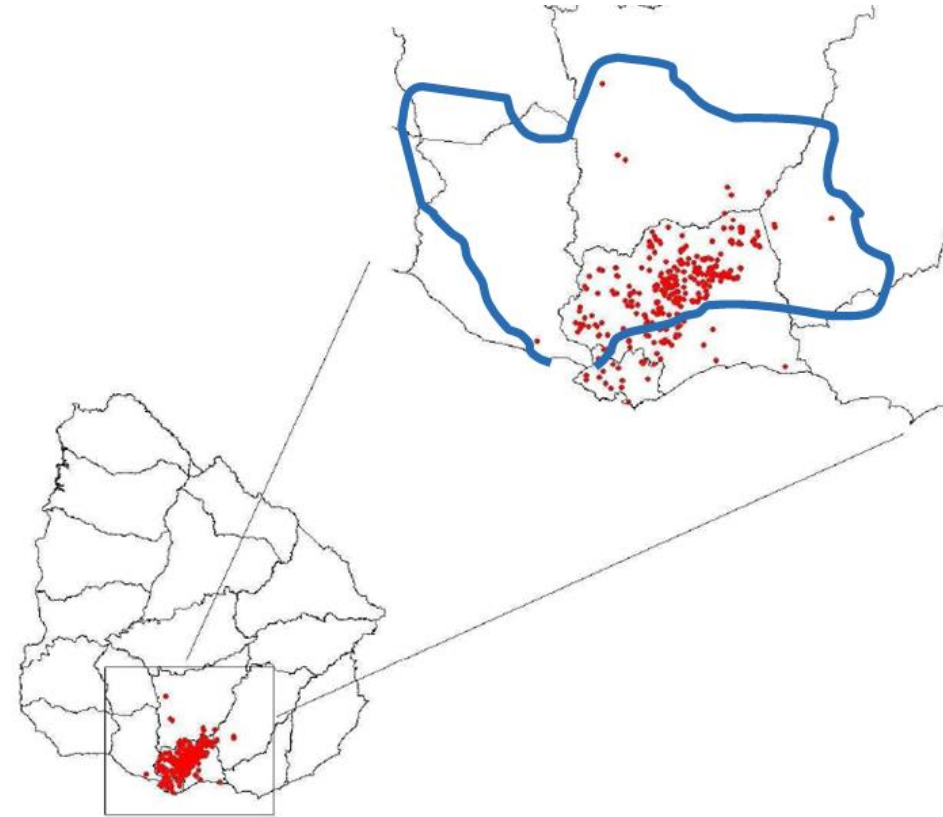
Productos con calidad verificable

control de procesos en plantas centralizadas



CODIGESTIÓN ANAEROBIA

Mezcla de CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV

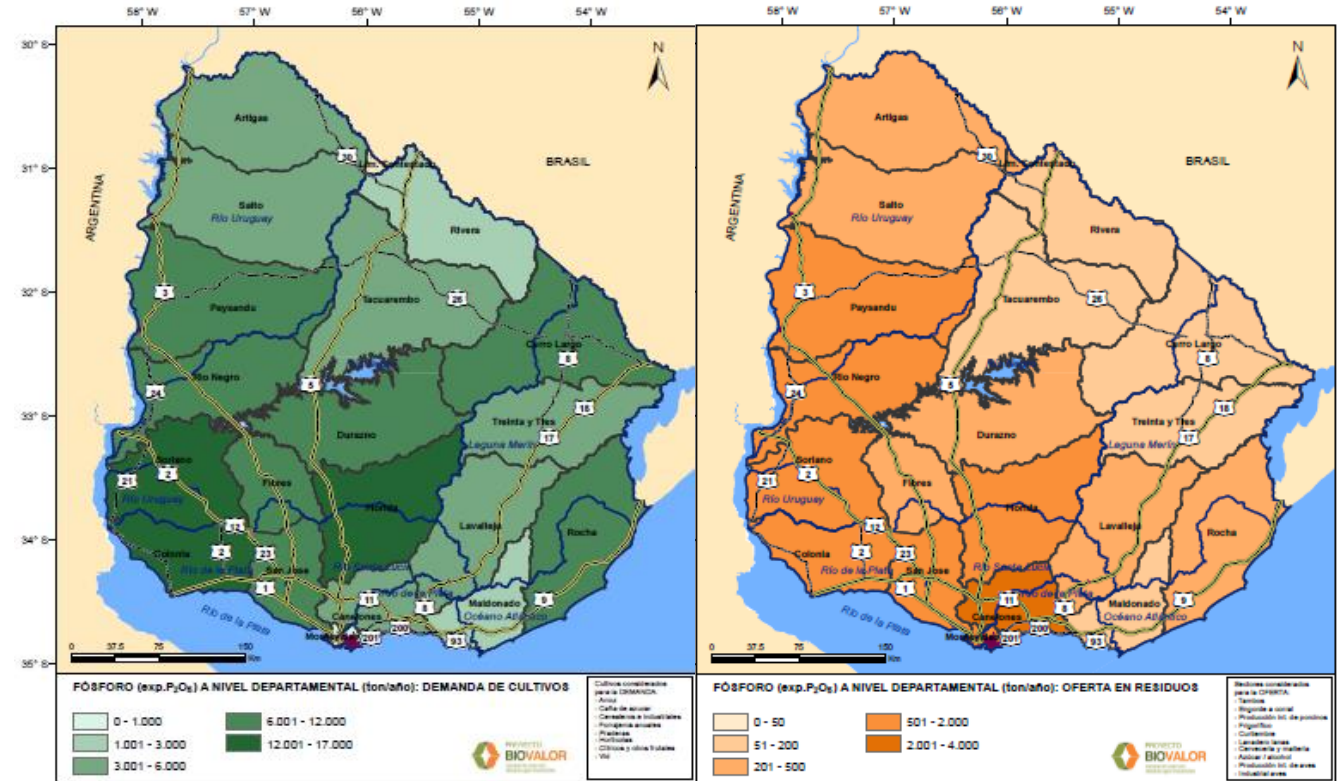
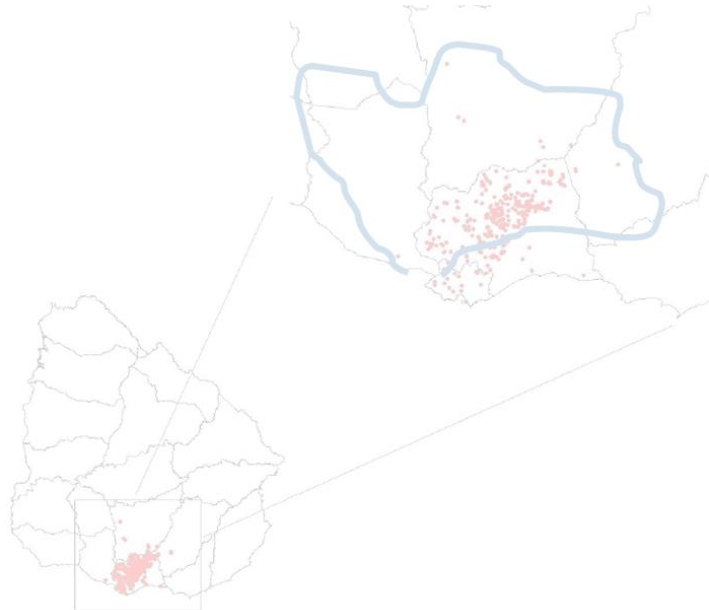


SOLUCIONES CENTRALIZADAS

concentración geográfica + variabilidad de la generación

CODIGESTIÓN ANAEROBIA

Mezcla de CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV



NUTRIENTES (fósforo)

oferta proveniente de residuos orgánicos vs demanda de cultivos

SOLUCIONES CENTRALIZADAS

concentración geográfica + variabilidad de la generación

DOCTORADO EN QUÍMICA

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 QUÍMICA

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)

- 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.

DOCTORADO EN QUÍMICA

Universidad de la República



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

PhD. Claudia Etchebehere (IIBCE)

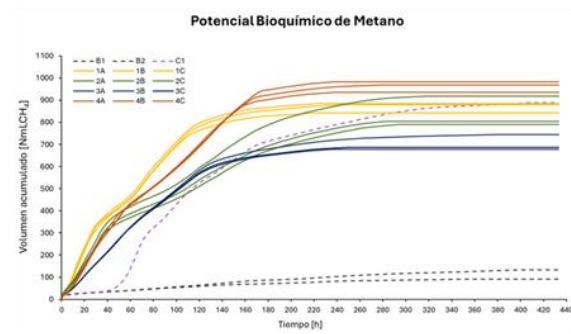
PhD. Héctor García (UTEC)

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.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA



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



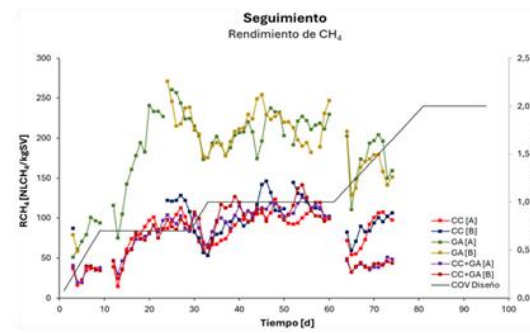
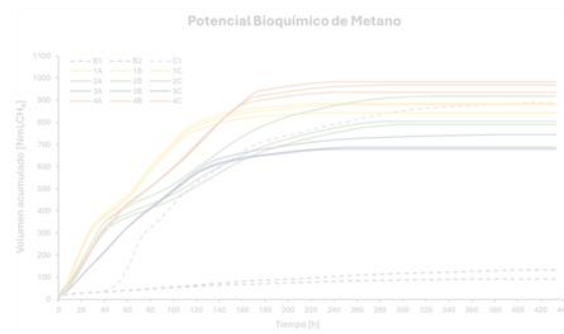
OBJETIVOS Y METODOLOGÍA



**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)



OBJETIVOS Y METODOLOGÍA



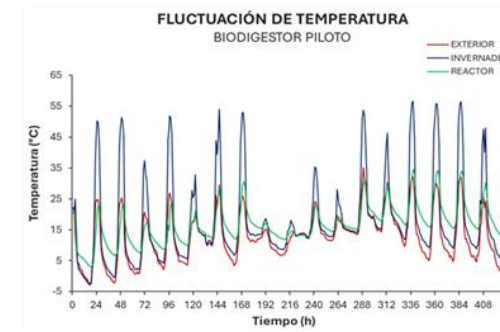
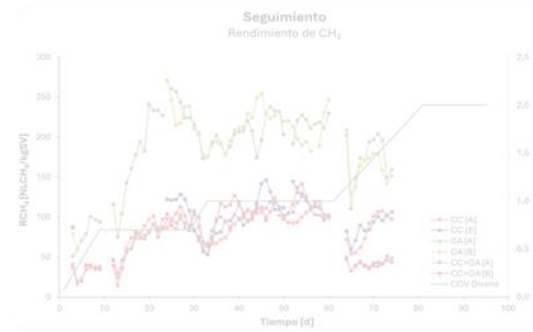
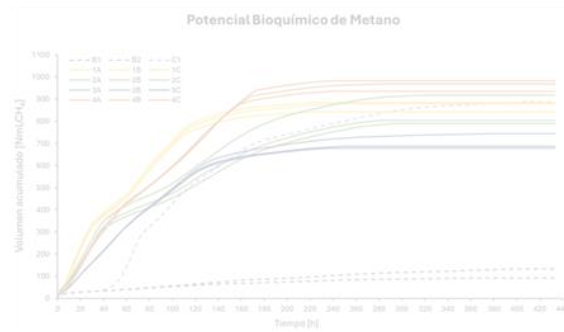
**evaluación de la producción
de biogás y digestato de los
residuos y sus mezclas**
(CC, GA-FR, GA-AUT y GA-CONV)



**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)



OBJETIVOS Y METODOLOGÍA



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



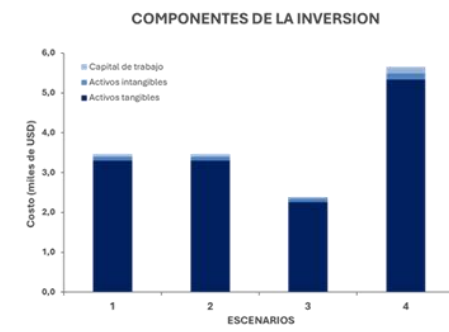
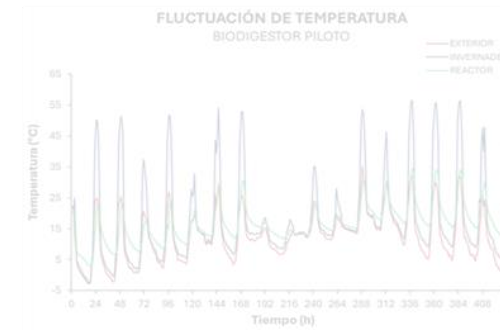
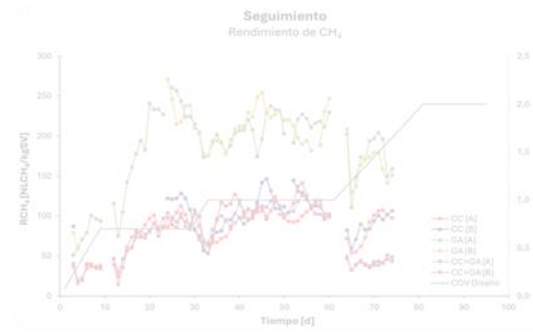
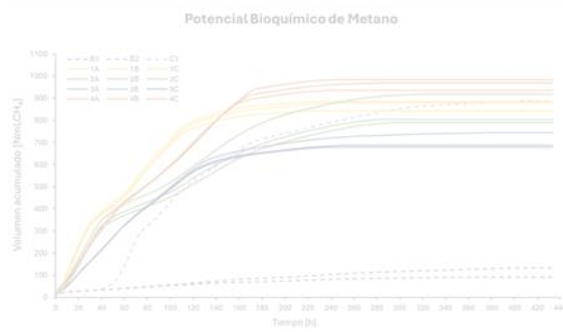
**optimización de variables
para la operación de
reactores en continuo**
(TRH y COV)



**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 DE PRODUCCION DE BIOGAS Y DIGESTATO



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



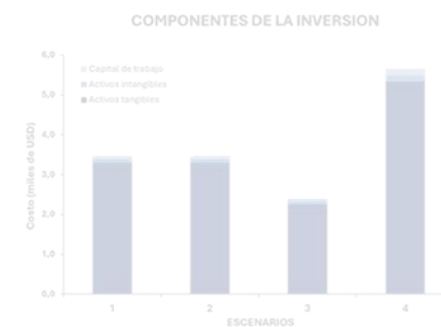
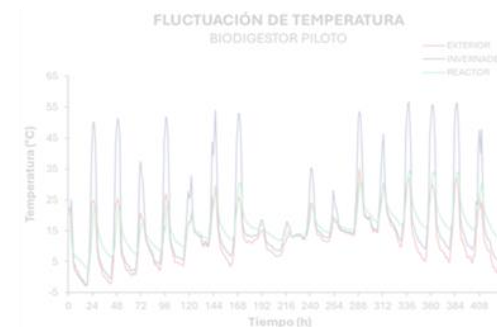
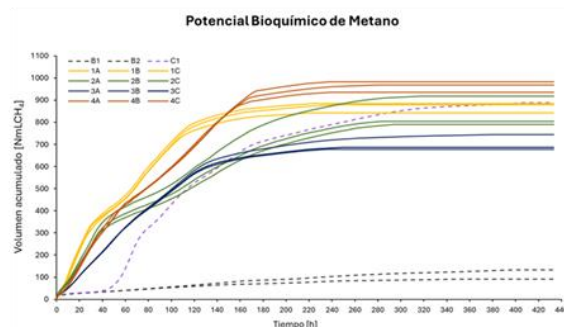
**optimización de variables
para la operación de
reactores en continuo**
(TRH y COV)



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

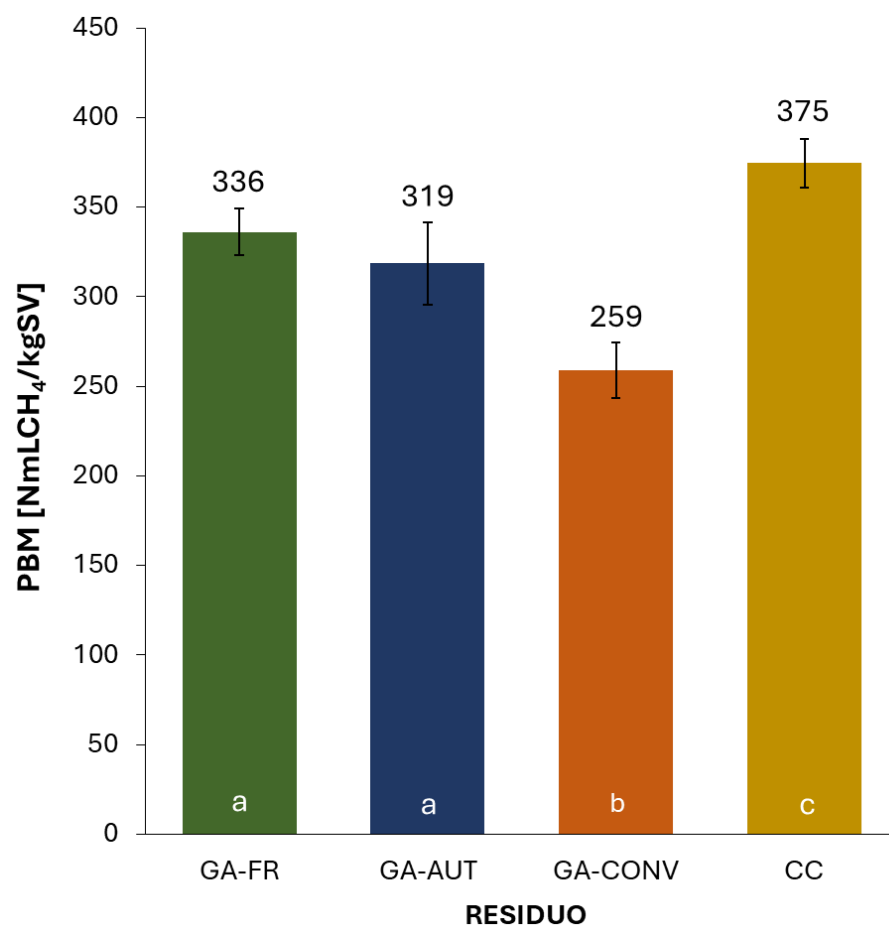


**evaluación de la
sustentabilidad de la
tecnología propuesta**
(rentabilidad y ODS)



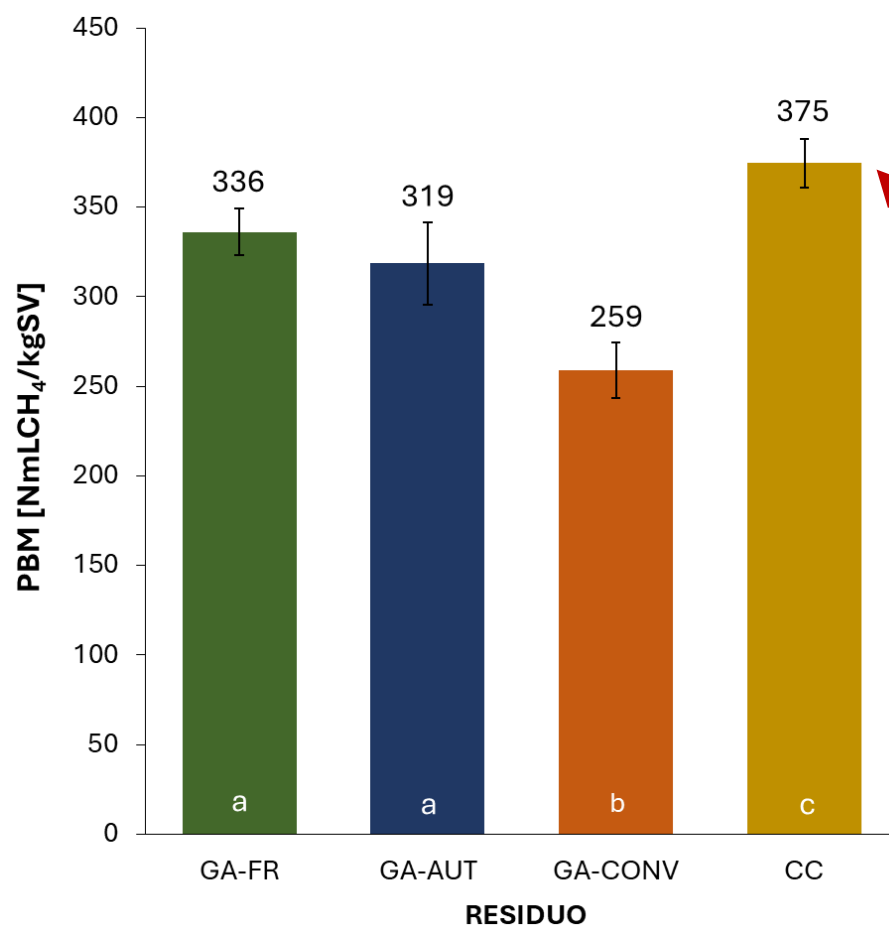
POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Residuos individuales



POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

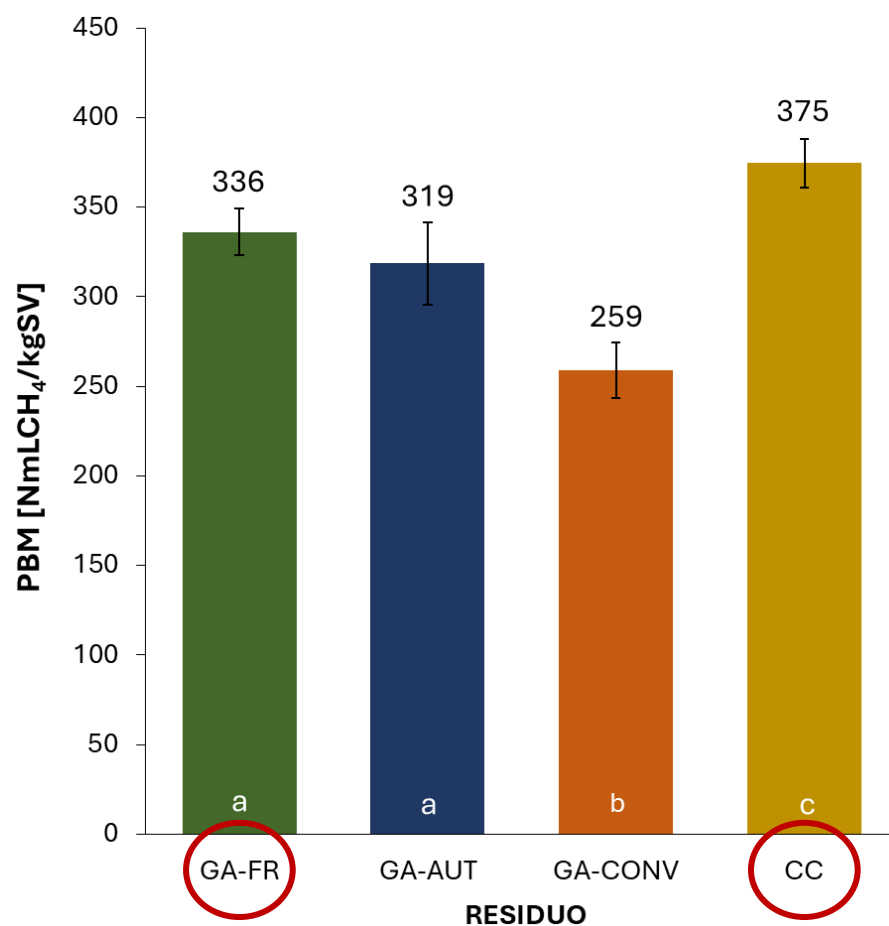
Residuos individuales



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

POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Residuos individuales

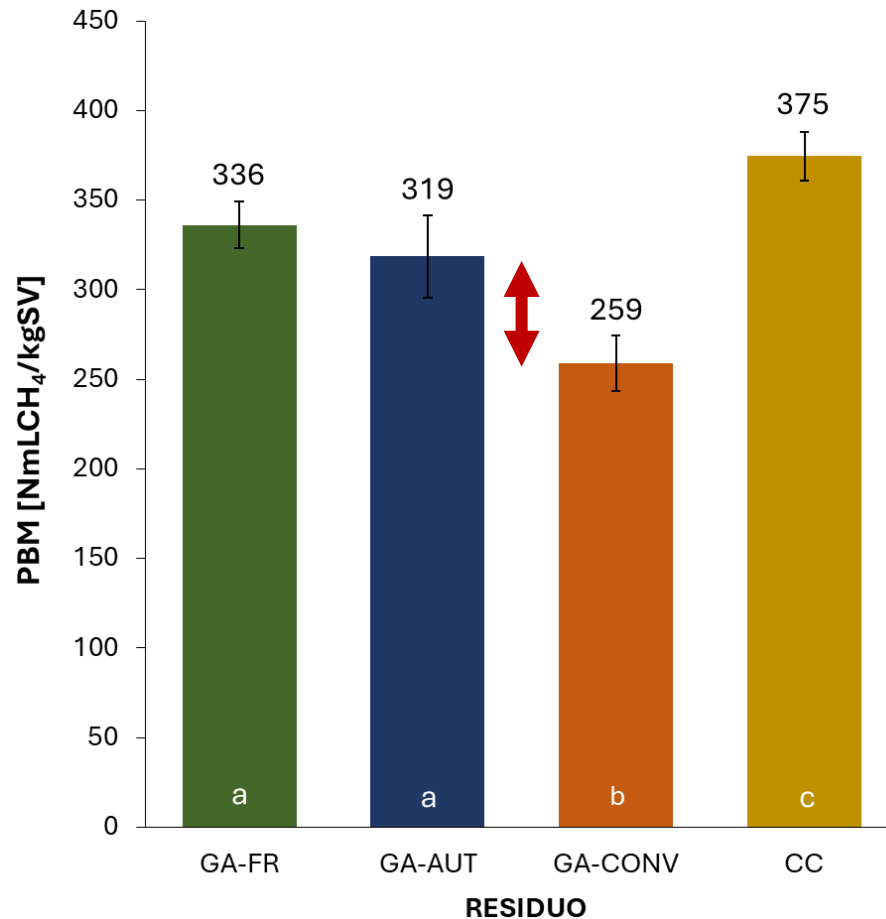


La **CC** presentó el valor más alto de PBM.

Los residuos que contienen **cáscara de arroz** en las camas de crianza **obtuvieron los mayores PBM** (C/N alta).

POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Residuos individuales



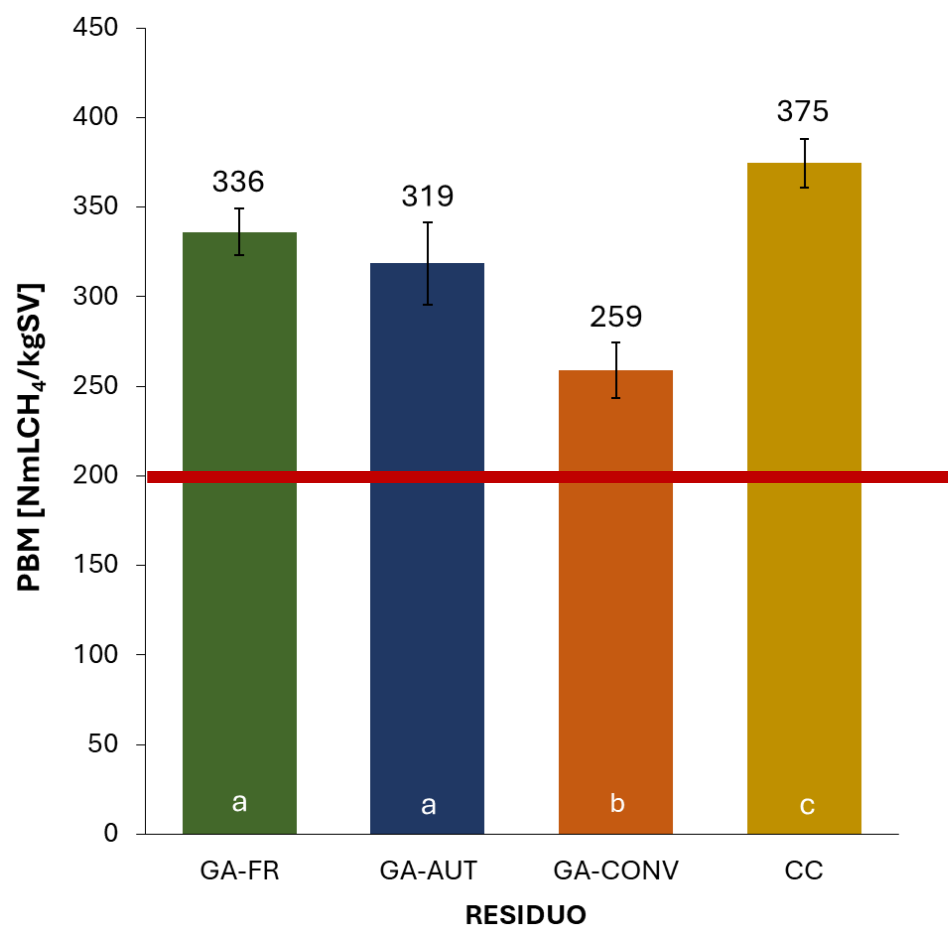
La **CC** presentó el valor más alto de PBM.

Los residuos que contienen **cáscara de arroz** en las camas de crianza **obtuvieron los mayores PBM** (C/N alta).

La **GA-CONV** tiene **menor PBM** que la **GA-AUT**, aunque la relación C/N es más alta (C/N = 7 vs 4), lo que podría ser por el largo **tiempo de almacenamiento** en los galpones.

POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

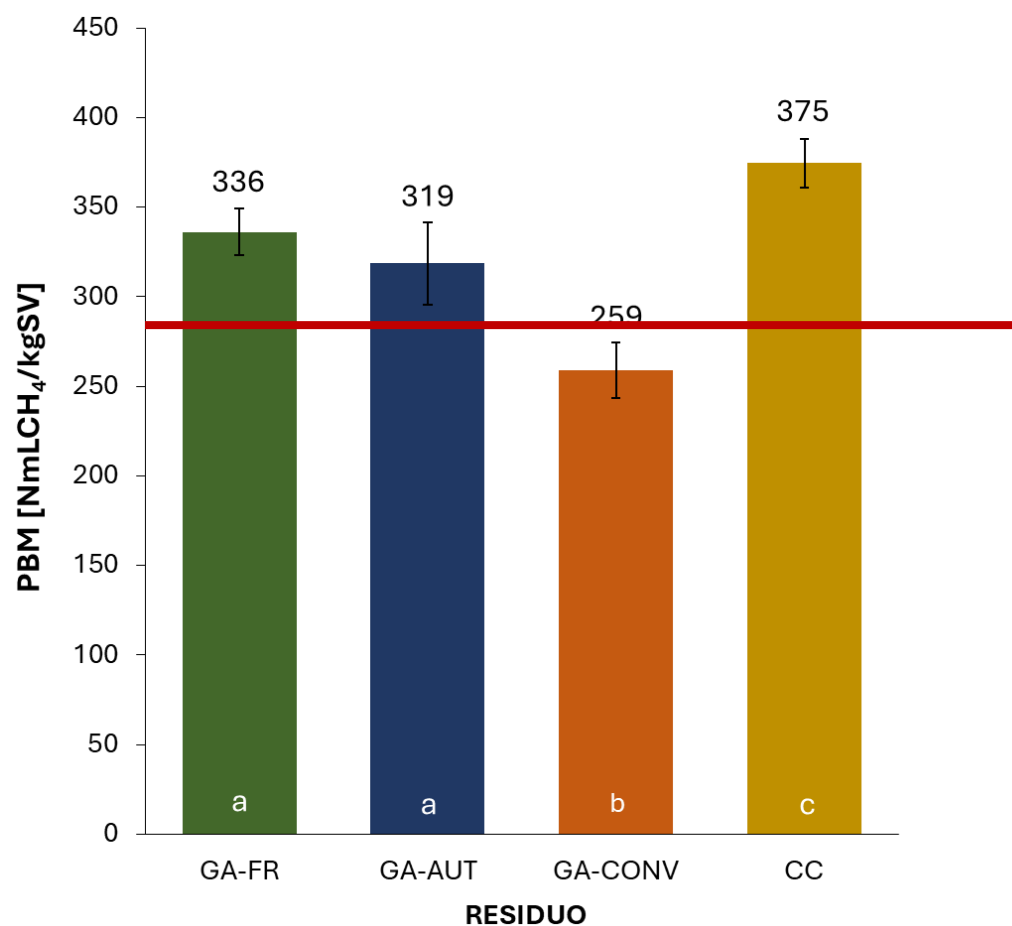
Residuos individuales



**RESIDUOS CON MUY BUEN
POTENCIAL PARA PRODUCIR ENERGÍA**
PBM de efluentes de tambos - 200 NmLCH₄/kgSV

POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Residuos individuales

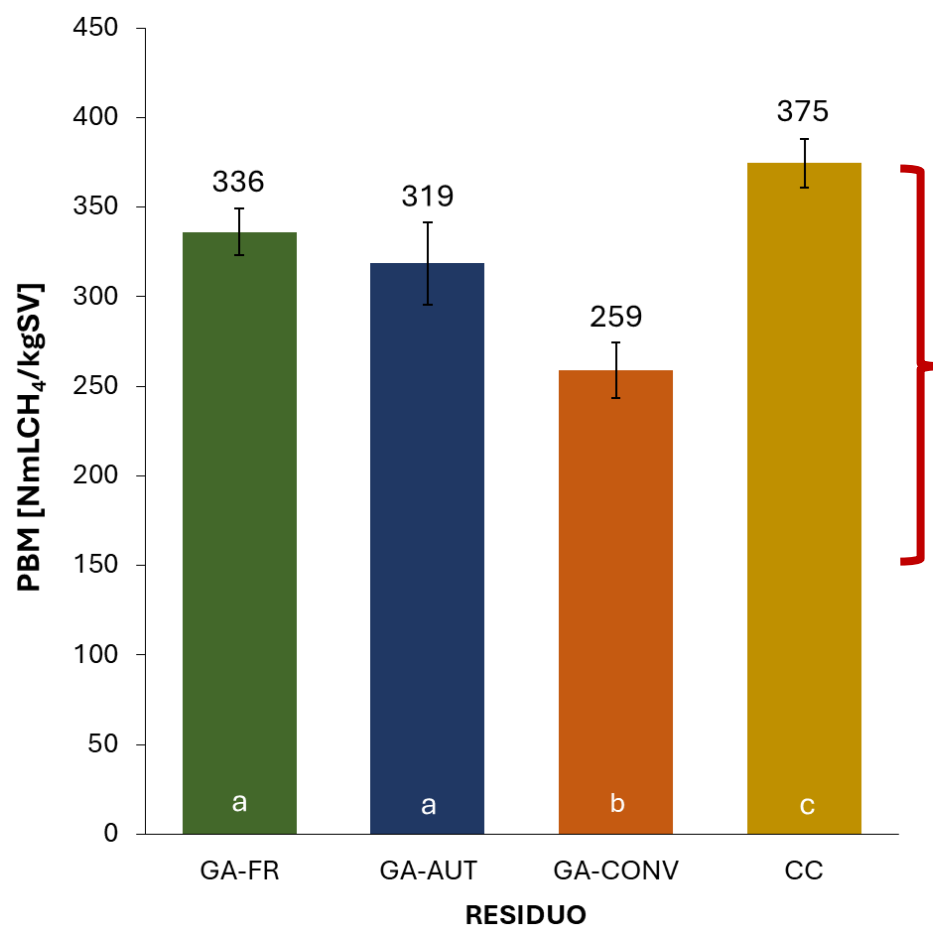


VARIACIÓN DEL PBM SEGÚN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HUEVOS

PBM de excretas de gallinas ponedoras - 280 NmLCH₄/kgSV

POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Residuos individuales



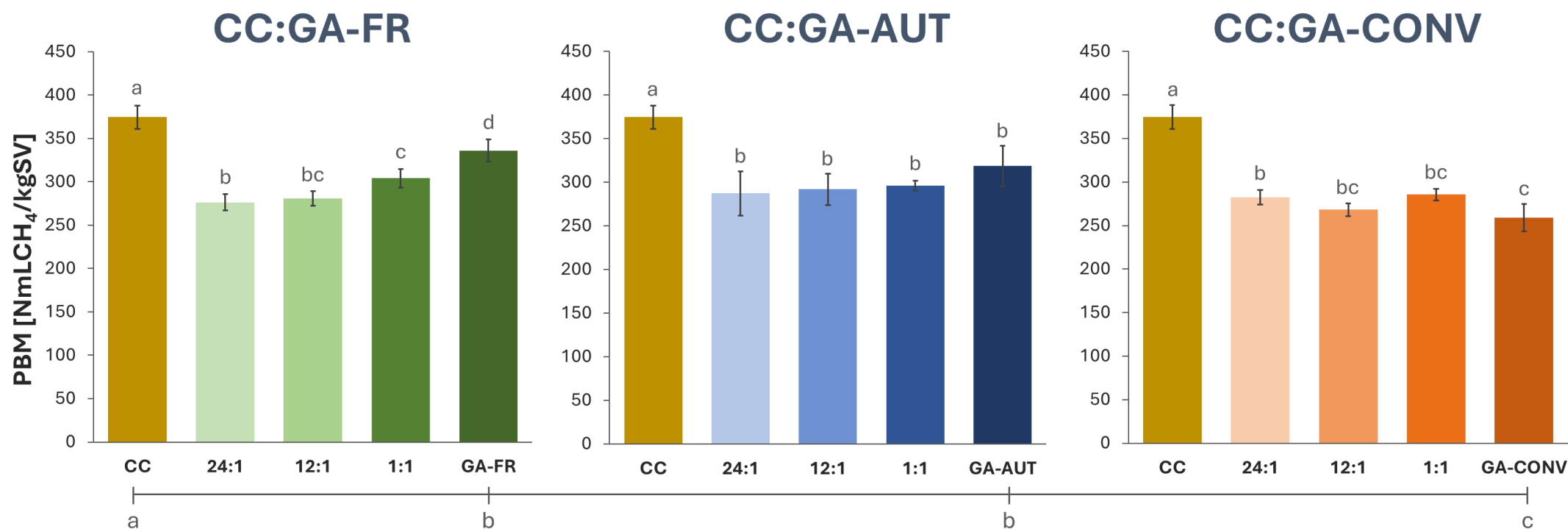
MAYOR PBM DE LAS CAMAS DE CRIANZA QUE EL REPORTADO, PODRIA DEBERSE AL TIEMPO DE USO
PBM de camas de cría de pollos parrilleros - **150 NmLCH₄/kgSV**

POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Efecto de la mezcla en la producción de CH₄

CODIGESTIÓN

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



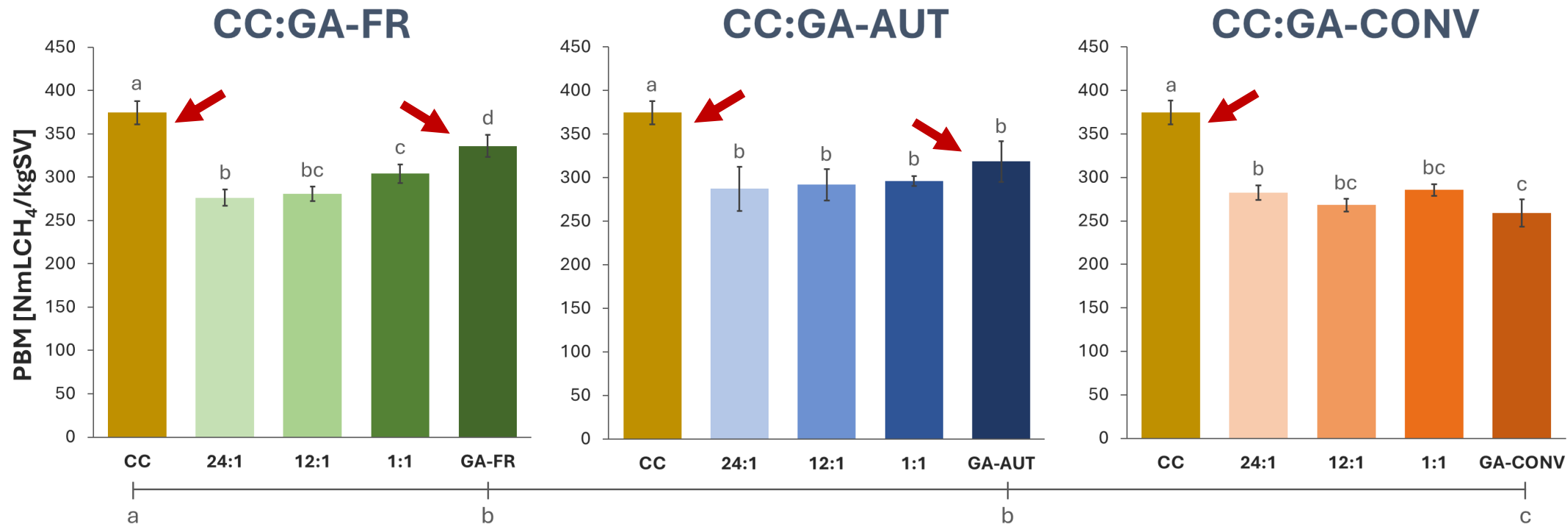
POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Efecto de la mezcla en la producción de CH_4

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 son menores a los obtenidos para los **residuos por separado**, excepto para el caso **CC:GA-CONV (24:1)** (mayor al PBM de GA-CONV, pero menor al de la CC).



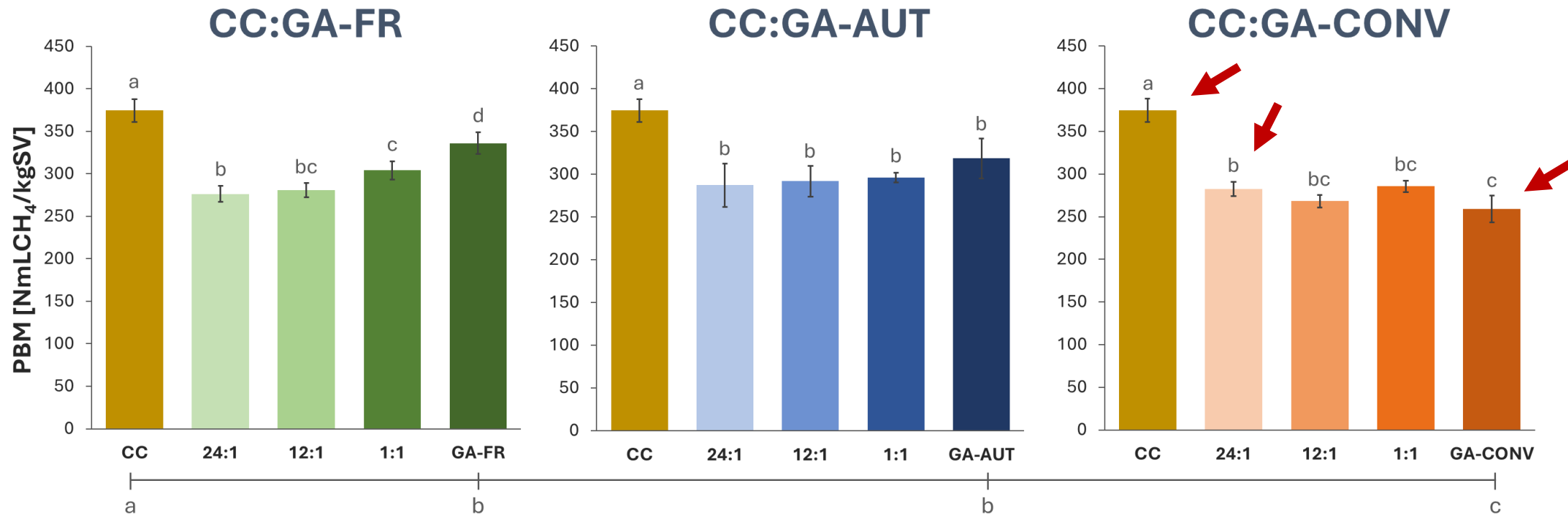
POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Efecto de la mezcla en la producción de CH_4

CODIGESTIÓN

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

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



CARACTERIZACIÓN DEL DIGESTATO EVALUADO

Evaluación agronómica en invernadero

ESCENARIO

CC:GA (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	534	580	28	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 (C/N)	TN	35 (10,0)	37 (7,3)	35 (9,9)	39 (7,5)	gN/kgTS (-)
Fósforo total (N/P)	TP	16 (2,2)	37 (1,0)	17 (2,1)	14 (2,8)	gP/kgTS (-)
Potencial bioquímico de metano	PBM	375 ± 14	259 ± 15	282 ± 9	-	NmLCH ₄ /kgVS

OPTIMIZACIÓN Y ESCALADO DEL BIOPROCESO



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



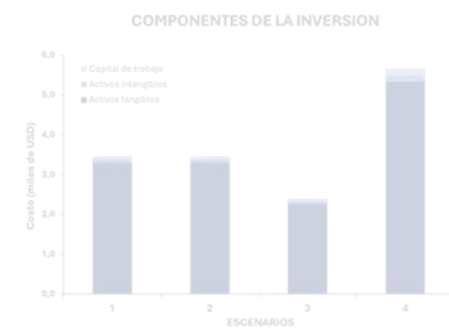
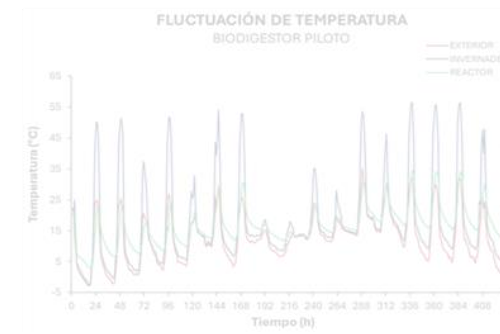
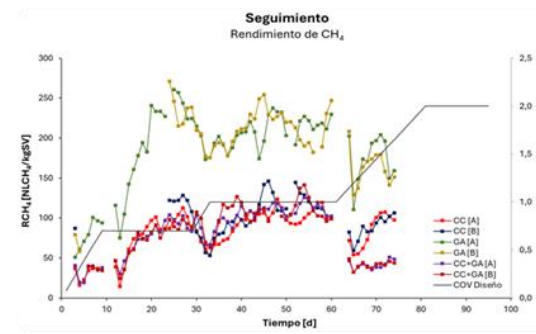
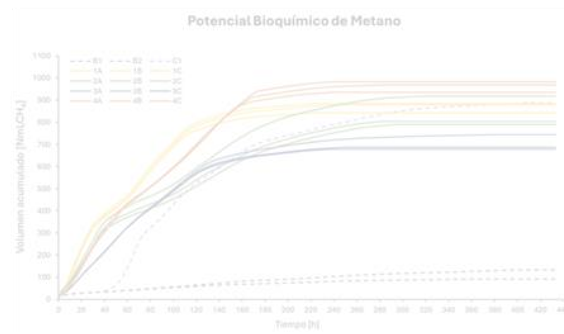
**optimización de variables
para la operación de
reactores en continuo**
(TRH y COV)



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

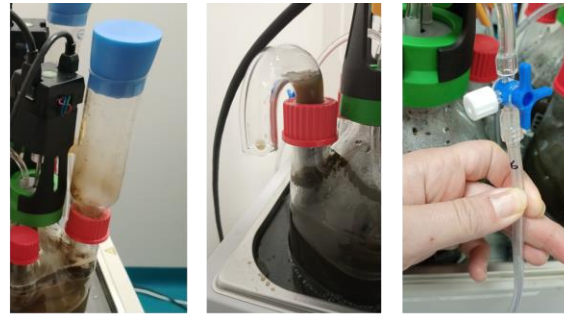


**evaluación de la
sustentabilidad de la
tecnología propuesta**
(rentabilidad y ODS)



REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE BIODIGESTORES

Carga orgánica volumétrica (COV) y tiempo de retención hidráulico (TRH)



Reactores CSTR operados en continuo
alimentación diaria y 37°C

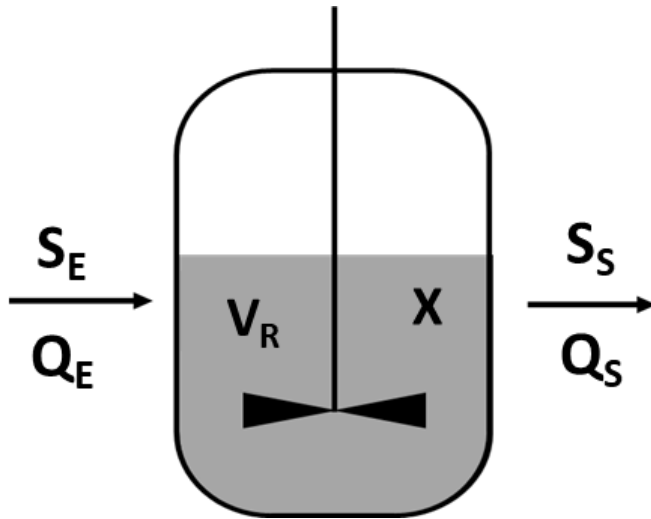
CC, GA-CONV y CC:GA-CON (24:1)
3 tratamientos por duplicado (6 reactores de 2L)

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

REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE BIODIGESTORES

Carga orgánica volumétrica (COV) y tiempo de retención hidráulico (TRH)

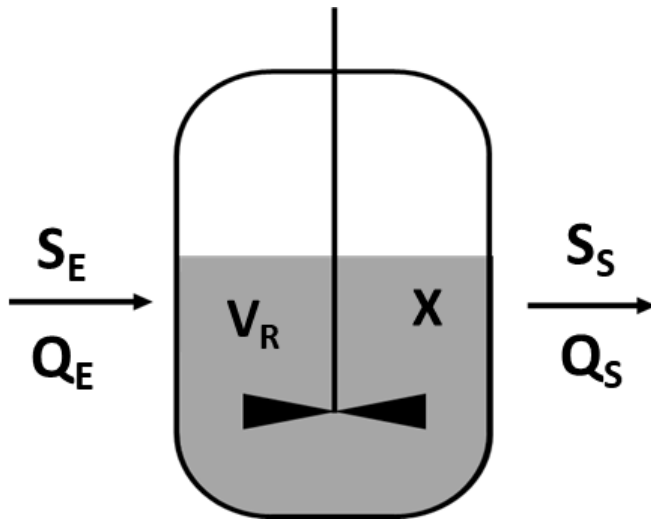


$$COV = \frac{Q_E \times S V_E}{V_R}$$

$$TRH = \frac{V_R}{Q_E}$$

REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE BIODIGESTORES

Carga orgánica volumétrica (COV) y tiempo de retención hidráulico (TRH)



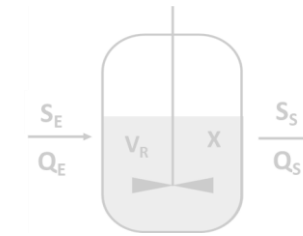
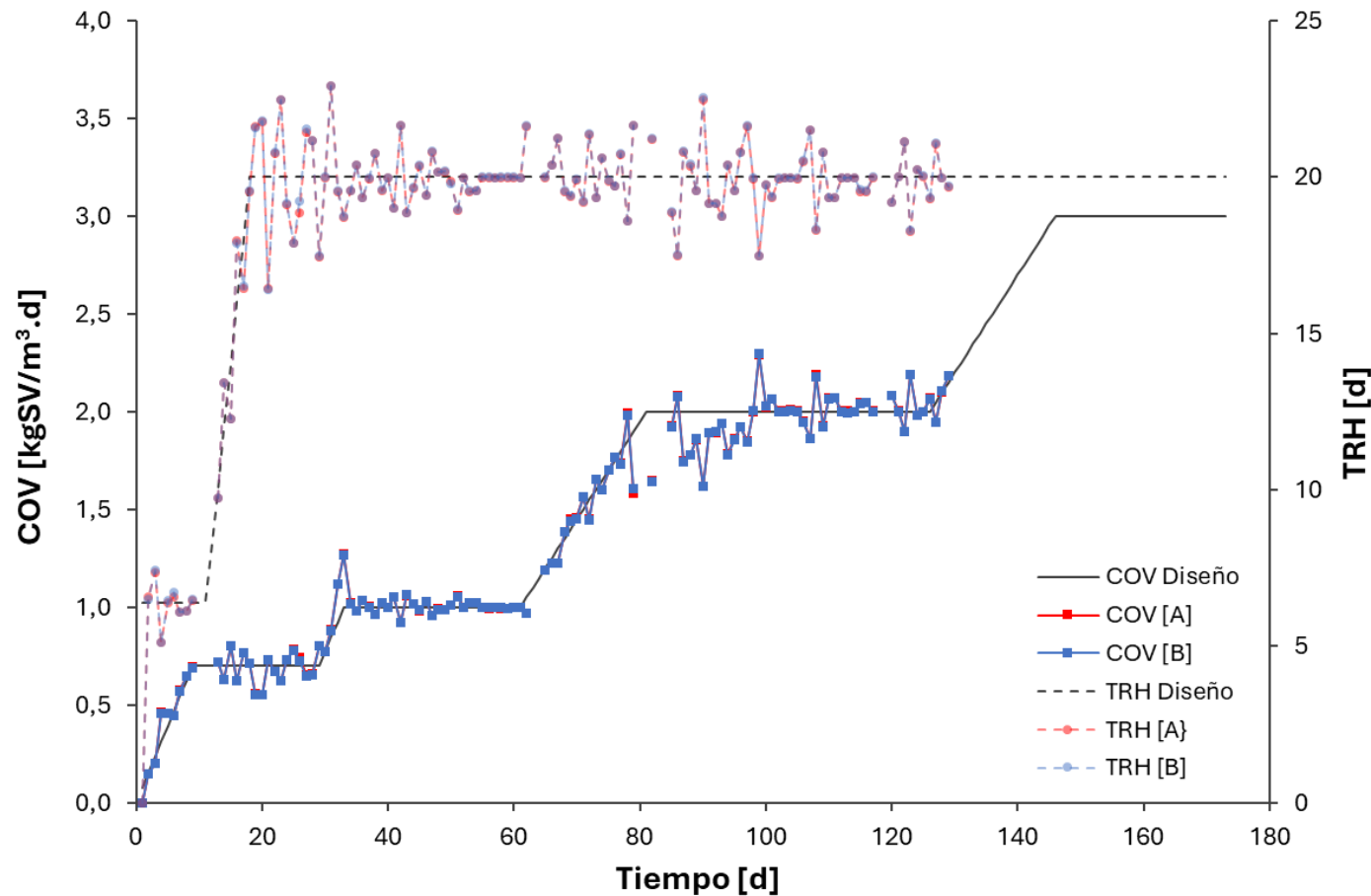
$$COV = \frac{Q_E \times S E}{V_R}$$

$$TRH = \frac{V_R}{Q_E}$$

Reducir el volumen del biodigestor implica **disminuir** significativamente los **costos** de inversión, operación y mantenimiento y **mejorar la factibilidad** del proyecto

REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE BIODIGESTORES

Carga orgánica volumétrica (COV) y tiempo de retención hidráulico (TRH)



$$COV = \frac{Q_E \times SV_E}{V_R}$$

$$TRH = \frac{V_R}{Q_E}$$

TRH fijo y COV variable

TRH = 20 d

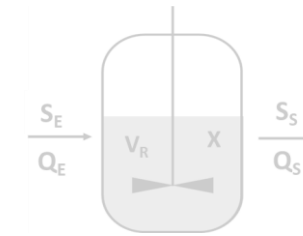
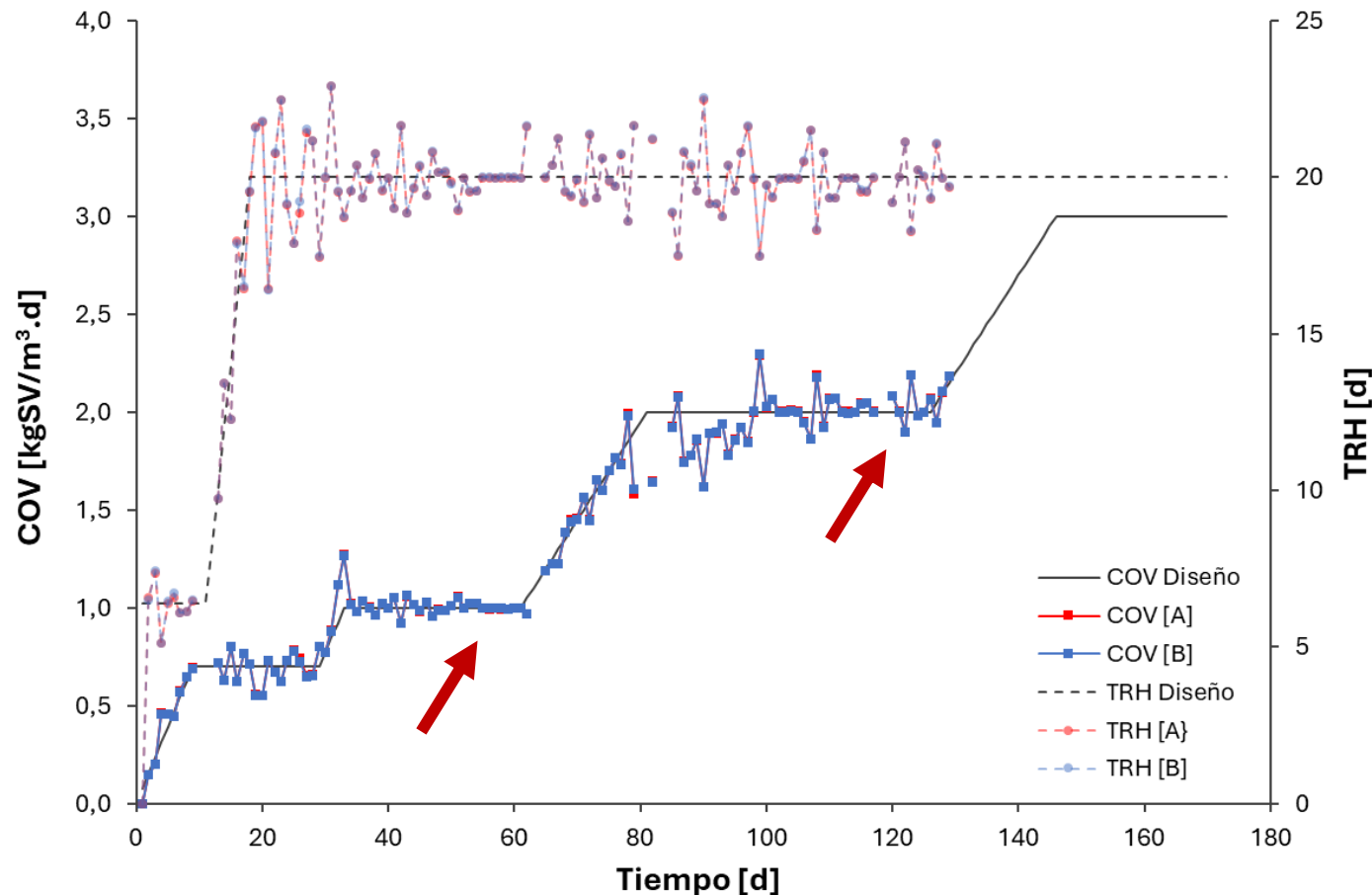
COV = 1, 2 y 3 kgSV/m³.d

Inoculación y puesta en marcha

t ≈ 35 d

REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE BIODIGESTORES

Carga orgánica volumétrica (COV) y tiempo de retención hidráulico (TRH)



$$COV = \frac{Q_E \times SV_E}{V_R}$$

$$TRH = \frac{V_R}{Q_E}$$

TRH fijo y COV variable

TRH = 20 d

COV = 1, 2 y 3 kgSV/m³.d

Inoculación y puesta en marcha

t ≈ 35 d

Estados Estacionarios

t_{EE} ≈ 30 d

t_{entre EE} ≈ 20 d

EVALUACIÓN A ESCALA PILOTO



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



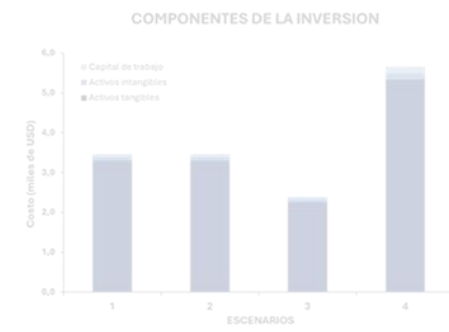
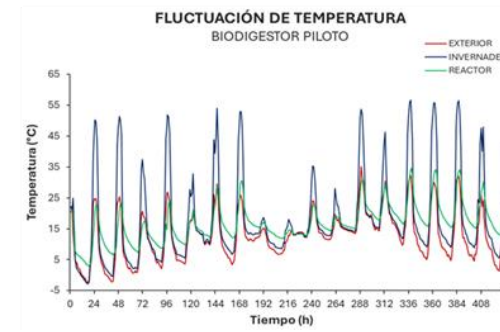
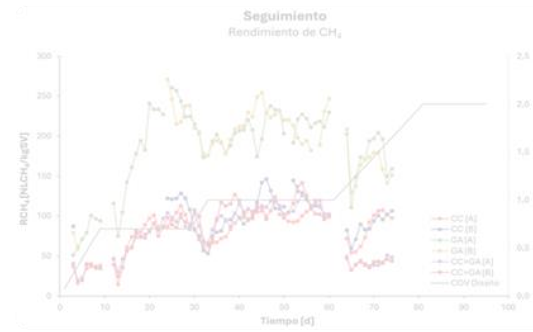
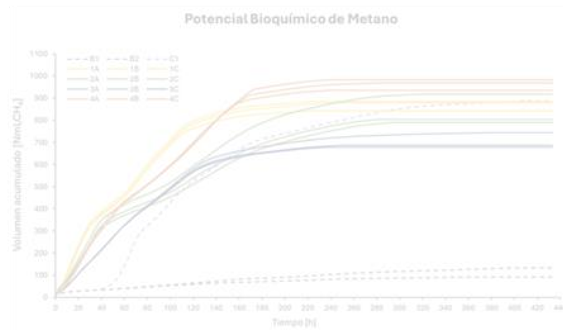
**optimización de variables
para la operación de
reactores en continuo**
(TRH y COV)



**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)



DESEMPEÑO DEL PROCESO CON LA TEMPERATURA

Efecto de los cambios de Temperatura en la producción de CH_4

Reactor CSTR en continuo

$V_R = 1200\text{L}$ con invernadero (T)

CC:GA-CON (24:1)

alimentación cada 2 días

COV y TRH constantes

COV = según ensayo BRS. TRH > 65 d

Seguimiento del bioproceso

CH_4 , T y pH cada 2 días

SV, FOS/TAC y NH_4^+ semanal

Evaluación en estado estacionario

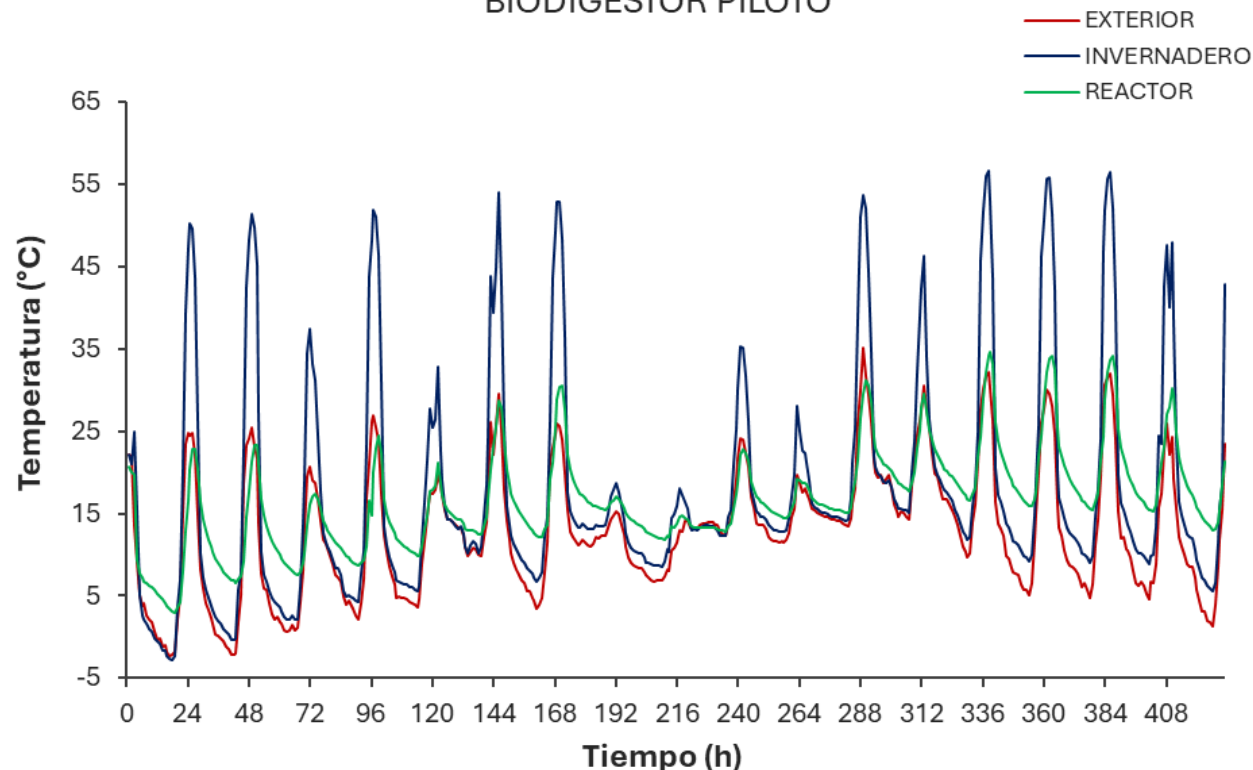
Balance de masas (DQO, N y P)
AGV, C, especies de N y P, macro y
micronutrientes, comunidad,
patógenos y resistencia



DESEMPEÑO DEL PROCESO CON LA TEMPERATURA

Efecto de los cambios de Temperatura en la producción de CH₄

FLUCTUACIÓN DE TEMPERATURA
BIODIGESTOR PILOTO

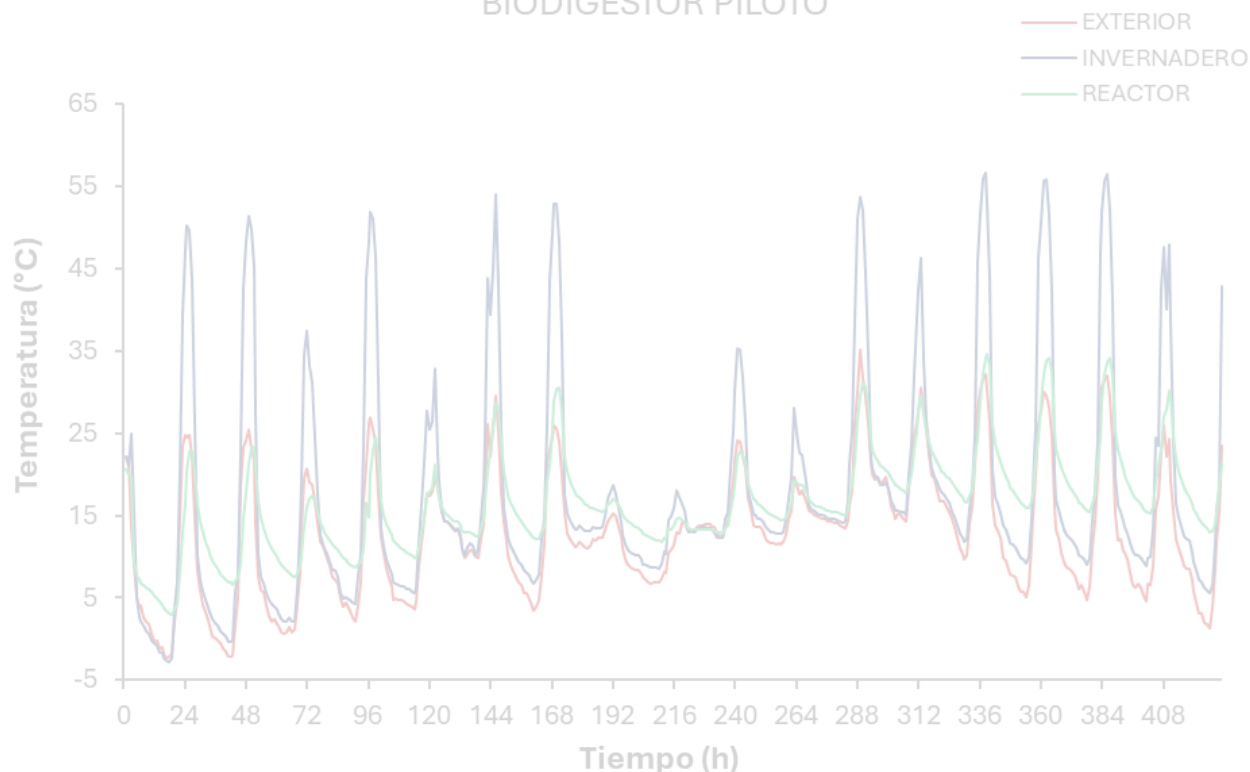


El objetivo del **invernadero** es mantener el proceso **estable** (descenso de T durante la noche) y **realizar evaluaciones a distintas temperaturas** (4 estaciones)

DESEMPEÑO DEL PROCESO CON LA TEMPERATURA

Efecto de los cambios de Temperatura en la producción de CH₄

FLUCTUACIÓN DE TEMPERATURA
BIODIGESTOR PILOTO



El objetivo del **invernadero** es mantener el proceso **estable** (descenso de T durante la noche) y **realizar evaluaciones a distintas temperaturas** (4 estaciones)

SE ESTUDIARÁN TAMBIÉN
**TECNOLOGÍAS DE PURIFICACIÓN
DE BIOGÁS Y APROVECHAMIENTO
DE DIGESTATO**

FACTIBILIDAD ECONÓMICA



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



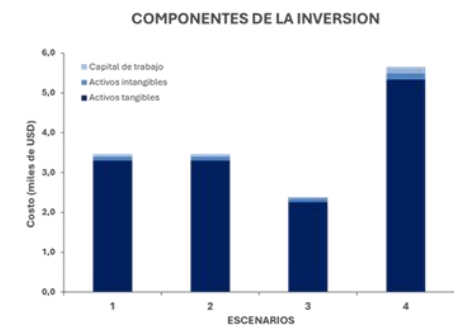
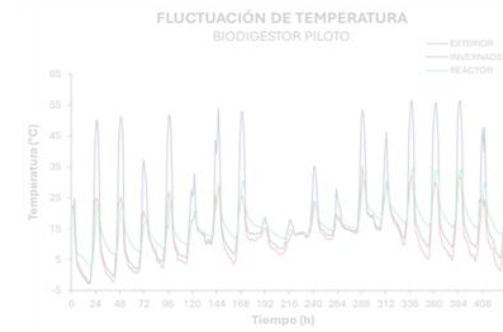
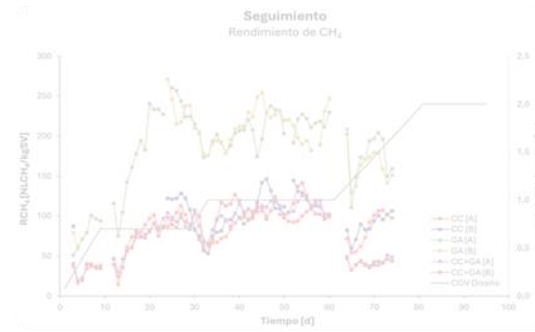
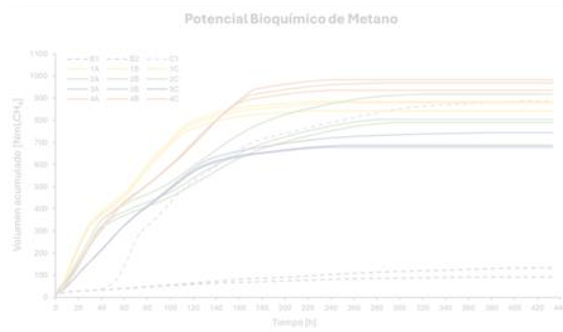
**optimización de variables
para la operación de
reactores en continuo**
(TRH y COV)



**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)



La producción de metano **no varía** cuando se modifica el **tipo de GA** utilizada ni la **proporción entre CC:GA**, lo que permite **flexibilizar** la alimentación de un **sistema centralizado**.

La producción de metano **no varía** cuando se modifica el **tipo de GA** utilizada ni la **proporción entre CC:GA**, lo que permite **flexibilizar** la alimentación de un **sistema centralizado**.

PARA EL ESCENARIO CC:GA-CONV (24:1):

La producción de metano **no varía** cuando se modifica el **tipo de GA** utilizada ni la **proporción entre CC:GA**, lo que permite **flexibilizar** la alimentación de un sistema centralizado.

PARA EL ESCENARIO **CC:GA-CONV (24:1)**:

- La **energía eléctrica** producida mediante cogeneración a partir de biogás podría abastecer a un máximo de **28.000 personas**.

La producción de metano **no varía** cuando se modifica el **tipo de GA** utilizada ni la **proporción entre CC:GA**, lo que permite **flexibilizar** la alimentación de un **sistema centralizado**.

PARA EL ESCENARIO **CC:GA-CONV (24:1)**:

- La **energía eléctrica** producida mediante cogeneración a partir de biogás podría abastecer a un máximo de **28.000 personas**.
- Considerando el contenido de **fósforo** en el digestato, se podría sustituir hasta **7055 Ton de DAP por año** (fosfato de diamonio – 18-46/46-0)



Ministerio
de Educación
y Cultura



Urufertil



Fertilizante Natural



GRACIAS!!!

Resultados del Proyecto: Revalorización del estiércol de ave

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

Guillermo Zinola, María Ayala, Pablo Díaz, Andrea Martínez, Patricia Bovio y Claudia Etchebehere