



# Emisiones en sistemas de tratamiento y manejo de aguas residuales y pulpa de café: referencias para huella de carbono

Presentado por:  
Dr. Jorge Herrera Murillo  
B.Q. Víctor Beita Guerrero  
Lic. José Félix Rojas Marín



# Objetivos del Proyecto

- Determinar los flujos de emisión de GEI, específicamente  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  en sistemas de tratamiento de aguas residuales y de residuos sólidos de pulpa.
- Comparar los flujos de emisión de GEI entre los sistemas convencionales y el sistema de aspersión sobre pasto estrella, para el tratamiento de aguas residuales.
- Efectuar una comparación de las emisiones de GEI entre las técnicas de compostaje y gasificación como métodos de tratamiento de los residuos sólidos de pulpa de café.



# Generalidades

- Es importante destacar que este Proyecto de Investigación se centró en cuantificar los flujos de emisión de GEI únicamente en **dos componentes del proceso de industrialización** del grano de café, a saber:

(1) los sistemas de tratamiento de aguas residuales,

(2) sistemas de tratamiento de los residuos sólidos de pulpa de café.



# Alcance

## Procesos estudiados:

- Sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales:
  - Sistemas de oxidación biológicos (lagunas de oxidación, sedimentadores, tanques igualadores, lechos de lodos, etc.)
  - Reactores anaerobios
  - Sistemas híbridos (utilización de los sistemas convencionales más la técnica de aspersión sobre pasto estrella)
- Sistemas alternativos para el tratamiento de aguas residuales:
  - Sistemas de aspersión sobre pasto estrella



# Alcance

## Detalle del alcance del Proyecto:

- Sistemas para el tratamiento de residuos sólidos de pulpa de café:
  - Método de compostaje (con volteo y sin volteo)
  - Método de gasificación



# Sistemas de tratamiento de Aguas Residuales



# Sitios de muestreo: Aguas Residuales

- Beneficio A



# Factores de emisión para AR por Beneficio

Beneficio	Factores de emisión											
	CH <sub>4</sub> /CO <sub>2eq</sub> (kg/f.p.)		CO <sub>2</sub> (kg/f.p.)		N <sub>2</sub> O/CO <sub>2eq</sub> (kg/f.p.)		CH <sub>4</sub> /CO <sub>2eq</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		N <sub>2</sub> O/CO <sub>2eq</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	
	Factor	±	Factor	±	Factor	±	Factor	±	Factor	±	Factor	±
A	4,46	0,26	0,1064	0,0055	0,00207	0,00012	13,7	1,6	0,327	0,037	0,00638	0,00074
B	22,8	1,3	1,334	0,079	0,00684	0,00029	58,6	6,7	3,43	0,40	0,0176	0,0019
C	14,34	0,81	1,330	0,067	0,00489	0,00023	54,3	6,2	5,04	0,56	0,0185	0,0020
D	2,28	0,18	0,764	0,055	5,23	0,52	10,7	1,7	3,60	0,57	24,6	4,3
E	267	27	15,5	1,5	0,737	0,067	928	131	53,8	7,6	2,56	0,35
F	0,348	0,033	0,380	0,029	0,622	0,062	77	11	84	11	138	20
G	435	44	20,6	2,1	0,1139	0,0072	5804	822	274	39	1,52	0,18
H	1,130	0,082	0,853	0,062	0,302	0,030	8,7	1,1	6,56	0,81	2,33	0,33
I	4,81	0,32	1,017	0,052	0,0784	0,0071	34,4	4,1	7,26	0,82	0,560	0,076

**R. Anaerobios > Convencionales > Híbridos > Aspersión**



# Sistemas de tratamiento de residuos sólidos de pulpa de café



# Compostaje

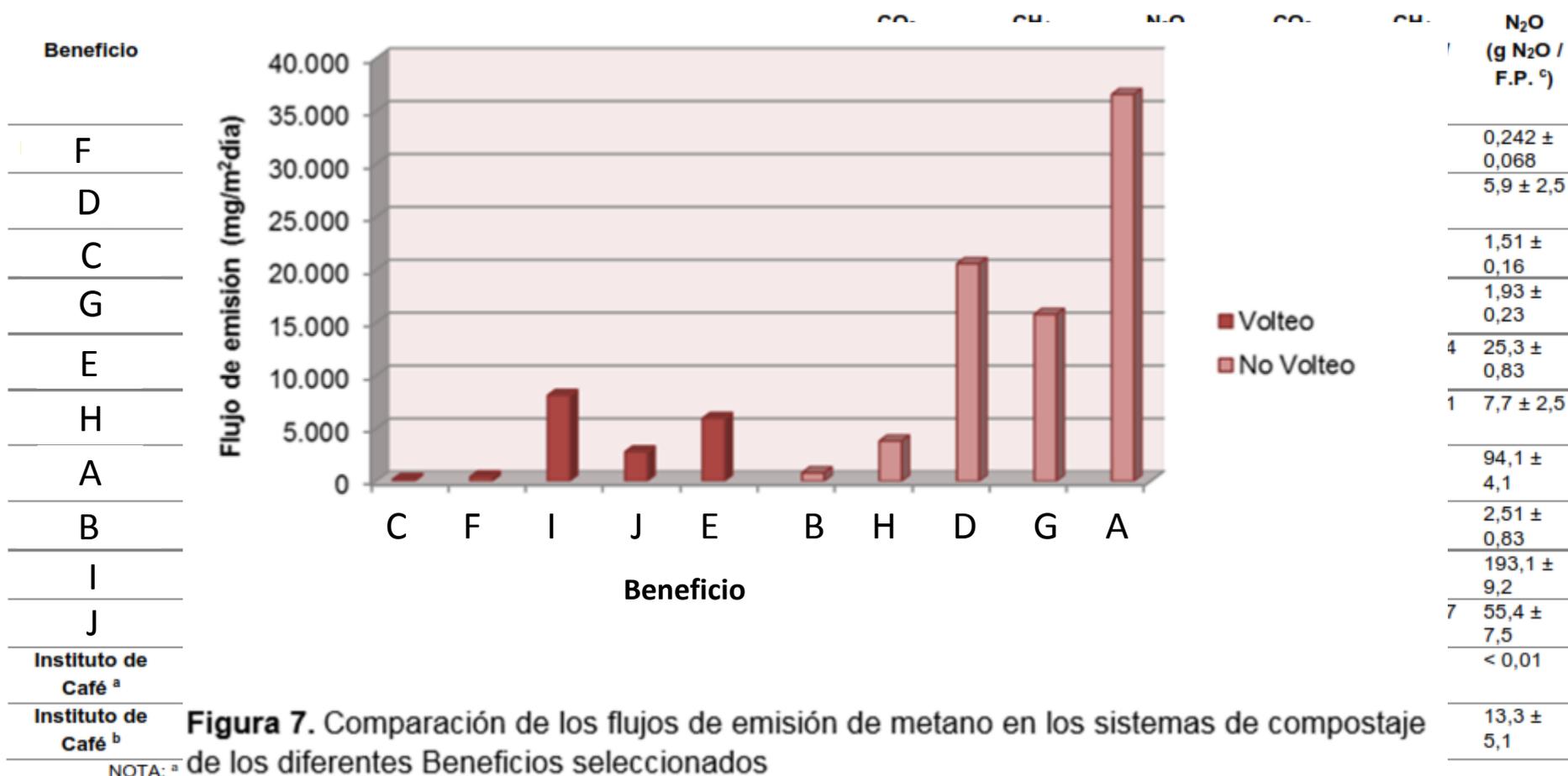


**VS**

# Gasificación



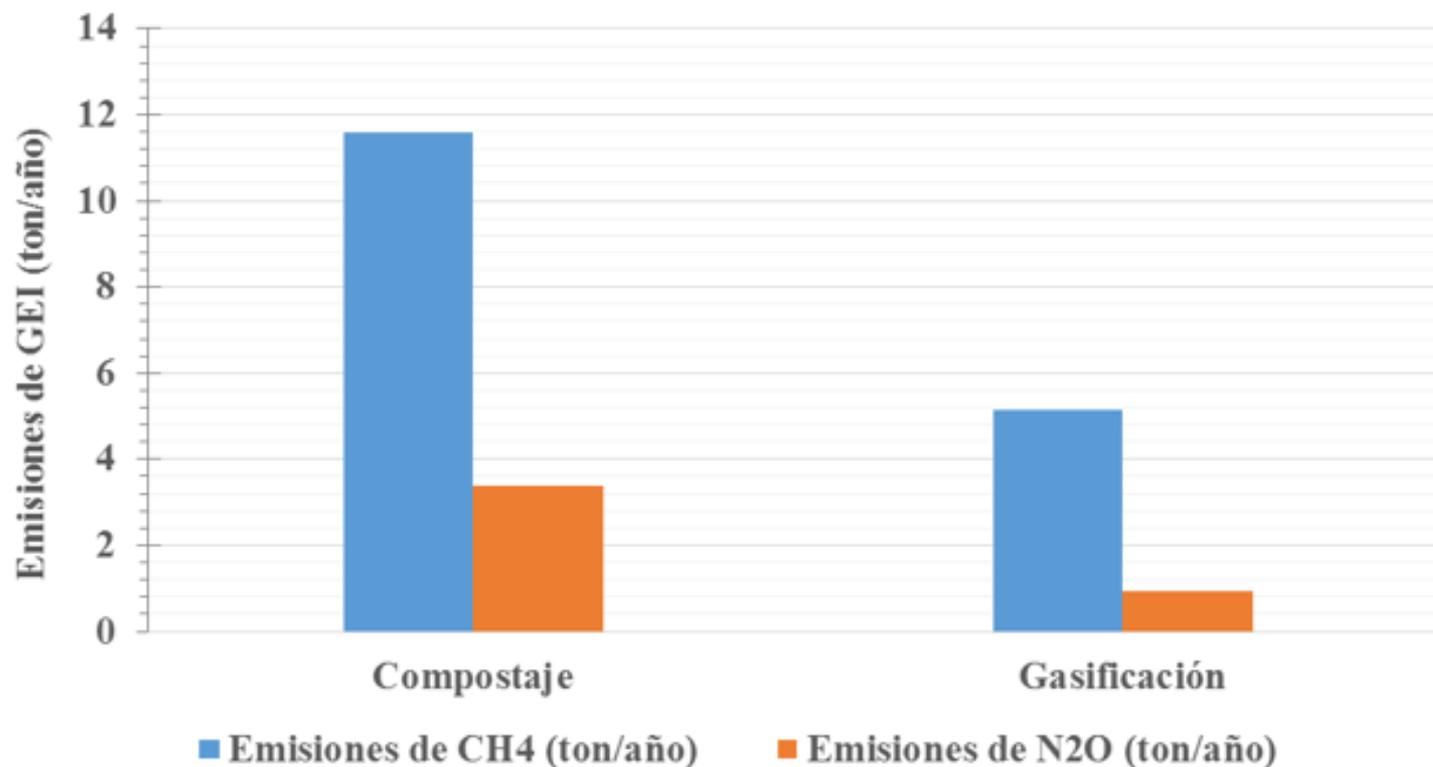
# Resultados: Compostaje



**Figura 7.** Comparación de los flujos de emisión de metano en los sistemas de compostaje de los diferentes Beneficios seleccionados



# Comparación de Emisiones GEI



# Factores de Emisión Globalizados para Compostaje

**Tabla 7.** Tabla comparativa de las emisiones de GEI individuales y en términos de CO<sub>2</sub> eq para un caso hipotético de un proceso de Beneficiado de café

Descripción	Compostaje	Gasificación
Café procesado (fc <sup>1</sup> )	100 000	100 000
Residuos de broza por temporada (ton)	10 520	10 520
Residuos de broza por temporada (kg)	10 520 000	10 520 000
FE de CH <sub>4</sub> (g/kg de pulpa) <sup>2</sup>	1,1	0,49
FE de N <sub>2</sub> O (g/kg de pulpa) <sup>2</sup>	0,32	0,088
FE de CO <sub>2</sub> (g/kg de pulpa) <sup>2</sup>	379	6489
Emisiones de CH <sub>4</sub> (ton/año)	11,57	5,15
Emisiones de N <sub>2</sub> O (ton/año)	3,37	0,93
Emisiones de CO <sub>2</sub> (ton/año)	3 987	68 264
Emisiones totales CO <sub>2</sub> eq (ton/año)	<b><u>5 274</u></b>	<b><u>68 660</u></b>

## Factores de emisión IMN:

- Metano en compost:  
4 g CH<sub>4</sub> / kg de desecho sólido
- Óxido nitroso en compost:  
0,3 g N<sub>2</sub>O/ kg de desecho sólido

<sup>1</sup> Fanega de café, <sup>2</sup> Factores de emisión promedio

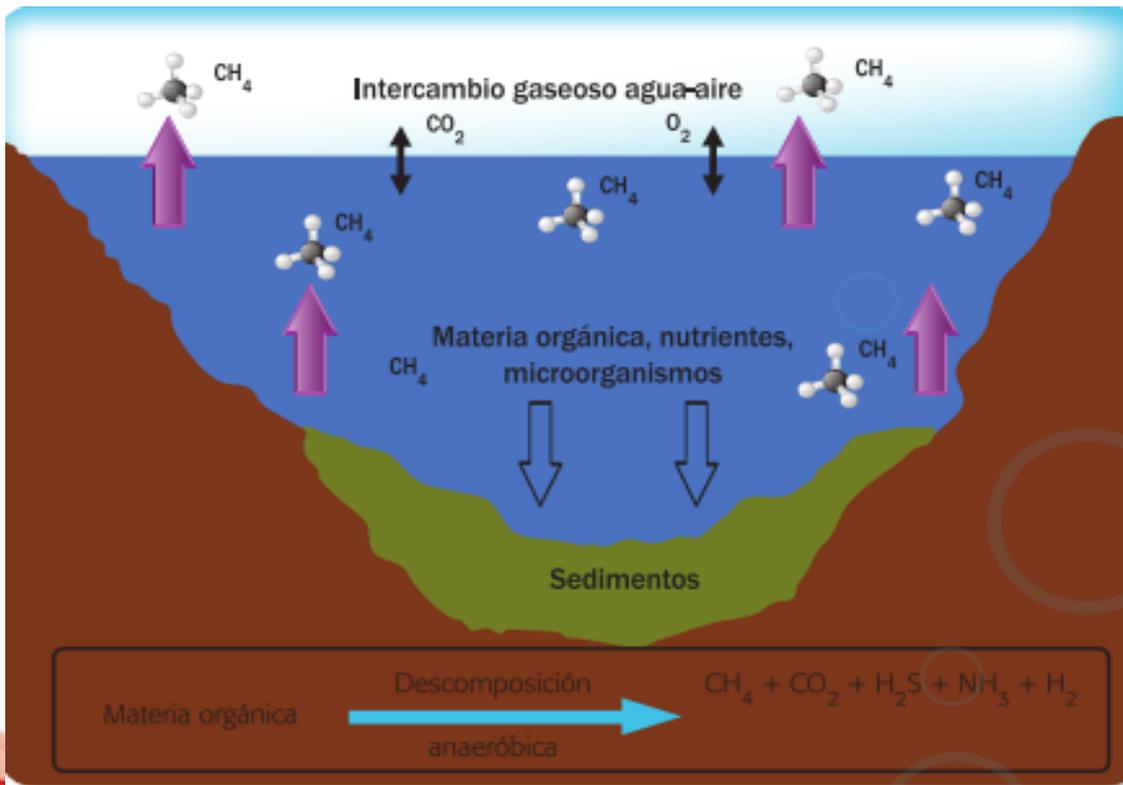


# Metodología del Proyecto

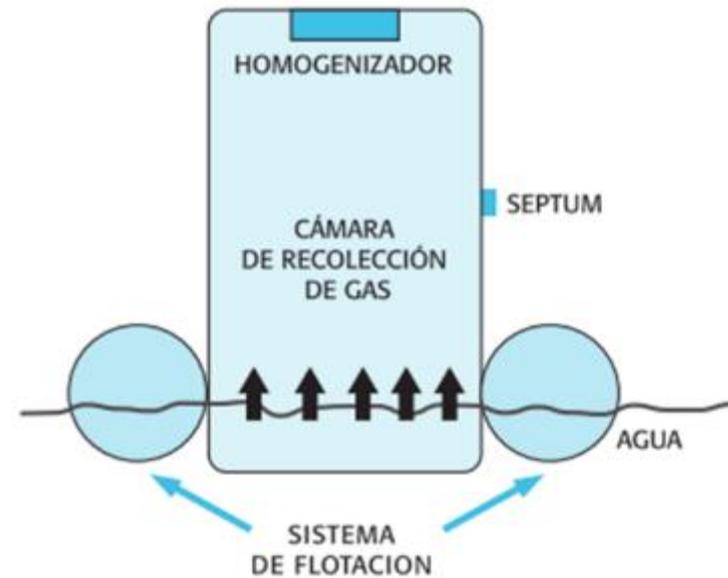


# Metodología

## Flujos de emisión de GEI en sistemas acuáticos

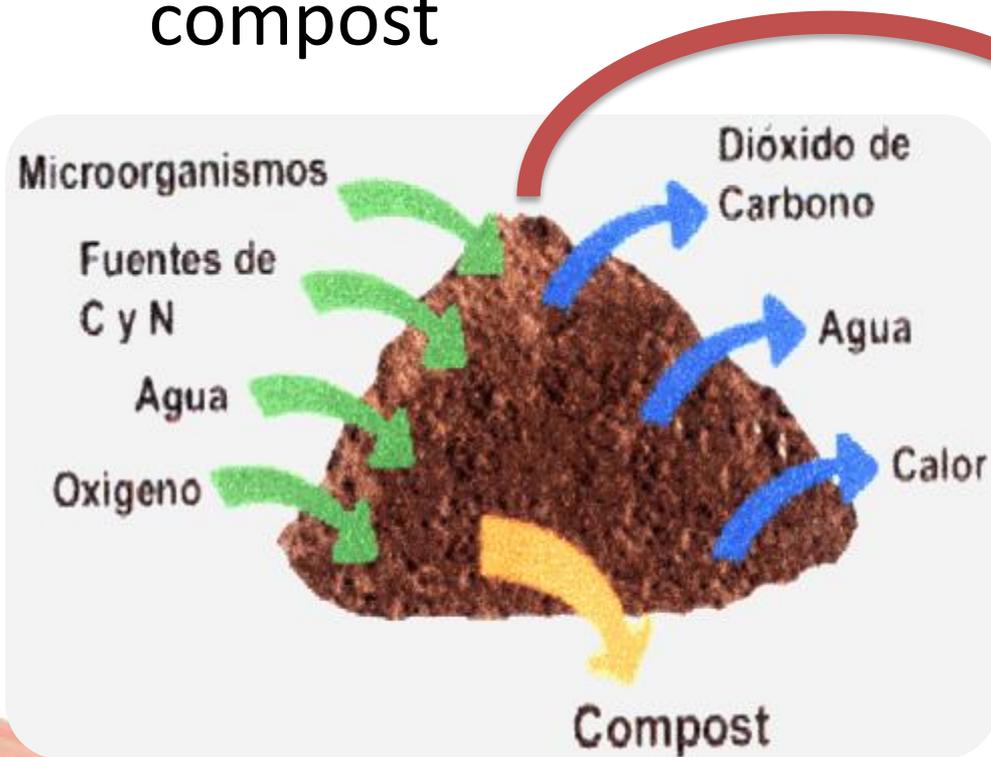


## Cámara Flotantes



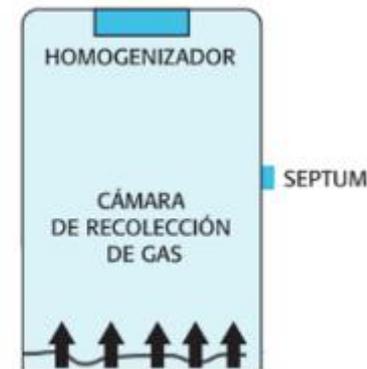
# Metodología

## Flujos de emisión de GEI en montículos de compost

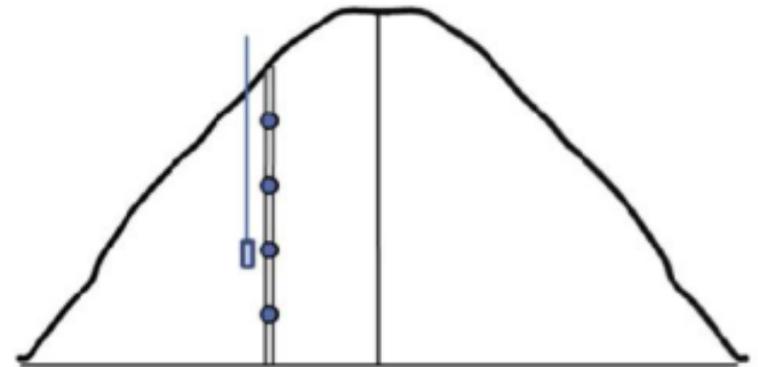


$\text{CH}_4$   
 $\text{N}_2\text{O}$

A 3D white figure holding a large orange question mark, symbolizing uncertainty or a question about the gas emissions.



# Metodología



## Muestreo con sonda



# Metodología

**Beneficios seleccionados para el análisis de las emisiones provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales**

Beneficio	Unidades de emisión muestreadas	Número de muestras	Análisis realizados CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub> -N <sub>2</sub> O	Total de análisis realizados*
Beneficio A	Lagunas 1 y 2	48	576	<b>9 048*</b>
Beneficio B	Lagunas 1 y 8, Campo Aspersión	168	2 016	
Beneficio C	Sedimentadores, tanque igualador, laguna oxidación, lecho de lodos	148	1 776	
Beneficio D	Tanque temporal, sedimentador, laguna oxidación, campo aspersión	66	792	
Beneficio E	Sedimentador secundario, reactor, laguna de oxidación	93	1 116	
Beneficio F	Lecho de lodos, sedimentadores, tanque igualador, reactor	87	1 044	
Beneficio G	Campo de aspersión	48	576	
Beneficio H	Campo de aspersión	48	576	
Beneficio I	Campo de aspersión	48	576	



# Metodología

**Beneficios seleccionados para el análisis de las emisiones provenientes de sistemas de tratamiento de residuos sólidos (pulpa de café)**

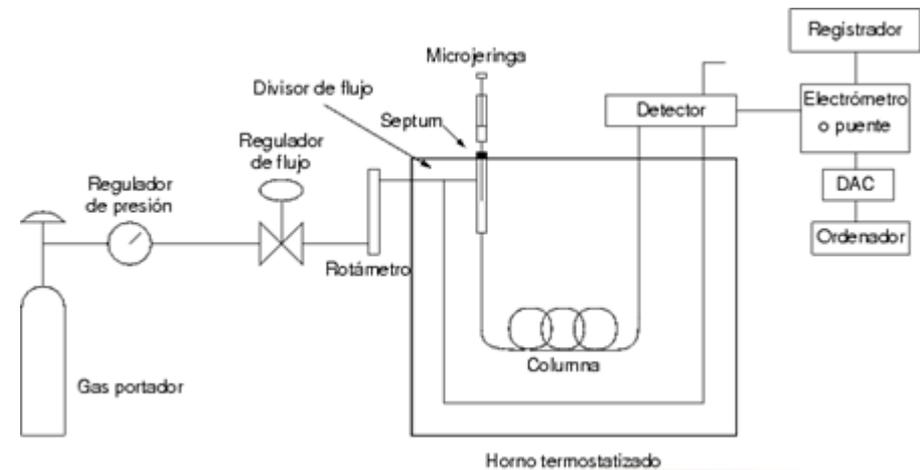
**- Compostaje**

Beneficio	Zona productiva	Altitud de la zona de producción (msnm)	Duración del proceso de degradación	Cantidad de muestreos	Cantidad de muestras	Total de muestras obtenidas	Total de análisis realizados
Beneficio A	Alta	1 374	11 semanas	7	88	804	<b>2412</b>
Beneficio B	Alta	1 308	9 semanas	8	100		
Beneficio C	Media	1 190	4 semanas	3	12		
Beneficio D	Media	1 086	12 semanas	9	112		
Beneficio E	Media	742	12 semanas	8	96		
Beneficio F	Media	1 264	6 semanas	4	48		
Beneficio G	Media	1 016	7 semanas	6	144		
Beneficio H	Media	1 300	11 semanas	8	84		
Beneficio I	Baja	825	4 semanas	3	12		
Beneficio J	Baja	712	12 semanas	9	108		



# Metodología

- Análisis de Laboratorio:



# Conclusiones

1. Los factores de emisión generados en este proyecto presentan una alta especificidad, dadas las características de operación tan particulares de cada uno de los Beneficios. Es por esta razón que el uso de dichos factores se recomienda únicamente para el Beneficio a partir del cual fue elaborado.
2. El campo de aspersión sobre pasto estrella resultó ser una muy buena técnica para el tratamiento de las aguas residuales en términos de las emisiones de GEI.



# Conclusiones

3. En los sistemas de compostaje se identificó una oportunidad de mejora en términos de factor de emisión utilizado en el sector.
4. Los estudios preliminares en el sistema de gasificación mostraron una reducción en las emisiones de metano y óxido nitroso.



# Recomendaciones

1. Extender los estudios a otros beneficios interesados en desarrollar sus propios factores.
2. Estudiar a profundidad las emisiones de GEI en cada una de las unidades de los sistemas de tratamiento, adicionando otras posibles variables que se correlacionen mejor con los flujos de emisión.
3. Realizar un estudio más exhaustivo para los sistemas de gasificación, experimentando con otras mezclas de combustibles y variables operativas.
4. Mejorar las prácticas de composteo para lograr una mayor disminución en el FE del sector.

