



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

UNA
UNIVERSIDAD NACIONAL
COSTA RICA



ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE GEI GENERADAS EN EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE BENEFICIADO DE CAFÉ EN COSTA RICA

BSc. Víctor Hugo Beita Guerrero, *MSc.S*
Lic. José Félix Rojas Marín, *MSc.S*



Metodología

- ❑ El ICAFE actualmente cuenta con más de 216 firmas Beneficiadoras
- ❑ El grupo muestral representa aproximadamente el 5 % en términos de la totalidad de firmas representas
- ❑ El grupo muestral representa aproximadamente el 60 % en términos de la cantidad de producción
- ❑ La selección se llevó a cabo tomando en consideración principalmente, la capacidad de mano de obra para llevar a cabo los trabajos de campo, así como
- ❑ La capacidad por parte del Laboratorio de Análisis Ambiental para poder llevar a cabo el análisis de las muestras y procesamiento de los resultados (En total se han analizado más de 6 600 muestras)



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

INSTITUTO DEL CAFÉ DE COSTA RICA

Metodología



I Parte:

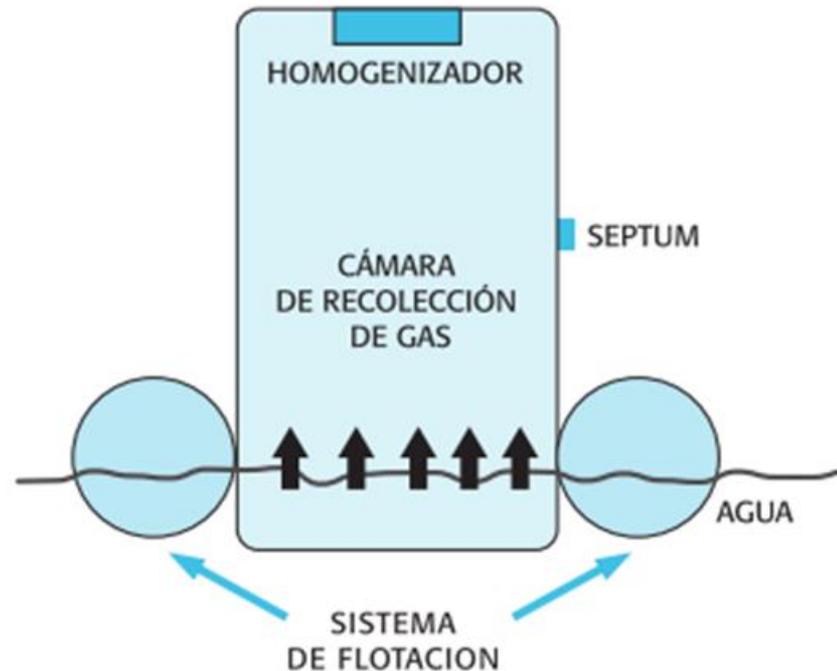
Emisiones asociadas al manejo de las aguas residuales

Metodología

Beneficio	Altitud (msnm)	Clasificación por zona productiva	Unidades de emisión	Cantidad de muestras
1	830	Baja	Lagunas de oxidación	96
2	724	Baja	Lagunas de oxidación y Campo Aspersión	224
3	732	Media	Sedimentadores, tanque igualador, laguna oxidación, lecho de lodos	160
4	1010	Media	Tanque igualador, sedimentadores, laguna oxidación, campo aspersión	132
5	1089	Media	Sedimentadores, reactor, laguna de oxidación	176
6	1008	Media	Lecho de lodos, sedimentadores, tanque igualador, reactor	232
7	1262	Media	Campo de aspersión	64
8	1277	Media	Campo de aspersión	64
9	1374	Alta	Campo de aspersión	64

Metodología

Los flujos de emisión se determinaron por medio de la técnica de cámara flotantes



Metodología



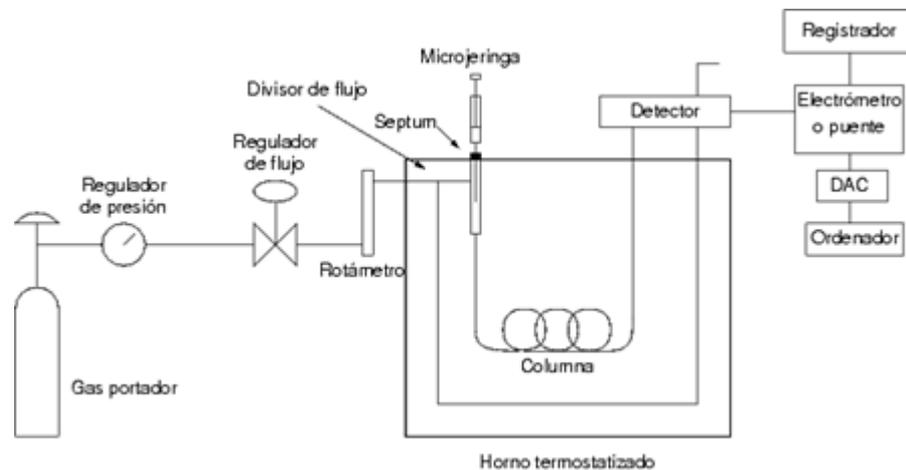
Metodología

- Cada una de las unidades se dividió en número estadísticamente representativo de puntos de muestreo
- En cada punto de muestreo se tomaron 4 submuestras en intervalos de tiempo no menores a 10 minutos.
- La toma de las muestras se llevó a cabo por medio de una jeringa de 12 mL y se almacenó en tubos de vidrio al vacío
- Se analizaron por cromatografía de gases:

CH_4	→	FID
N_2O	→	μECD
CO_2	→	IR no dispersivo

Metodología

- Análisis



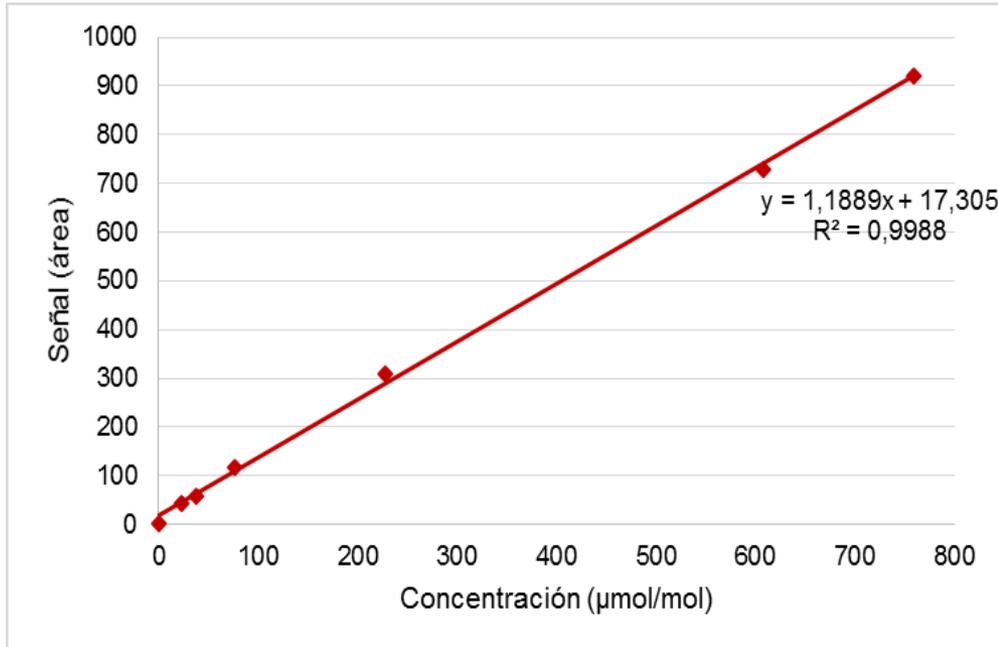


Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

Metodología



- Curva de calibración



476-1

AIR LIQUIDE Air Liquide America Specialty Gases LLC **Scott**

CERTIFIED MASTER CLASS
Single-Certified Calibration Standard

6141 EASTON ROAD, BLDG 1, PLUMSTEADVILLE, PA 18949-0310 Phone: 800-331-4953 Fax: 215-766-7226

CERTIFICATE OF ACCURACY: Certified Master Class Calibration Standard

Product Information	Customer
Document #: 54769182-001	FUNDAUNA NATIONAL UNIVERSITY
Item No.: M2712-P-7AL	JOSE ROJAS/PO 18178
P.O. No.: 18178	CENTRO COMERCIAL PLAZA HE
Cylinder Number: FF23550	1ST FLOOR
Cylinder Size: 7AL	00000 HEREDIA
Certification Date: 25Apr2014	COSTA RICA
Expiration Date: 26Apr2017	
Lot Number: PLU0272240	

CERTIFIED CONCENTRATION

Component Name	Concentration (Moles)	Accuracy (+/-%)
METHANE	760 PPM	2
AIR	BALANCE	

TRACEABILITY

Traceable To
Scott Reference Standard



UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA

Metodología

Determinación de la tasa de emisión

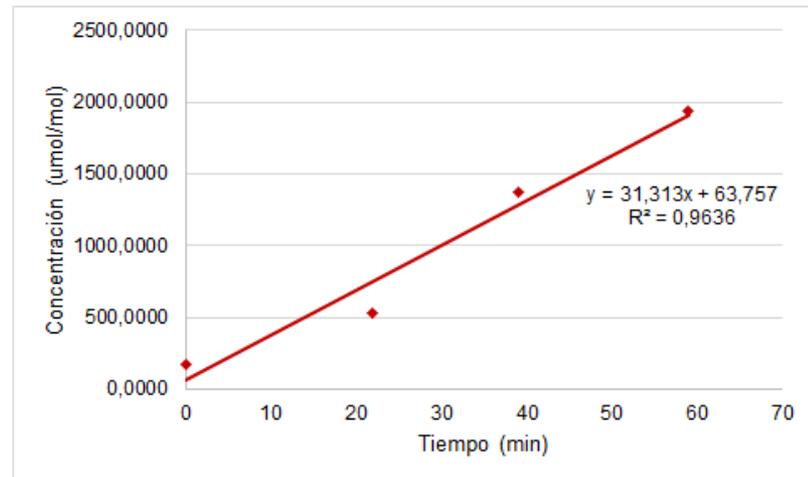
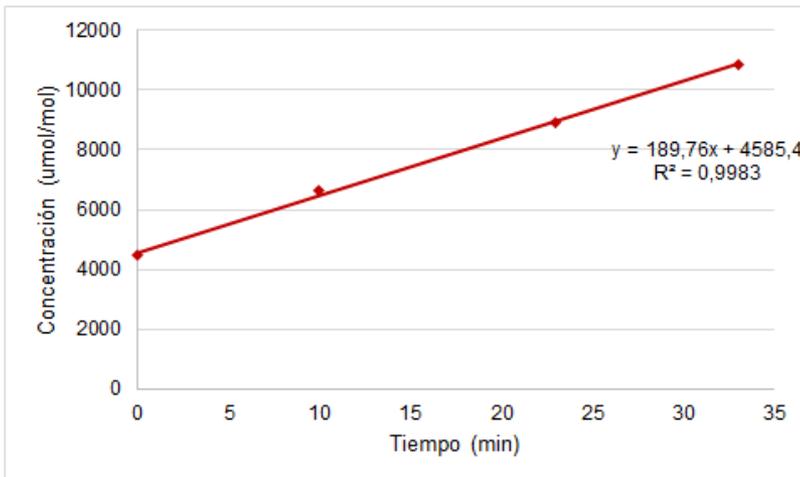
$$J = \frac{dC}{dt} \frac{M}{V_0} \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} H$$

Donde:

- dC/dt (mol h^{-1}) es la tasa de cambio de la concentración
- M (mg mol^{-1}) es la masa molar del CH_4
- P (Pa) es la presión atmosférica en el sitio de muestreo
- T (K) es la temperatura absoluta registrada durante el tiempo de muestreo
- V_0 (m^3), P_0 (Pa), T_0 (K) es el volumen molar, la presión atmosférica y la temperatura absoluta a condiciones estándar, respectivamente
- H (m) es la altura efectiva de la cámara sobre la superficie de agua

Metodología

Determinación de la tasa de emisión



FLUJO DE EMISIÓN

Valor	Incertidumbre	Unidades
58656,9	1439,0	mg/(m ² xdía)

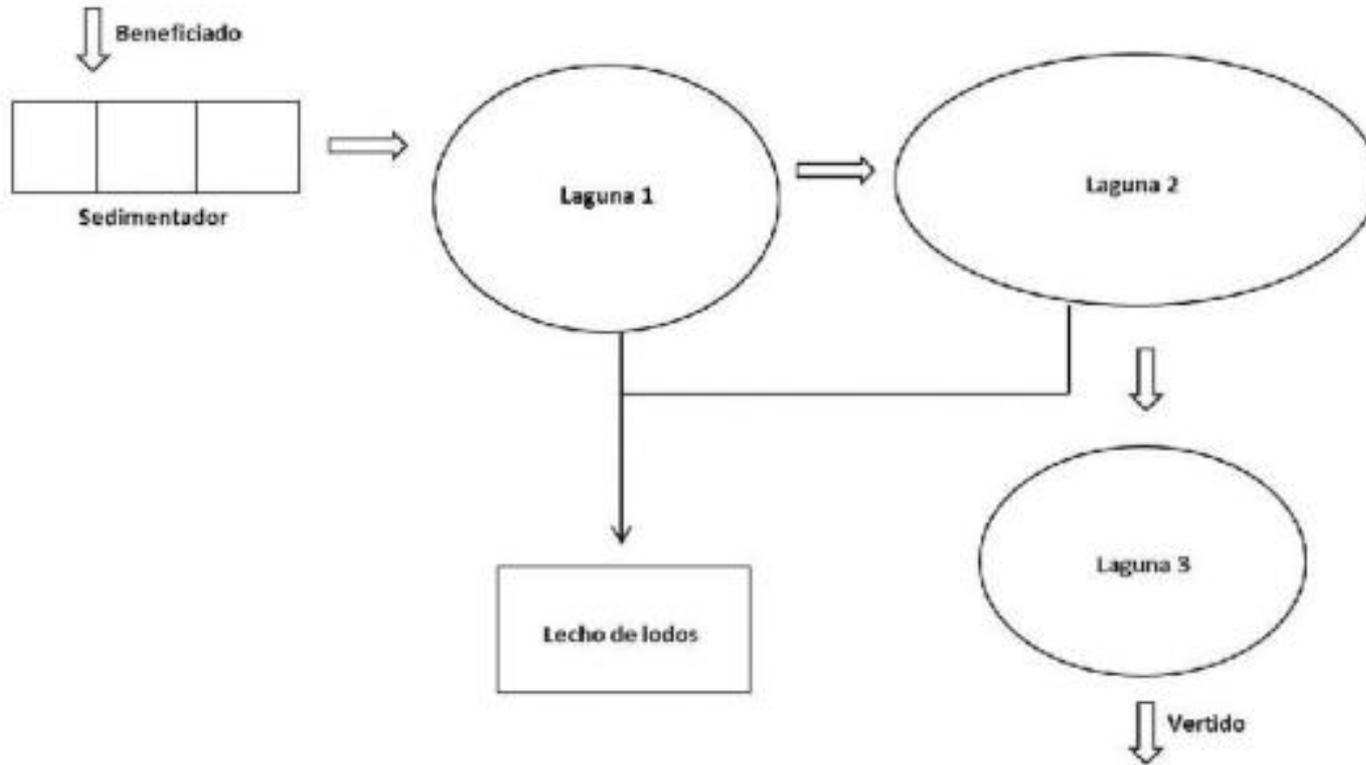
FLUJO DE EMISIÓN

Valor	Incertidumbre	Unidades
9775,4	797,0	mg/(m ² xdía)

NOTA: La incertidumbre está calculada como el límite de repetibilidad multiplicado por 2 para un nivel de confianza del 95%

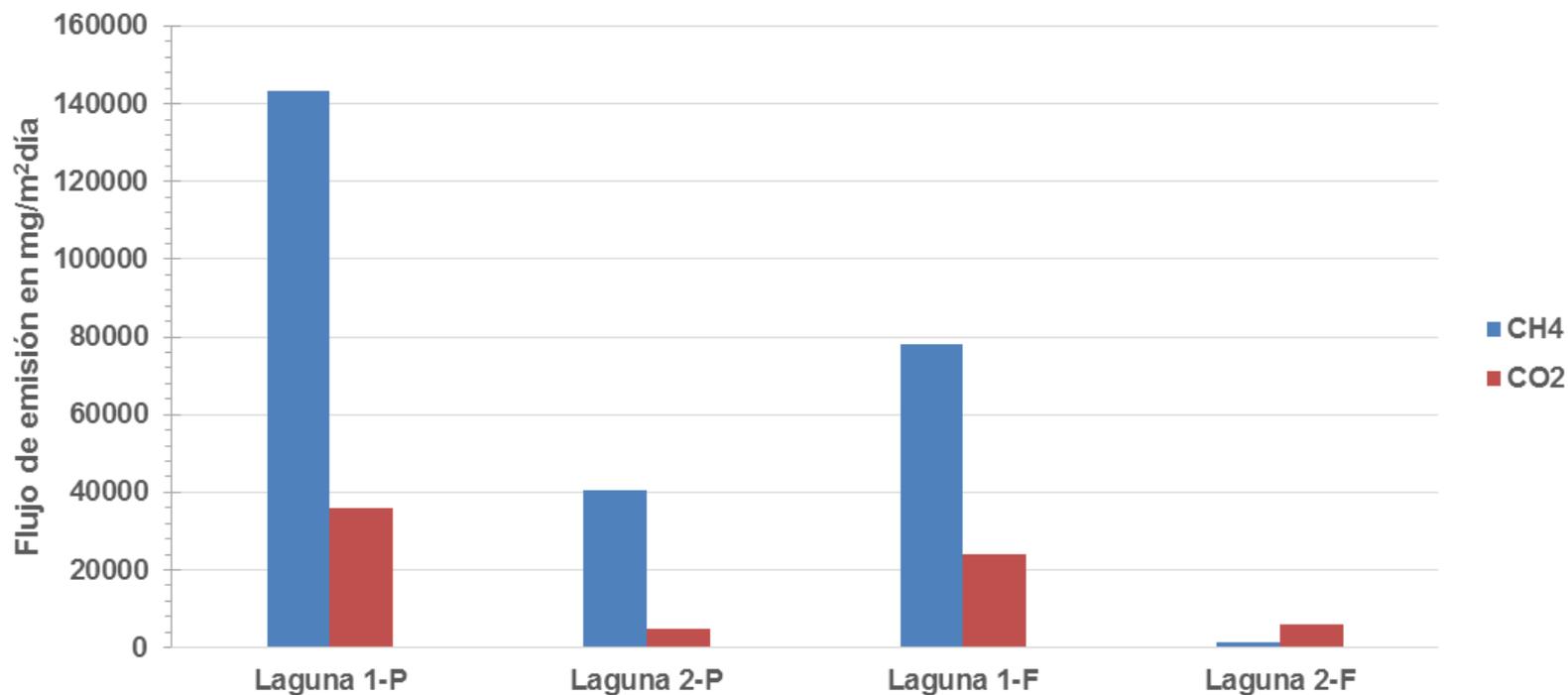
Resultados

Caso N° 1: Sistema de lagunaje



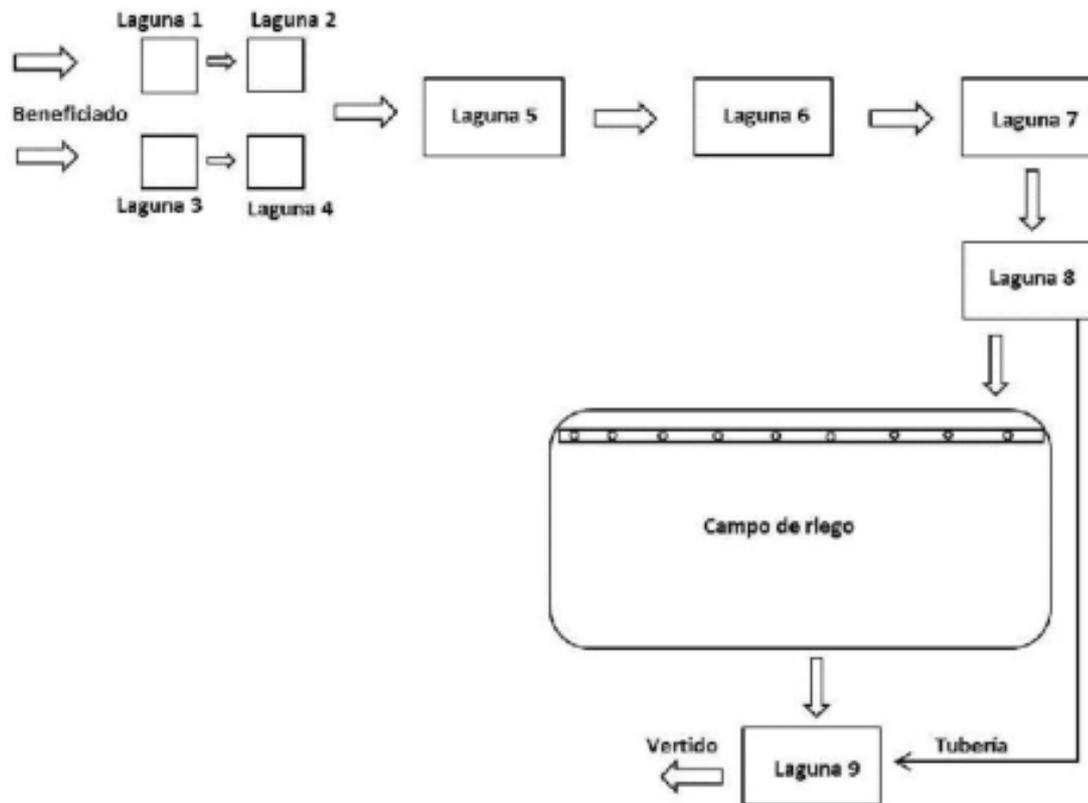
Resultados

Caso N° 1: Sistema de lagunaje



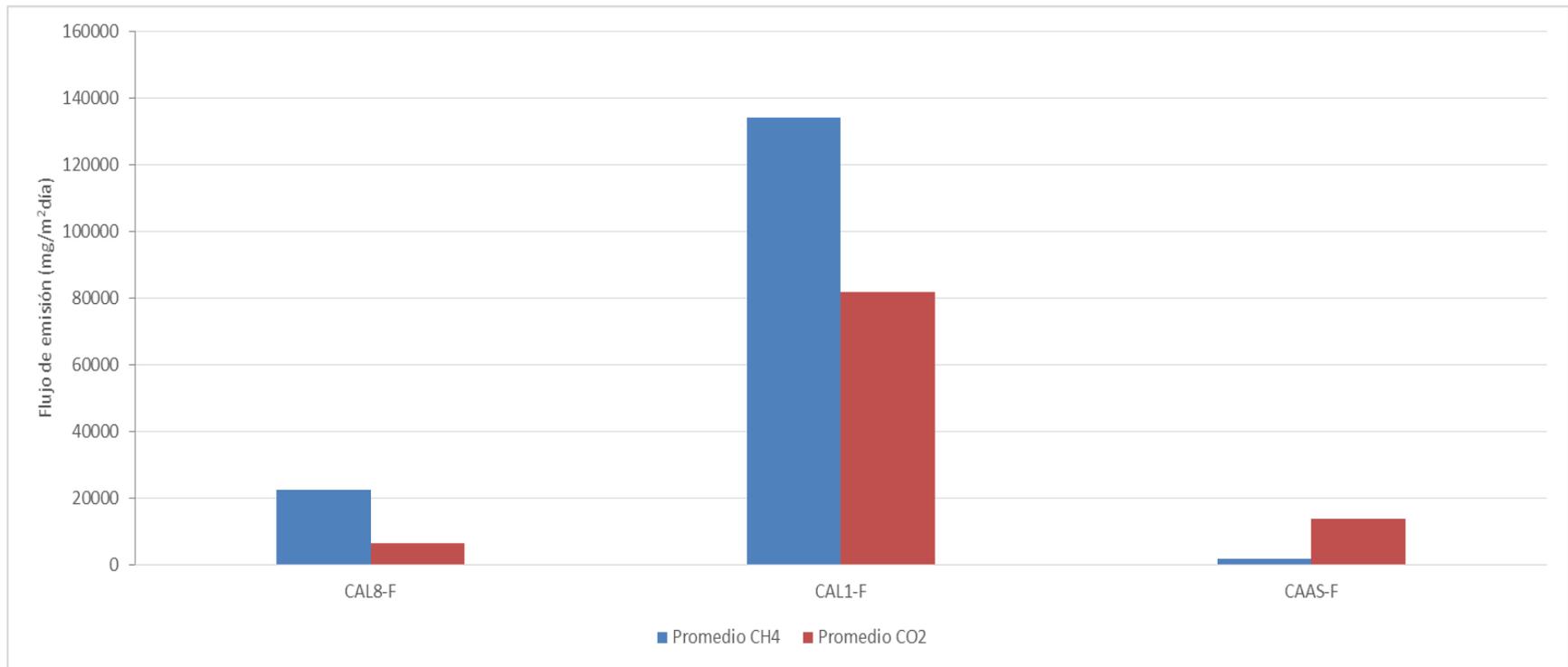
Resultados

Caso N° 2: Sistema híbrido



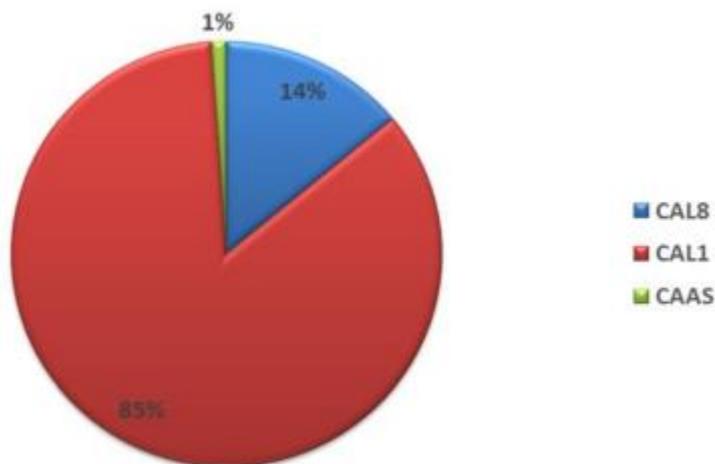
Resultados

Caso N° 2: Sistema híbrido

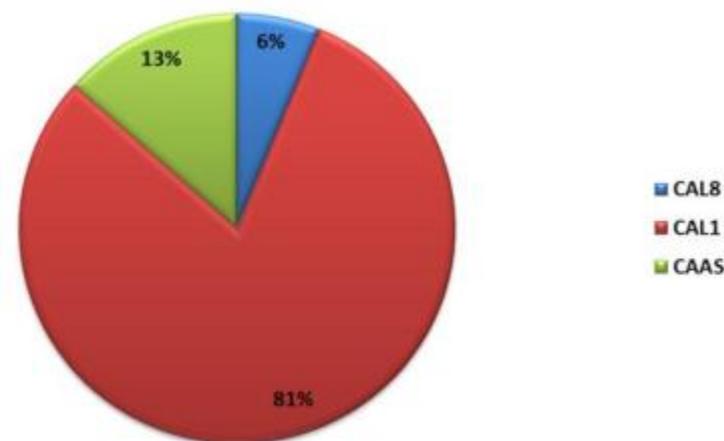


Resultados

Caso N° 2: Sistema híbrido



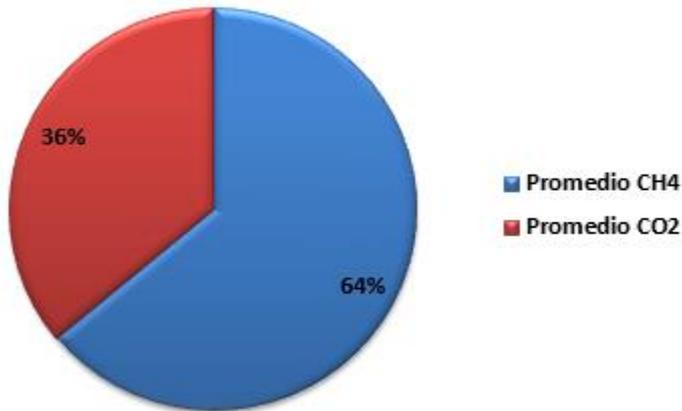
Distribución de las emisiones de CH₄



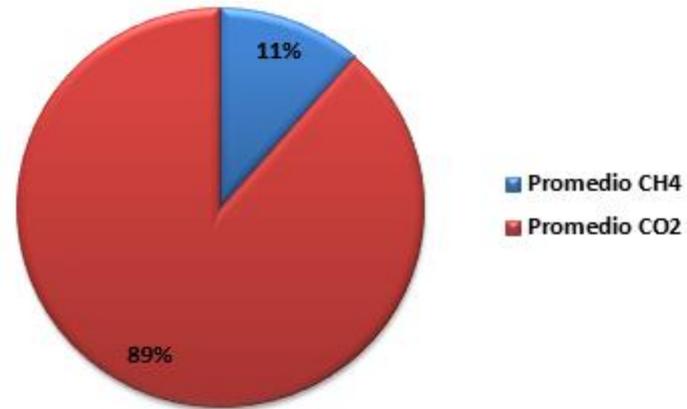
Distribución de las emisiones de CO₂

Resultados

Caso N° 2: Sistema híbrido



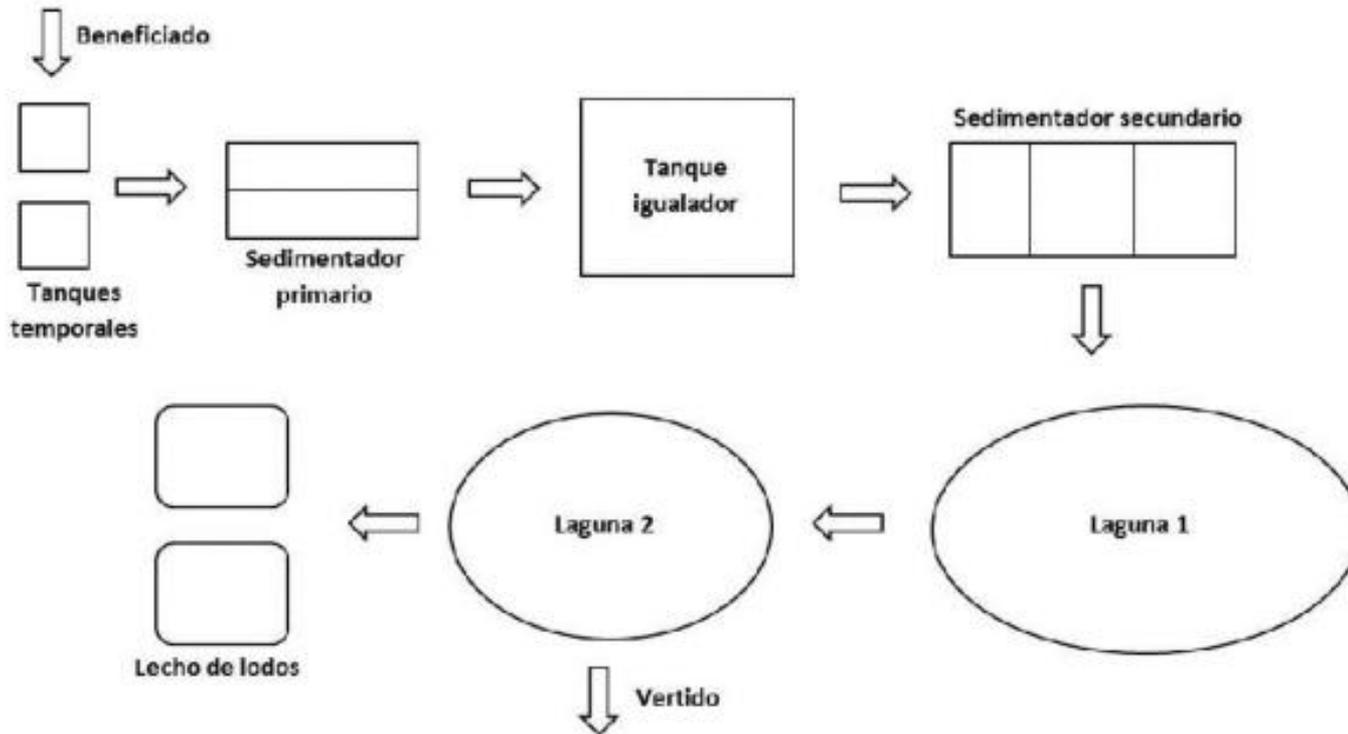
Emissiones en el sistema de oxidación



Emissiones en el sistema de aspersión

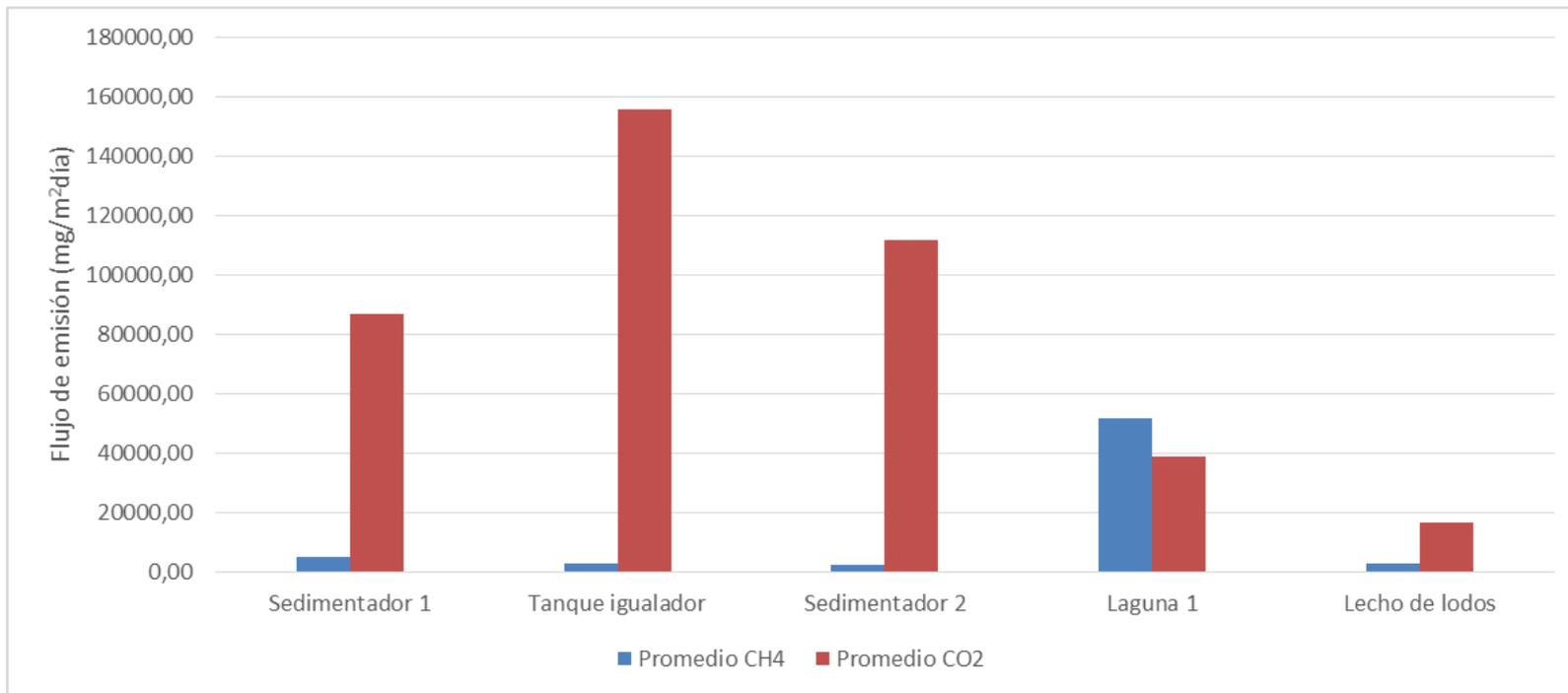
Resultados

Caso N° 3: Sistema con muchas unidades oxidativas



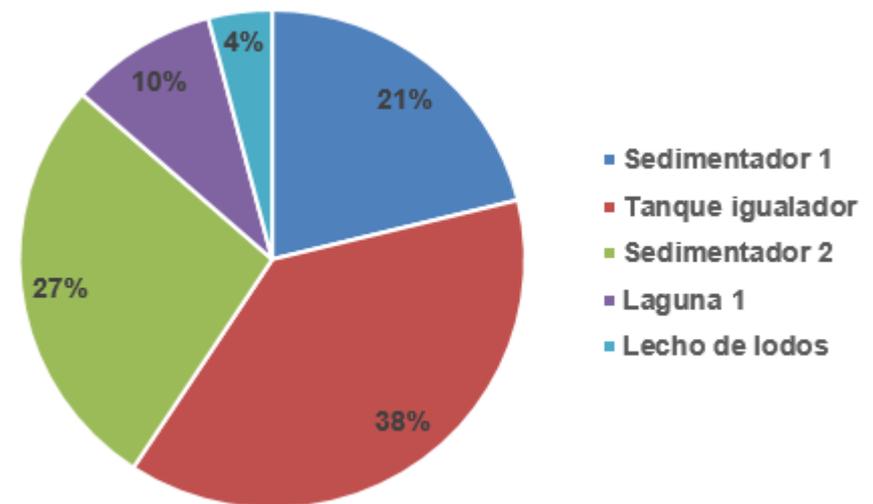
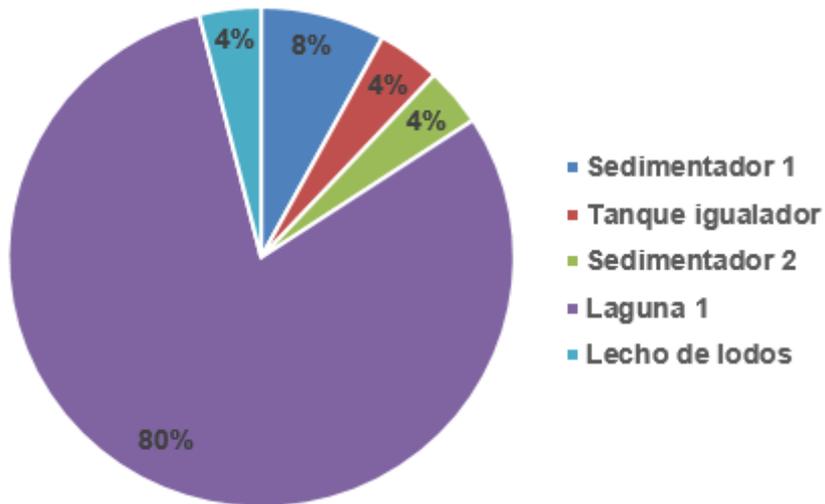
Resultados

Caso N° 3: Sistema con muchas unidades oxidativas



Resultados

Caso N° 3: Sistema con muchas unidades oxidativas

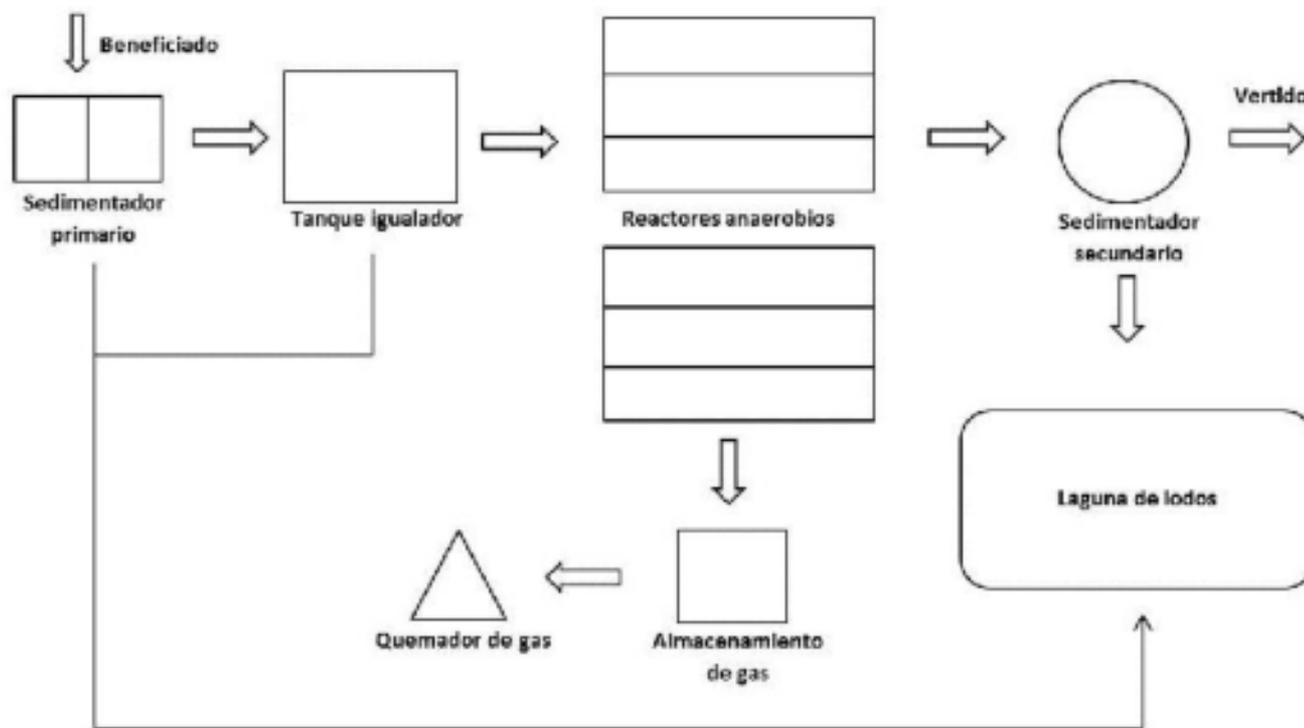


Distribución de las emisiones de CH₄

Distribución de las emisiones de CO₂

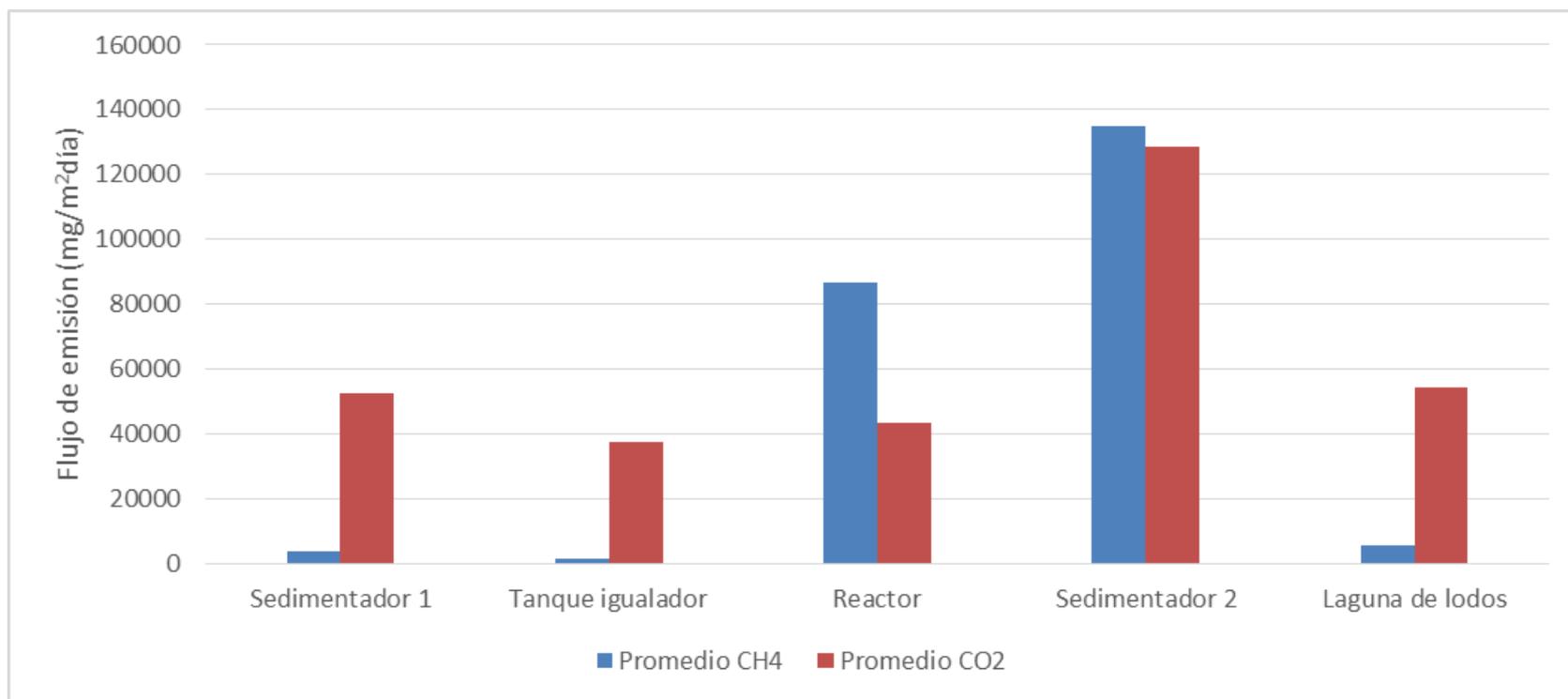
Resultados

Caso N° 4: Reactor anaerobio



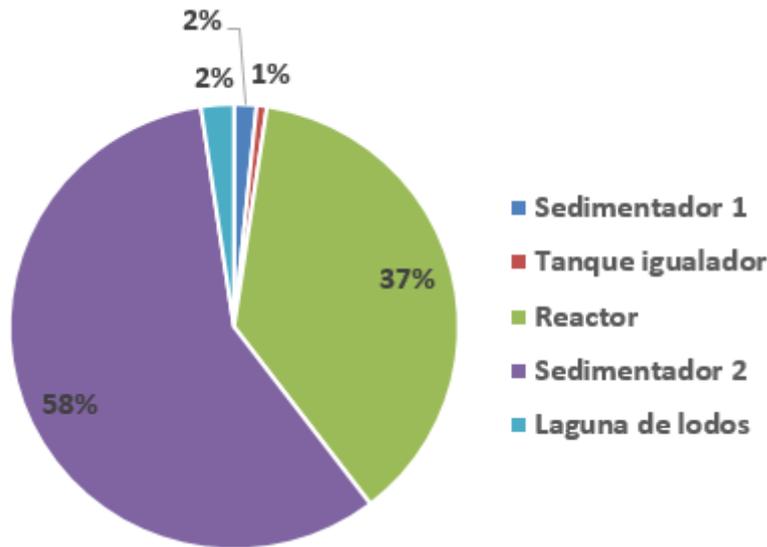
Resultados

Caso N°4: Reactor anaerobio

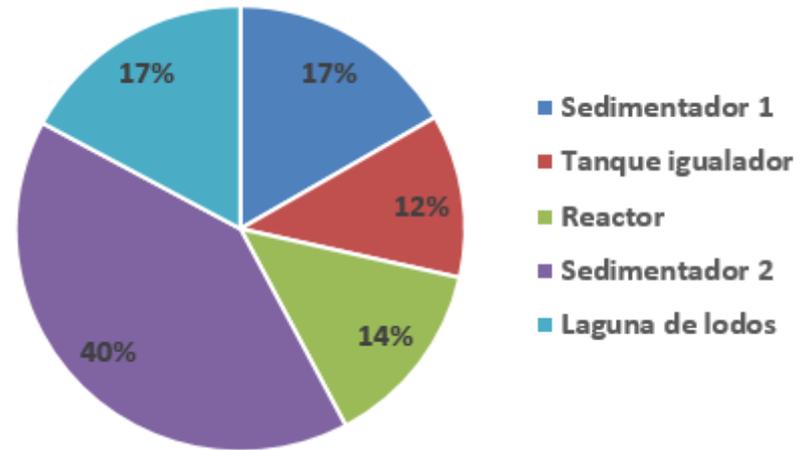


Resultados

Caso N° 4: Reactor anaerobio



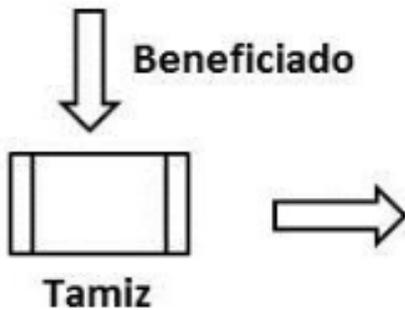
Distribución de las emisiones de CH₄



Distribución de las emisiones de CO₂

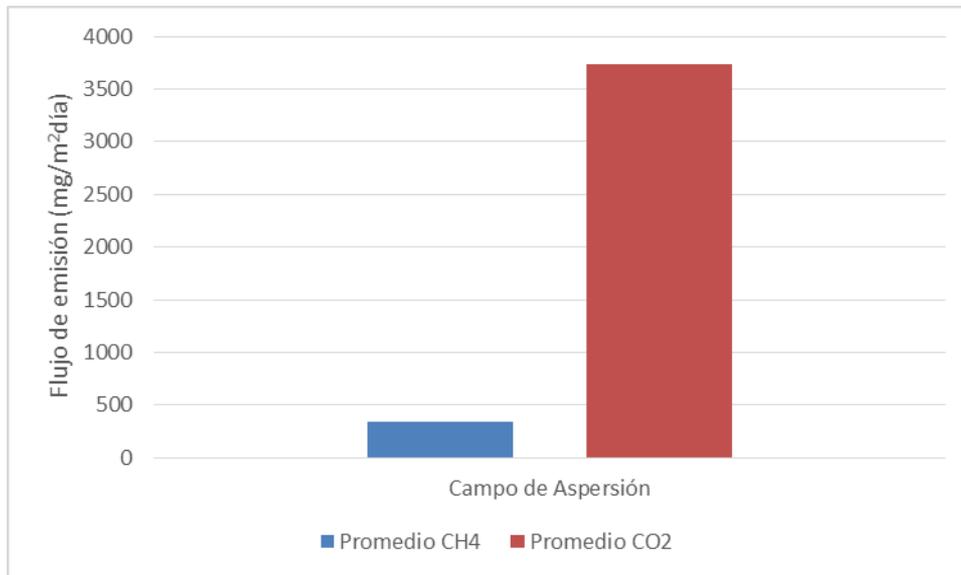
Resultados

Caso N° 5: Sistema de aspersión

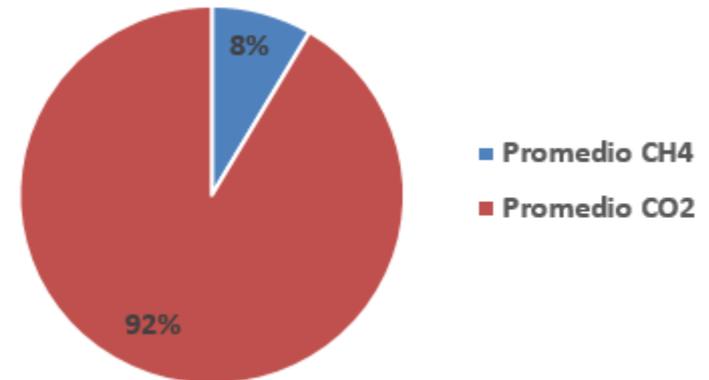


Resultados

Caso N° 5: Sistema de aspersión



Emisiones de CH₄ y CO₂



Distribución de las emisiones

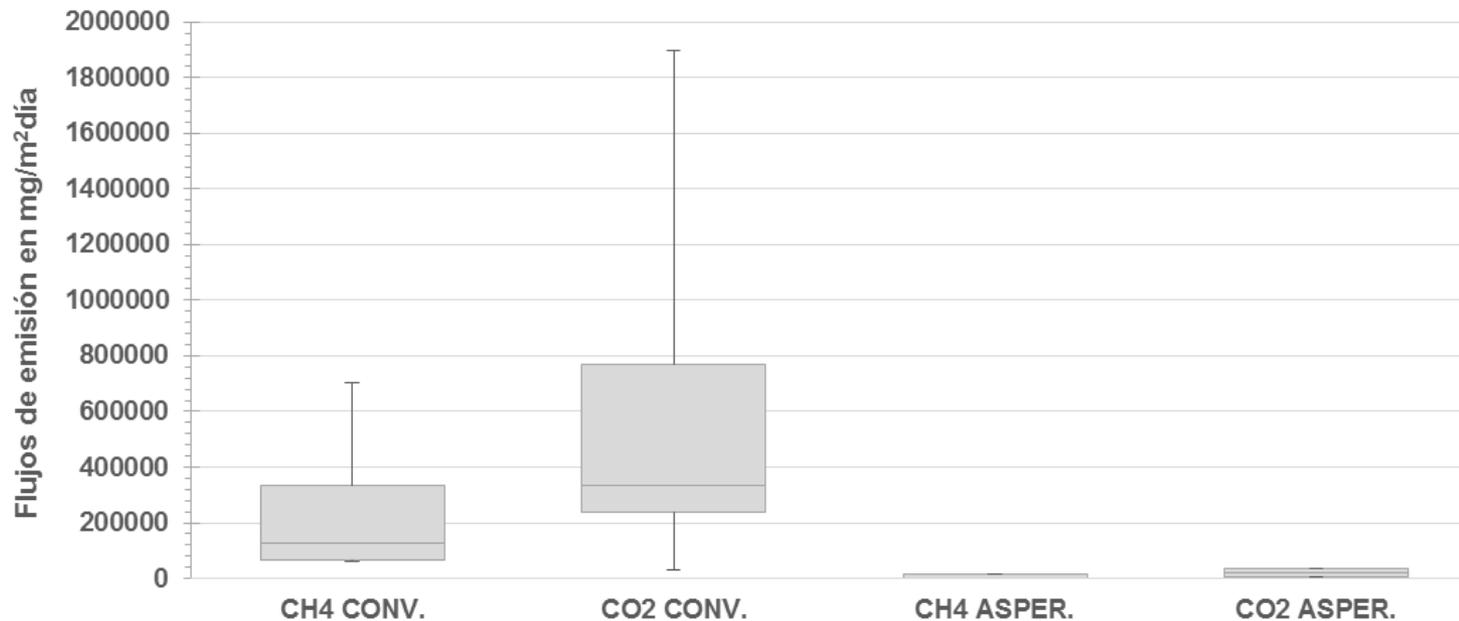
Resultados

Comparación de las emisiones totales por año, asumiendo que los datos actuales fueran los promedios ponderados de emisión para cada uno de los Beneficios



Resultados

Comparación de las emisiones totales por año, asumiendo que los datos actuales fueran los promedios ponderados de emisión para cada uno de los Beneficios





Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

Resultados



Levantamiento de los factores de emisión

$$\text{Factor Emisión} = \frac{\text{FE} \left(\frac{\text{masa contaminante}}{\text{m}^2\text{día}} \right) * A (\text{m}^2) * t (\text{día})}{\text{Fanegas procesadas}}$$



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA

Metodología



II Parte:

Emisiones asociadas al manejo de los residuos de pulpa



Metodología



COMPOSTAJE

Metodología

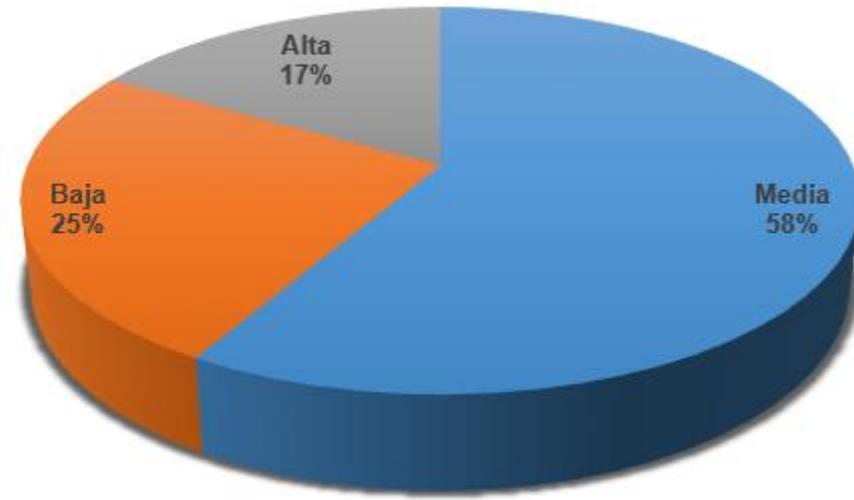
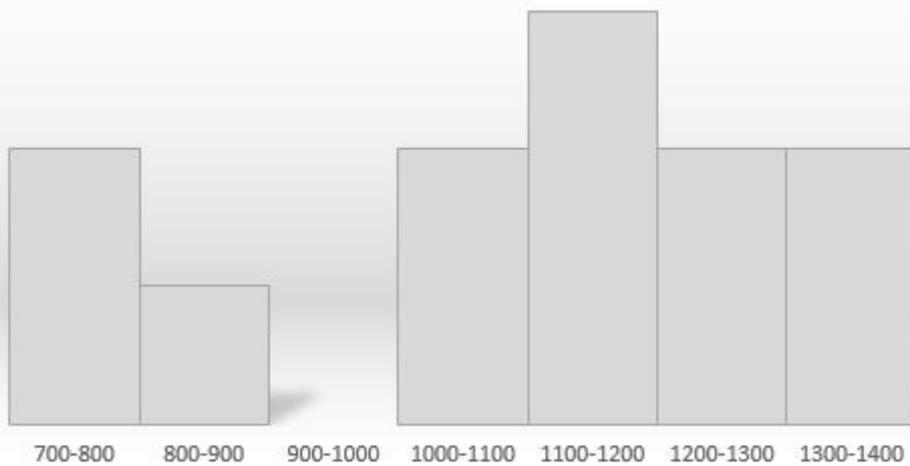
Tabla 1. Beneficios seleccionados para la determinación de los flujos de emisión de GEI en sistemas de compostaje como método de tratamiento de los residuos de pulpa

Beneficio	Zona productiva	Altitud de la zona de producción (msnm)
1	Alta	1 374
2	Alta	1 308
3	Media	1190
4	Media	1 086
5	Media	742
6	Media	1 264
7	Media	1 016
8	Media	1 300
9	Baja	825
10	Baja	712

Criterios de selección:

- Zona geográfica
- Altitud de la zona
- Capacidad de procesamiento

Metodología



Gráficos de distribución

Técnicas:

- Volteo
 - No volteo
- } 50 % c/u



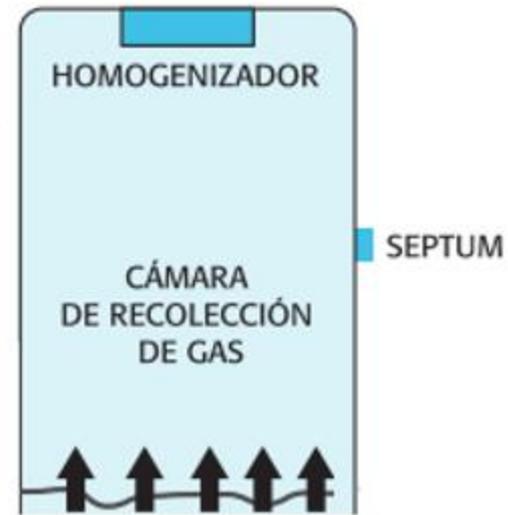
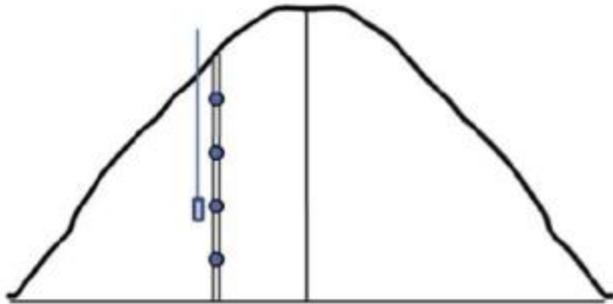
Icafe
Instituto del Café de Costa Rica



Metodología

- ❑ Se prepararon montículos con aproximadamente 500 kg de material, tratando de realizar una distribución en forma cónica
- ❑ El montículo se cubrió con una lona de vinil sobre la cual se acopló la cámara de homogenización de tal manera que el flujo fuera canalizado hacia esta
- ❑ Las muestras fueron tomadas tres veces al día (temperaturas baja, media y alta) en períodos de 30 minutos, durante el cual se tomaron 4 sub-muestras a los siguientes tiempos: 0 – 10 – 20 – 30 min.
- ❑ Las muestras fueron tomadas por medio de jeringas de polietileno de 12 mL.
- ❑ Las muestras se recolectaron en tubos de vidrio de 10 mL al vacío, marca Vacutainer (sin aditivos)

Metodología



Toma de las muestras en sistemas de compostaje

Metodología

☐ Cálculo de los flujos de emisión

$$J = \frac{dC}{dt} \frac{M}{V_0} \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} H$$

Donde:

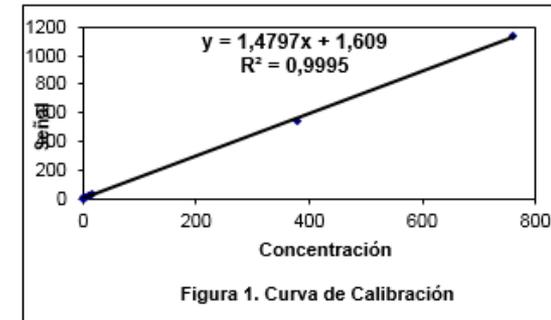
- ✓ dC / dt ($\text{mol} \cdot \text{h}^{-1}$) = tasa de cambio de la concentración
- ✓ M ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) = masa molecular del gas
- ✓ P (Pa) = presión atmosférica en el sitio de muestreo
- ✓ T (K) = temperatura absoluta registrada durante el tiempo de muestreo
- ✓ V_0 (m^3) = volumen molar
- ✓ P_0 (Pa) = presión estándar ($1,01325 \times 10^5$ Pa)
- ✓ T_0 (K) = temperatura estándar (298,15 K)
- ✓ H (m) = altura efectiva de la campana

Metodología

Curvas de calibración (análisis)



UNIVERSIDAD NACIONAL
 ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES
 LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
 (Versión 2.0 / JFRM)
 Fecha de implementación: 11/05/2009



PMA-050 HE-001 DATOS EMPLEADOS EN LA DETERMINACIÓN DE FLUJOS DE EMISIÓN DE METANO Y ÓXIDO NITROSO EN AIRE

Analista	DSS/RCM	Código de Lote de Muest	PI-071-2016 (239)	Consecutivo	I-071-2016 (239)
Fecha Análisi	13/06/2016	Compuesto de interés	Metano	Temperatura (°C)	21,4
				Humedad (%)	62

En las líneas que no vaya a utilizar coloque una ->

Patrón No.	Concentración	Señal	$(X - X_{prom})$	$(X - X_{prom})^2$	$(Y - Y_{prom})$	$(Y - Y_{prom})^2$	$(X - X_{prom})(Y - Y_{prom})$	Y_i (Ajustado)	$(Y_i - Y_{ajus})$	$(Y_i - Y_{ajus})^2$	X_i^2	Celda Válida
Bco	0	2,7	-166,9	27855,8	-245,9	60452,759	41036,12	1,61	1,091	1,190244	0,00	1
1	0,765	4,2	-166,1	27601,1	-244,4	59717,395	40598,82	2,74	1,459	2,128725	0,59	1
2	3,06	6,8	-163,8	26843,8	-241,8	58453,424	39612,00	6,14	0,663	0,439717	9,36	1
3	9,18	17,3	-157,7	24875,8	-231,3	53486,474	36476,29	15,19	2,107	4,441003	84,27	1
4	15,3	29	-151,6	22982,8	-219,6	48211,612	33287,19	24,25	4,752	22,577948	234,09	1
5	380	544	213,1	45411,3	295,4	87278,041	62955,62	563,89	-19,894	395,759585	144400,00	1
6	760	1136	593,1	351766,8	887,4	787529,469	526333,25	1126,18	9,82	96,463877	577600,00	1
Promedio	166,9	248,6	0,0	75333,9	0,0	165018,5	111471,3	248,57	0,0000	74,714443	103189,76	No. Puntos
Sumatoria	1168,305	1740	0	527337	0	1155129	780299	1740,00	0,0000	523,001100	722328,31	7

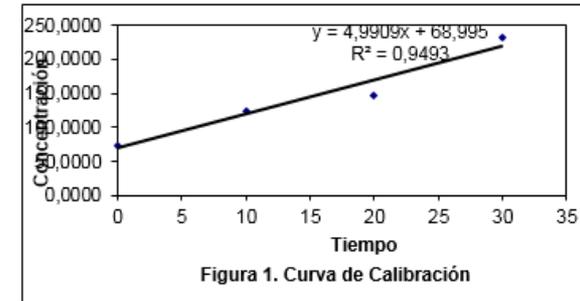
Pendiente	1,4796966	Sm	0,0140839
Intercepto	1,6090169	Sb	4,5241847
Sxx	527337,37	Sy	10,2274249
Syy	1155129,1743	r	0,9998
Sxy	780299,29		

Metodología

☐ Curvas de campo (flujos de emisión)



UNIVERSIDAD NACIONAL
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
(Versión 2.0 / JFRM)
Fecha de implementación: 11/05/2009



PMA-050 HE-001 DATOS EMPLEADOS EN LA DETERMINACIÓN DE FLUJOS DE EMISIÓN DE METANO Y ÓXIDO NITROSO EN AIRE

Compuesto	Metano
-----------	--------

En las líneas que no vaya a utilizar coloque una ->

X en "Señal" y deje las demás vacías.

No. Muestra	Tiempo	Concentración	Residuales					Y _i (Ajustado)	(Y _i - Y _{ajus})	(Y _i - Y _{ajus}) ²	X _i ²	Celda Válida
			(X - X _{prom})	(X - X _{prom}) ²	(Y - Y _{prom})	(Y - Y _{prom}) ²	(X - X _{prom})(Y - Y _{prom})					
1	0	72,6439	-15,0	225,0	-71,2	5071,423	1068,21	68,99	3,649	13,318098	0,00	1
2	10	124,2086	-5,0	25,0	-19,6	386,095	98,25	118,90	5,305	28,144529	100,00	1
3	20	147,2538	5,0	25,0	3,4	11,533	16,98	168,81	-21,558	464,767811	400,00	1
4	30	231,3251	15,0	225,0	87,5	7650,521	1312,01	218,72	12,604	158,859191	900,00	1
		x	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
		x	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
		x	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Promedio	15,0	143,9	0,0	125,0	0,0	3279,9	623,9	143,86	0,0000	166,272407	350,00	No. Puntos
Sumatoria	60	575	0	500	0	13120	2495	575,43	0,0000	665,089629	1400,00	4

Pendiente	4,9908882	Sm	0,8155303
Intercepto	68,9945400	Sb	15,2571744
Sxx	500,00	Sy	18,2358113
Syy	13119,5719	r	0,9743
Sxy	2495,44		

Representatividad del 94,9%

Metodología

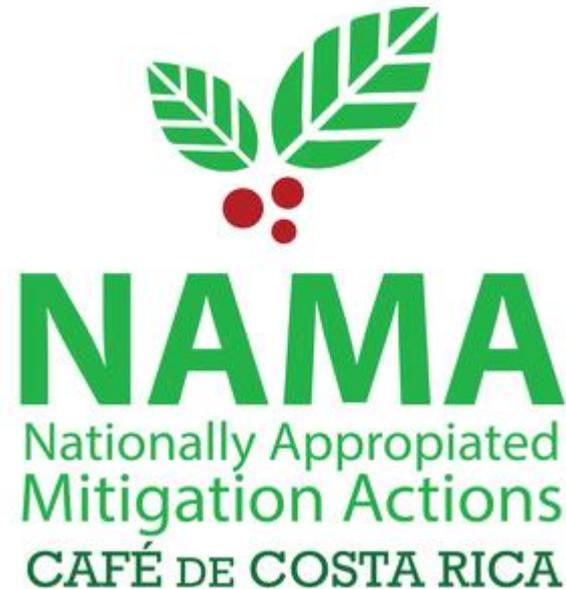
Flujos de emisión (mg/m²·día⁻¹)

INFORMACIÓN PARA LOS CÁLCULOS

Parámetros	Valor	Unidades
Pendiente(m)	4,9909	ppm/min
P _{Ambiente}	88526,1	Pa
T _{Ambiente}	21,4	°C
V _{Cámara}	0,057868137	m ³
A _{Cámara}	0,113411495	m ²
Masa Molar	16,01	g/mol
R	8,314	-
Factor	1,44	-

FLUJO DE EMISIÓN

Valor	Incertidumbre	Unidades
2122,3	797,0	mg/(m ² ·día)



NOTA: La incertidumbre está calculada como el límite de repetibilidad multiplicado por 2 para un nivel de confianza del 95%



Metodología



GASIFICACIÓN



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

INSTITUTO DEL CAFÉ DE COSTA RICA

Metodología



- ❑ Se tomaron muestras de CH_4 , N_2O y CO_2 en 4 corridas del gasificador
- ❑ Solo tres de las mediciones fueron efectivas, debido a que la biomasa utilizada en la primera corrida se encontraba contaminada
- ❑ Se aplicaron los métodos del 1 al 5 de USEPA para la determinación de: puntos de muestreo, velocidad, caudal, gases de combustión, humedad de los gases y partículas.
- ❑ Se empleó el Método 18 de la USEPA, como referencia para el muestreo de CH_4 y N_2O
- ❑ Los muestreos se efectuaron en períodos de 60 minutos durante los cuales se tomaron de manera simultánea las muestras de CH_4 y N_2O , para lo cual se recogieron dos muestras gaseosas en bolsas *Tedlar*, en períodos de 30 minutos cada una, a un flujo de aproximadamente $100 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$

Metodología

- ❑ Una vez en el Laboratorio las muestras de metano (CH_4) fueron analizadas por Cromatografía de Gases (GC), utilizando un cromatógrafo marca Agilent, modelo 7890A, y por medio de un detector de ionización de llama (FID)
- ❑ Las muestras de óxido nitroso (N_2O) fueron analizadas por Cromatografía de Gases (GC), utilizando un cromatógrafo marca Agilent, modelo 7890A, y por medio de un detector de micro-conductividad eléctrica (μECD)
- ❑ Las muestras de CO_2 fueron analizadas in-situ por medio de un analizador de gases automático, marca TESTO, modelo 350 ES



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

INSTITUTO DEL CAFÉ DE COSTA RICA

Resultados



COMPOSTAJE

Resultados

Beneficio	Pulpa (kg)	CO ₂ (kg/m ² día)	CH ₄ (g/m ² día)	N ₂ O (g/m ² día)	Período de compostaje	CO ₂ (g CO ₂ / kg pulpa)	CH ₄ (mg CH ₄ / kg pulpa)	N ₂ O (mg N ₂ O / kg pulpa)	CO ₂ (kg CO ₂ / F.P. °)	CH ₄ (g CH ₄ / F.P. °)	N ₂ O (g N ₂ O / F.P. °)
1	527	1,21 ± 0,18	0,417 ± 0,091	0,0319 ± 0,0090	38	87 ± 13	30,1 ± 6,6	2,30 ± 0,65	9,2 ± 1,4	3,16 ± 0,69	0,242 ± 0,068
2	853	0,58 ± 0,12	20,6 ± 1,4	0,60 ± 0,26	79	54 ± 11	1 905 ± 129	56 ± 24	5,7 ± 1,2	200 ± 14	5,9 ± 2,5
3	519	0,86 ± 0,12	0,172 ± 0,055	0,257 ± 0,026	29	48,2 ± 6,7	9,6 ± 3,1	14,3 ± 1,5	5,07 ± 0,71	1,01 ± 0,33	1,51 ± 0,16
4	853	11,8 ± 1,5	15,8 ± 3,2	0,521 ± 0,064	30	415 ± 53	555 ± 112	18,3 ± 2,2	43,6 ± 5,6	58 ± 12	1,93 ± 0,23
5	519	1,053 ± 0,030	5,94 ± 0,28	1,60 ± 0,47	78	158,2 ± 4,5	893 ± 42	240 ± 71	16,65 ± 0,47	93,9 ± 4,4	25,3 ± 0,83
6	513	0,65 ± 0,11	3,81 ± 0,26	0,49 ± 0,16	77	97 ± 16	571 ± 39	73 ± 24	10,2 ± 1,7	60,1 ± 4,1	7,7 ± 2,5
7	504	5,05 ± 0,62	36,6 ± 1,4	6,01 ± 0,26	75	751 ± 92	5 439 ± 208	894 ± 39	79,0 ± 9,7	572 ± 22	94,1 ± 4,1
8	514	0,49 ± 0,11	0,80 ± 0,15	0,208 ± 0,069	59	56 ± 13	92 ± 17	23,9 ± 7,9	5,9 ± 1,4	9,6 ± 1,8	2,51 ± 0,83
9	519	0,542 ± 0,067	8,1 ± 2,0	29,6 ± 1,4	32	33,4 ± 4,1	501 ± 124	1 836 ± 87	3,52 ± 0,43	53 ± 13	193,1 ± 9,2
10	428	13,6 ± 2,1	2,78 ± 0,23	2,68 ± 0,36	84	2 659 ± 411	545 ± 45	526 ± 71	280 ± 43	57,3 ± 4,7	55,4 ± 7,5
11	500	0,80 ± 0,18	< 0,012	< 0,040	50	80 ± 18	< 0,10	< 0,10	8,4 ± 1,9	< 0,01	< 0,01
12	500	1,05 ± 0,28	25,1 ± 4,2	1,26 ± 0,48	50	105 ± 28	2 506 ± 419	126 ± 48	11,1 ± 3,0	264 ± 44	13,3 ± 5,1

Resultados

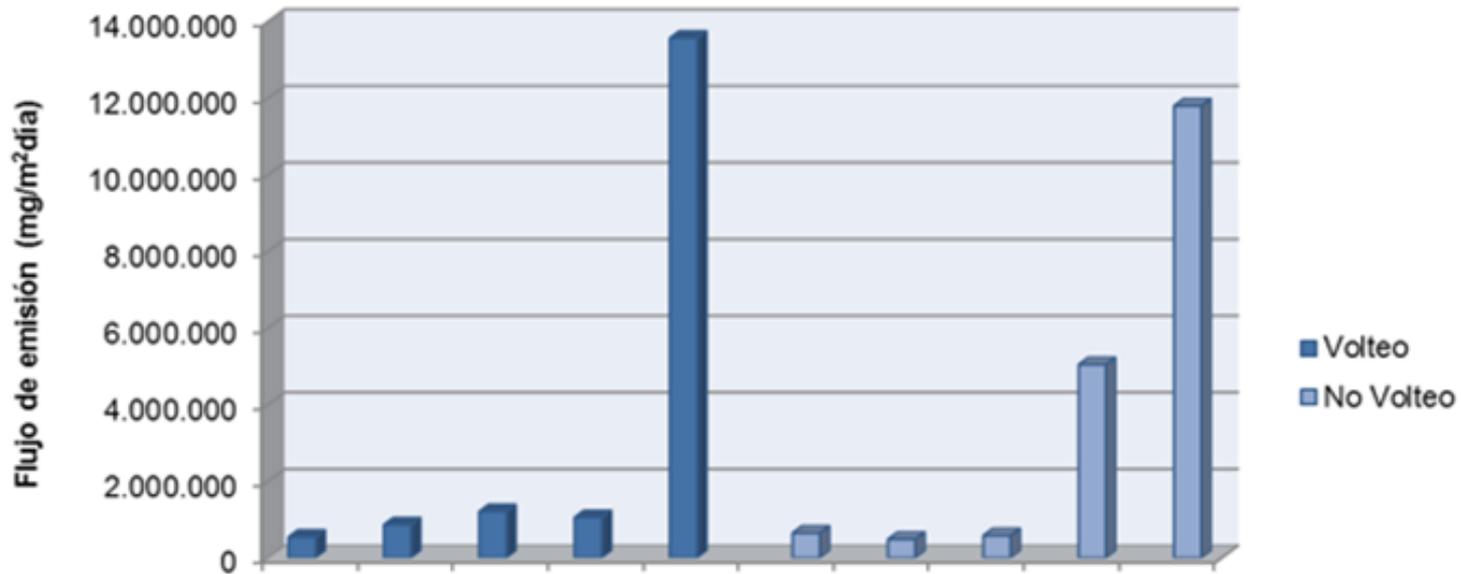


Figura 6. Comparación de los flujos de emisión de dióxido de carbono en los sistemas de compostaje de los diferentes Beneficios seleccionados

Resultados

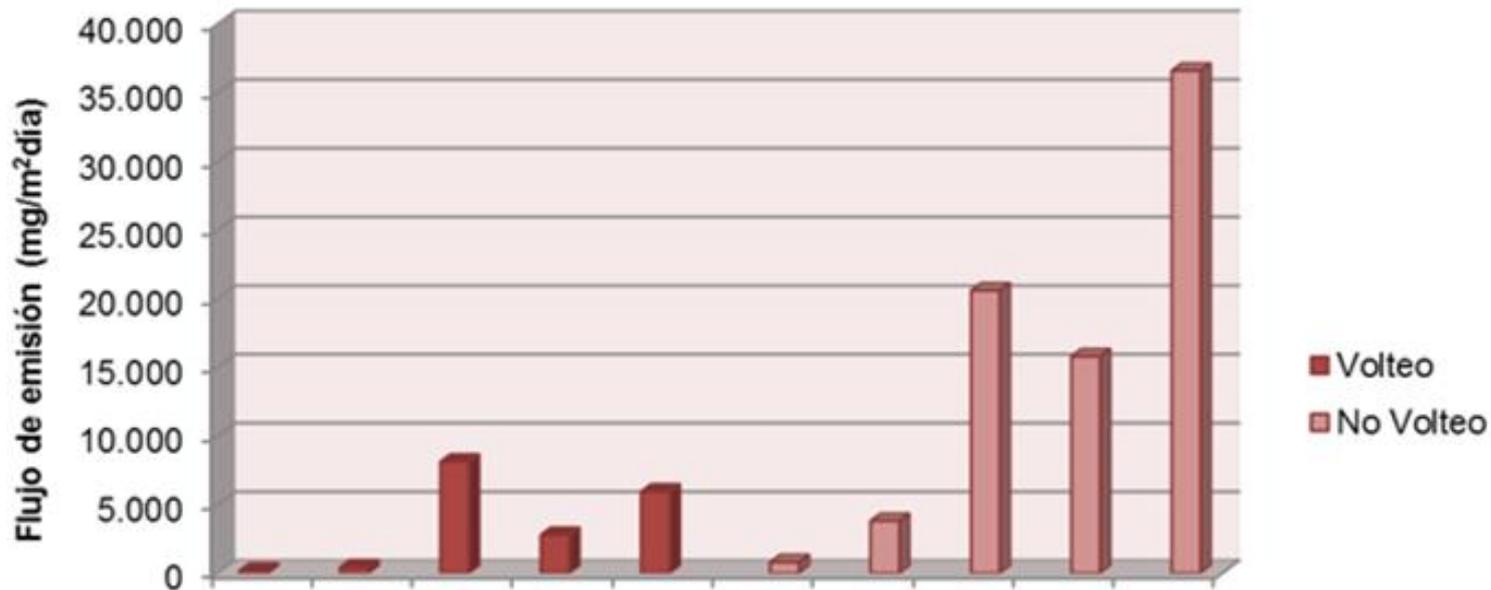


Figura 7. Comparación de los flujos de emisión de metano en los sistemas de compostaje de los diferentes Beneficios seleccionados

Resultados

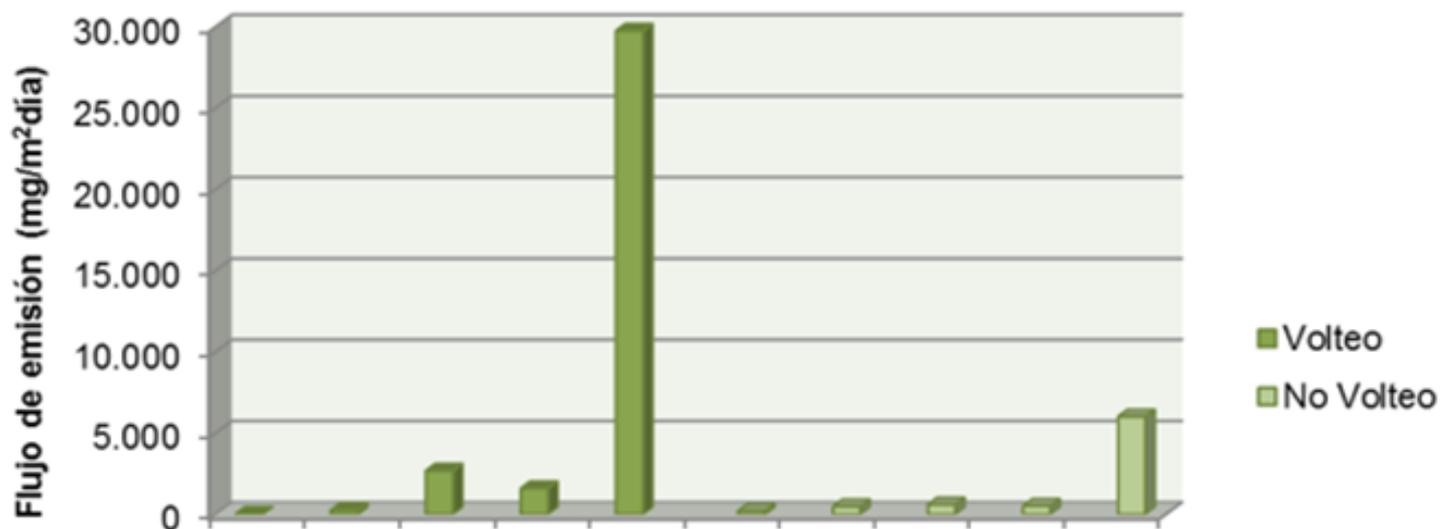


Figura 8. Comparación de los flujos de emisión de óxido nitroso en los sistemas de compostaje de los diferentes Beneficios seleccionados

Resultados

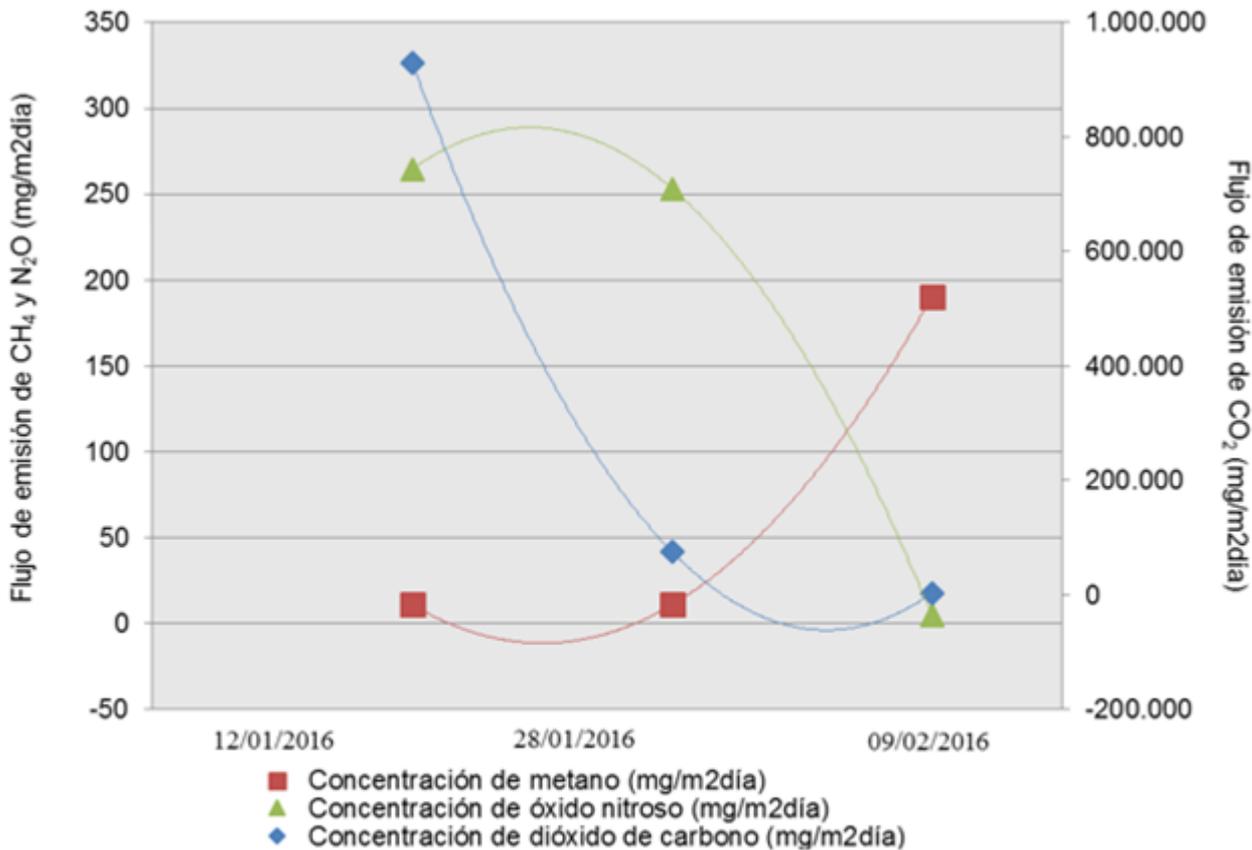
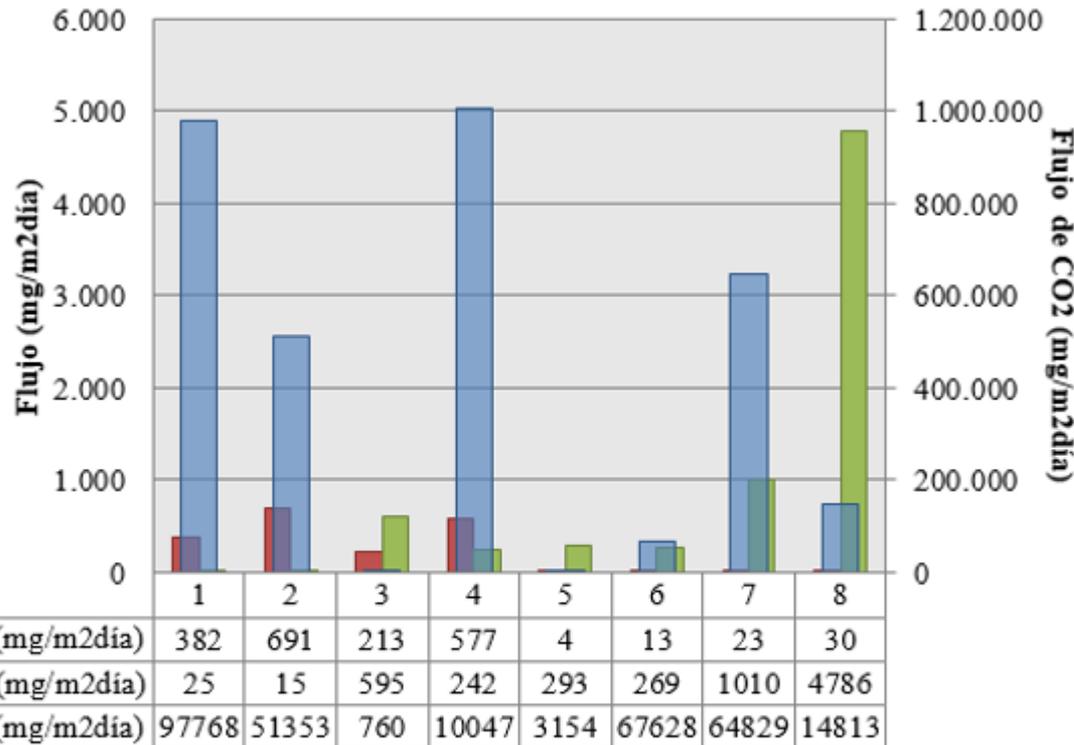


Figura 9. Comportamiento temporal de las emisiones de GEI en el proceso de compostaje como sistema de tratamiento de los residuos de pulpa de café

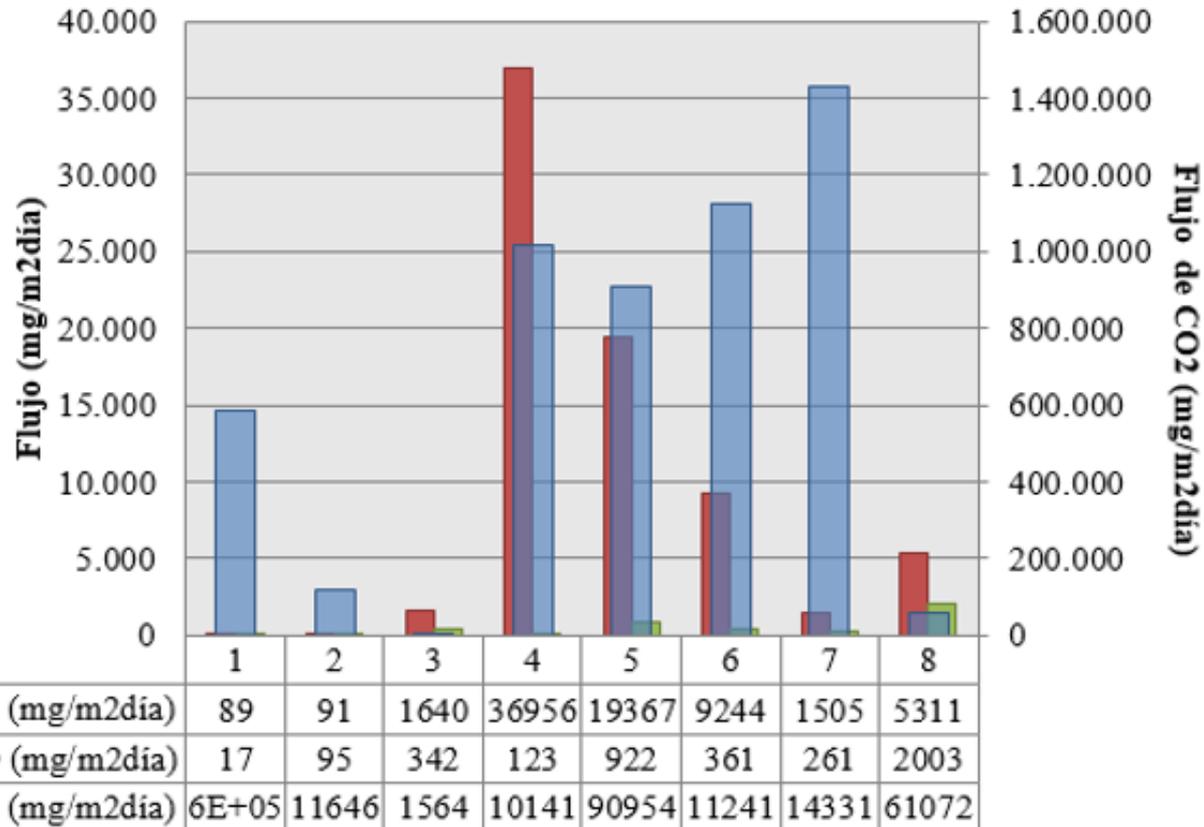
Resultados



Con volteo!!!

Figura 10. Comportamiento de las emisiones de GEI aplicando volteo semanal en los montículos desarrollados en el ICAFE

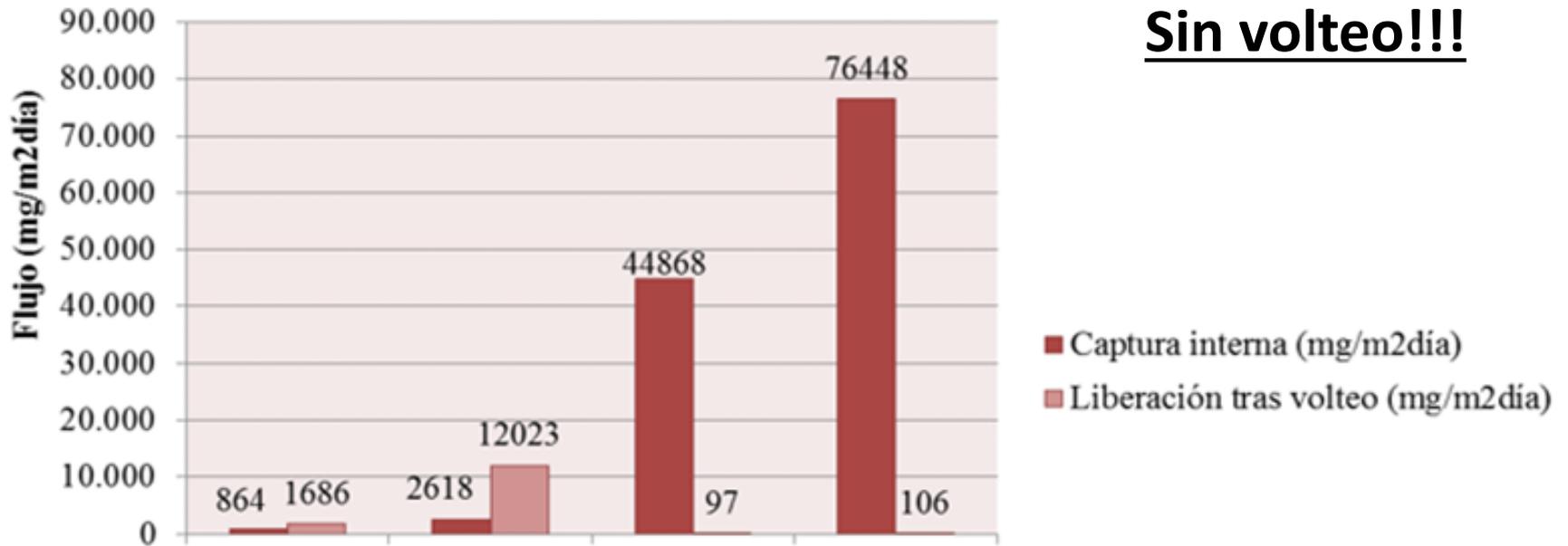
Resultados



Sin volteo!!!

Figura 11. Comportamiento de las emisiones de GEI sin aplicación de volteo en los montículos desarrollados en el ICAFE

Resultados



Sin volteo!!!

Figura 12. Comportamiento de las emisiones de metano en los sistemas de compostaje que no se les aplicó volteo

Resultados

Sin volteo!!!

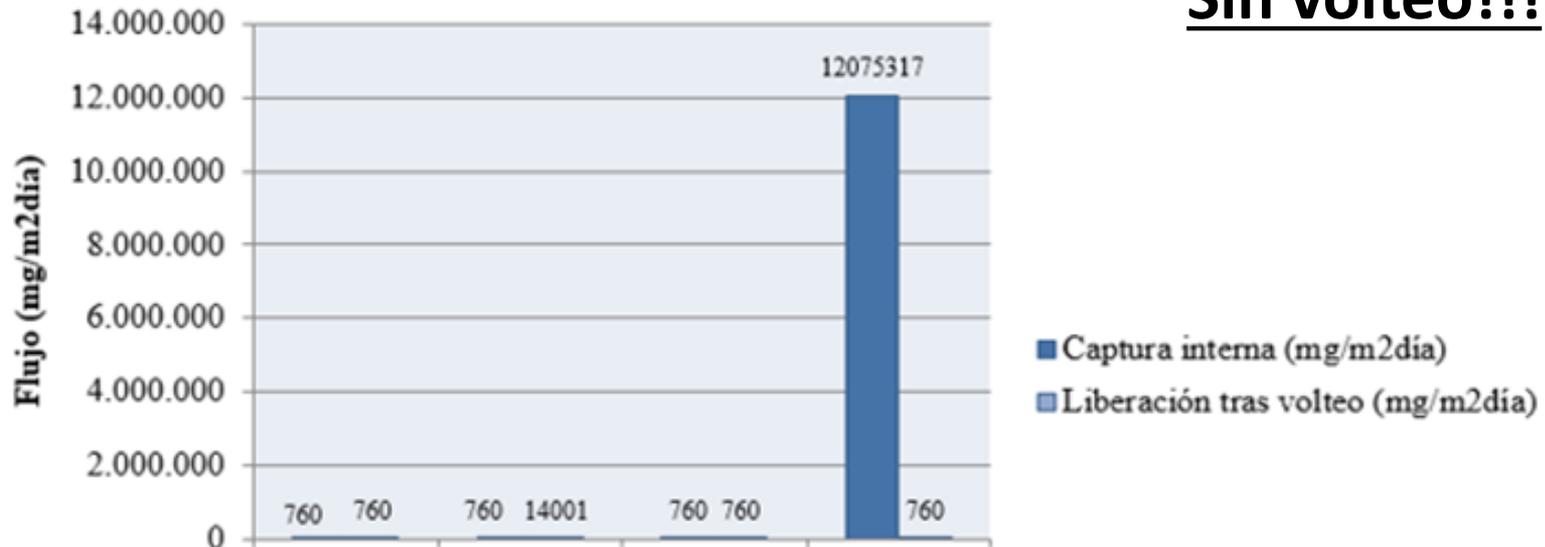
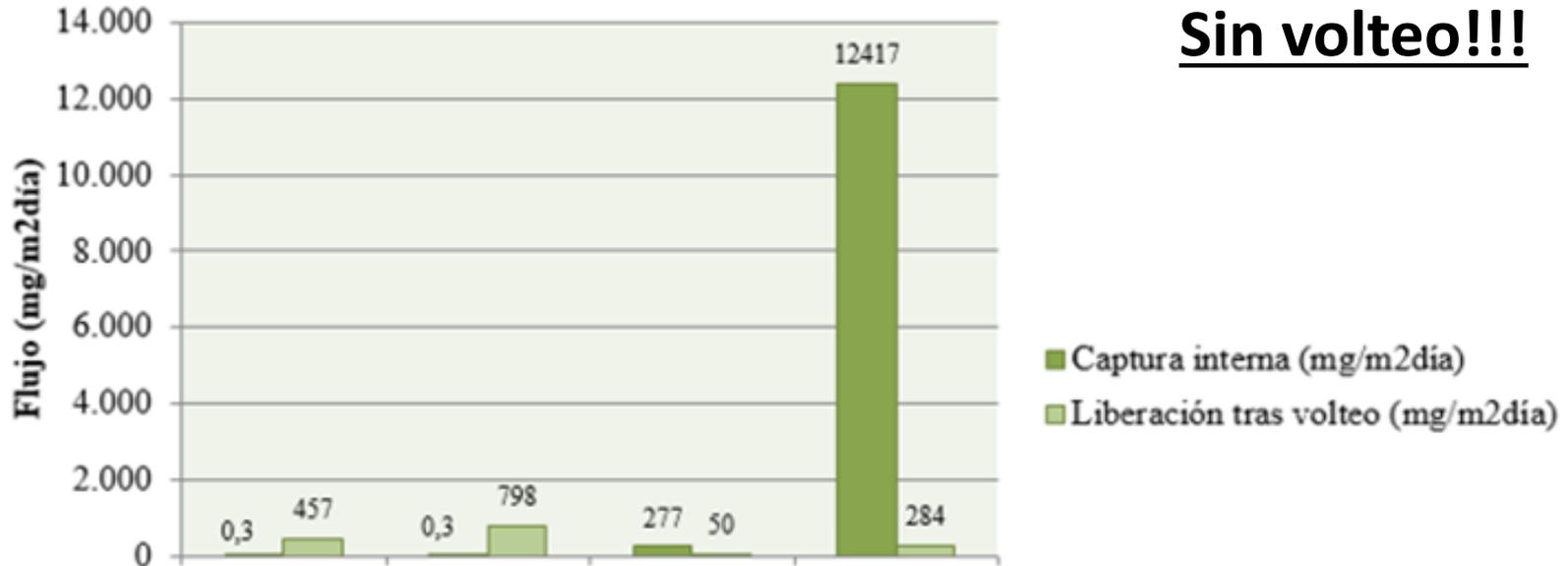


Figura 13. Comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono en los sistemas de compostaje que no se les aplicó volteo (Los valores de 760 mg/m²día, corresponden al límite de detección del método).

Resultados



Sin volteo!!!

Figura 14. Comportamiento de las emisiones de óxido nítrico en los sistemas de compostaje que no se les aplicó volteo (Los valores de 0,3 mg/m² día, corresponden al límite de detección del método).



Resultados



GASIFICACIÓN

Resultados

Emisiones obtenidas tras el proceso de gasificación

Parámetro	Unidades	Pruebas			
		1	2	3	4
		100 % Pulpa	90 % Pulpa 10 % Cascarilla	100 % Pulpa	100 % Pulpa
Humedad	%	9,88 ± 0,78	27,5 ± 2,1	6,14 ± 0,64	7,75 ± 0,80
Velocidad	m/s	1,9 ± 1,2	2,0 ± 1,2	2,0 ± 1,3	2,1 ± 1,3
Caudal	Nm ³ /h	304 ± 19	250 ± 16	288 ± 18	275 ± 18
PST (x)	mg/Nm ³	2,6 ± 2,2	23,7 ± 2,8	22,5 ± 2,8	13,9 ± 2,1
Temperatura	°C	69,12 ± 0,86	76,12 ± 0,86	123,12 ± 0,86	151,25 ± 0,86
CO (x)	mg/Nm ³	5 610 ± 2 295	596 ± 231	3 112 ± 190	2 598 ± 436
CO ₂	%	24,58 ± 0,38	21,14 ± 0,43	22,85 ± 0,32	21,09 ± 0,69
O ₂	%	10,3 ± 4,3	2,46 ± 0,33	1,61 ± 0,11	3,23 ± 0,34
SO ₂ (x)	mg/Nm ³	273 ± 248	N.D.	< 3,6	< 5,1
NO _x (x)	mg/Nm ³	4 652 ± 1 444	2 702 ± 214	2 871 ± 221	3 573 ± 196

Resultados

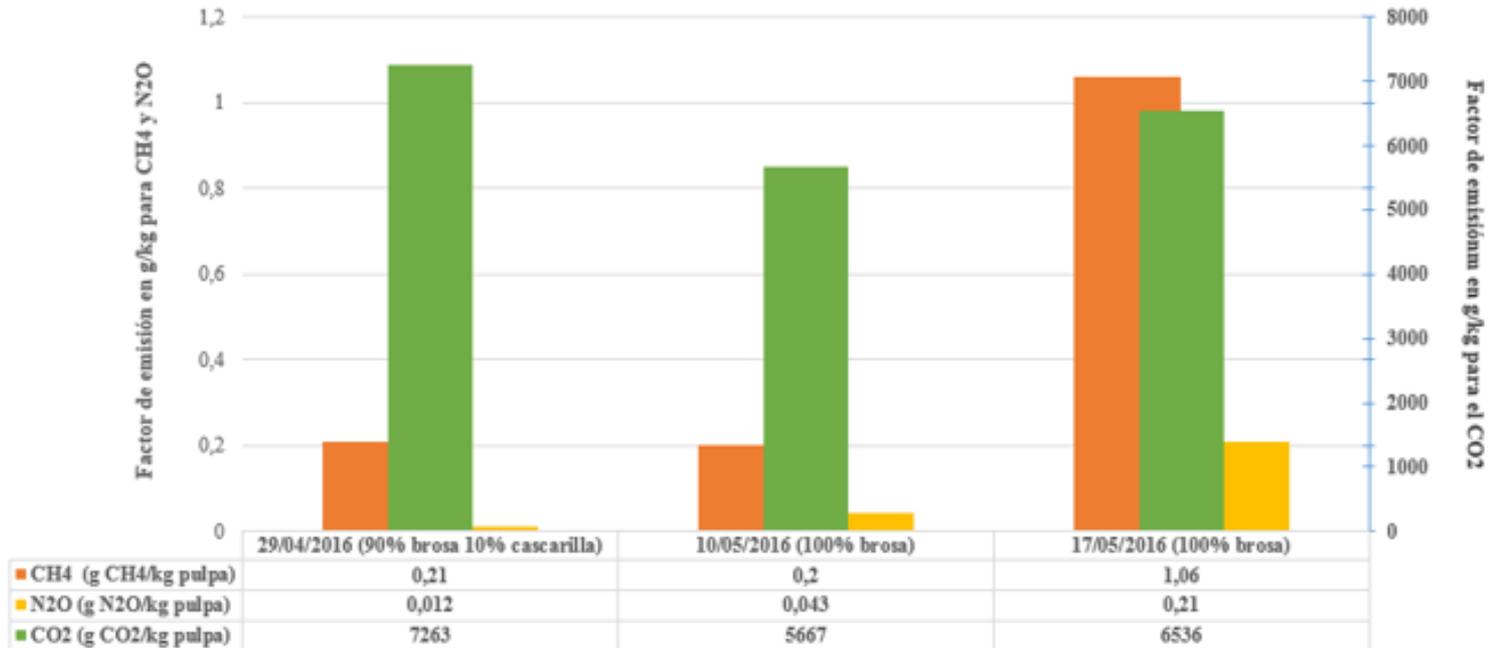


Figura 15. Factores de emisión obtenidos para el sistema de gasificación en cual se emplearon las siguientes mezclas de biomasa: (1) 90% broza y 10% de cascarilla, (2) 100% broza y (3) 100% broza.

Resultados

Tabla 6. Condiciones de muestreo y factores de emisión obtenidos en las diferentes corridas del sistema de gasificación.

Prueba	Mezcla	Flujo de biomasa (kg/h)	Desviación estándar (kg/h)	Humedad en la biomasa (%)	Desviación estándar (%)	CH4 (g CH4/kg pulpa)	N2O (g N2O/kg pulpa)	CO2 (g CO2/kg pulpa)
2	90% broza 10% cascarilla	17,1	0,01	16,69	0,09	0,21 ± 0,01	0,012 ± 0,001	7 263 ± 37
3	100% broza 0% cascarilla	27,3	0,03	16,66	0,02	0,20 ± 0,04	0,043 ± 0,009	5 667 ± 24
4	100% broza 0% cascarilla	20,74	0,01	16,05	0,09	1,06 ± 0,09	0,21 ± 0,01	6 536 ± 27

Notas: ¹ Las pruebas se efectuaron en las siguientes fechas: 29/04/2016, 10/05/2016 y 17/05/2016. ² Se recuerda que la prueba N°1 efectuada el 22/04/2016 fue descartada debido a una contaminación de la biomasa.

³ Datos suministrados por equipo de trabajo de la Escuela Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica.



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

Resultados



FACTORES DE EMISIÓN

Resultados

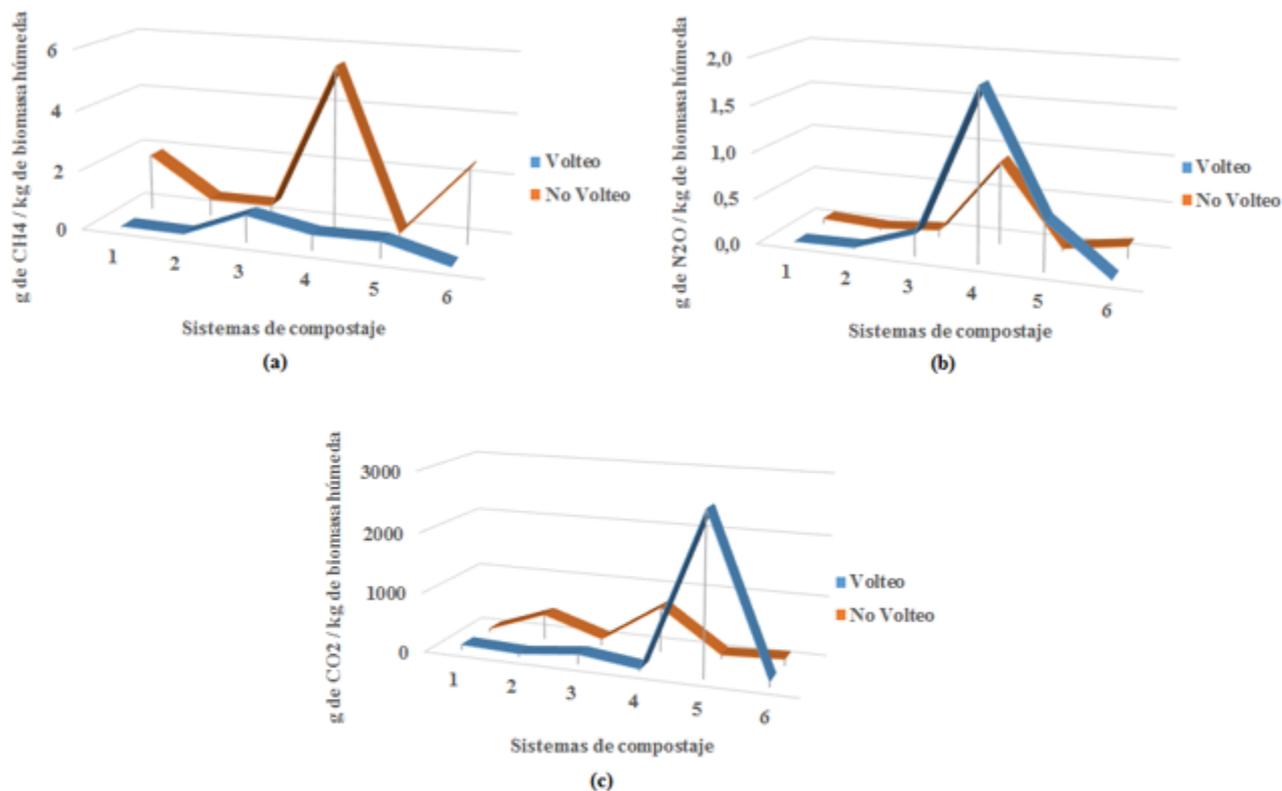
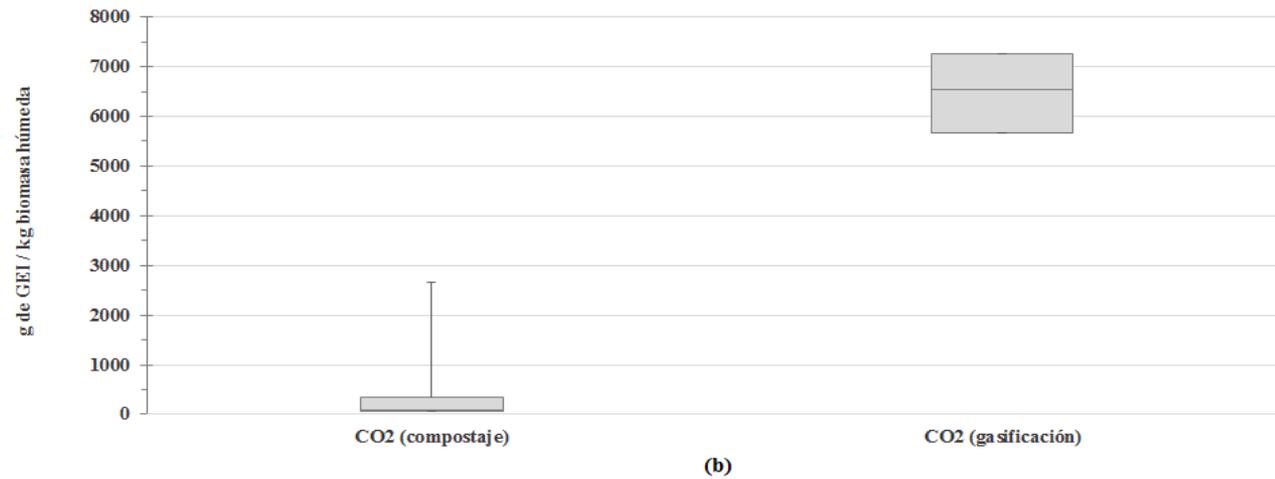
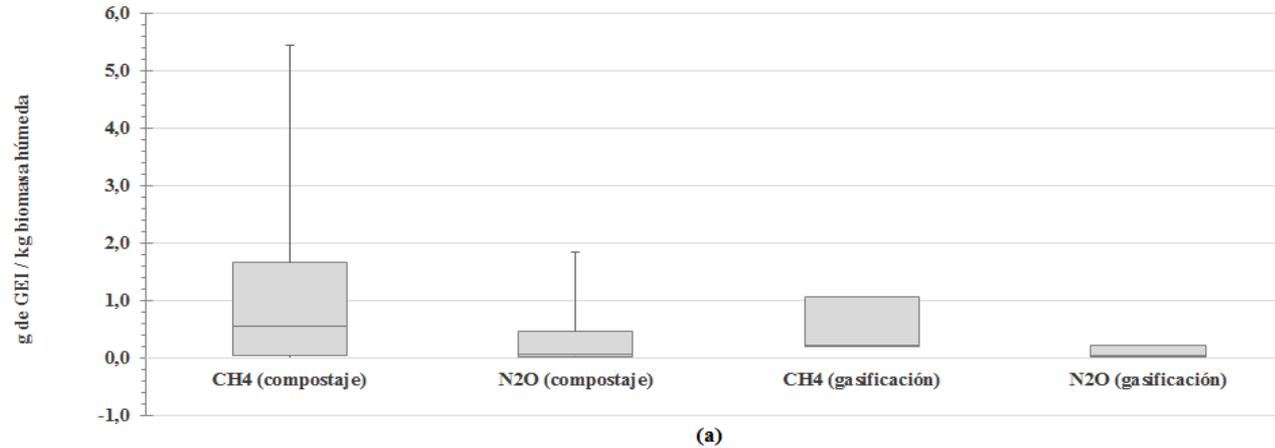


Figura 16. Comportamiento de los factores de emisión de CH₄, N₂O y CO₂ en sistemas de compostaje, con volteo y sin volteo. En las figuras (a) y (b) se muestran los resultados obtenidos para CH₄ y N₂O, mientras que en la figura (c) se muestran los resultados para las emisiones de CO₂.

Resultados



Resultados

Tabla 7. Tabla comparativa de las emisiones de GEI individuales y en términos de CO₂ eq para un caso hipotético de un proceso de Beneficiado de café

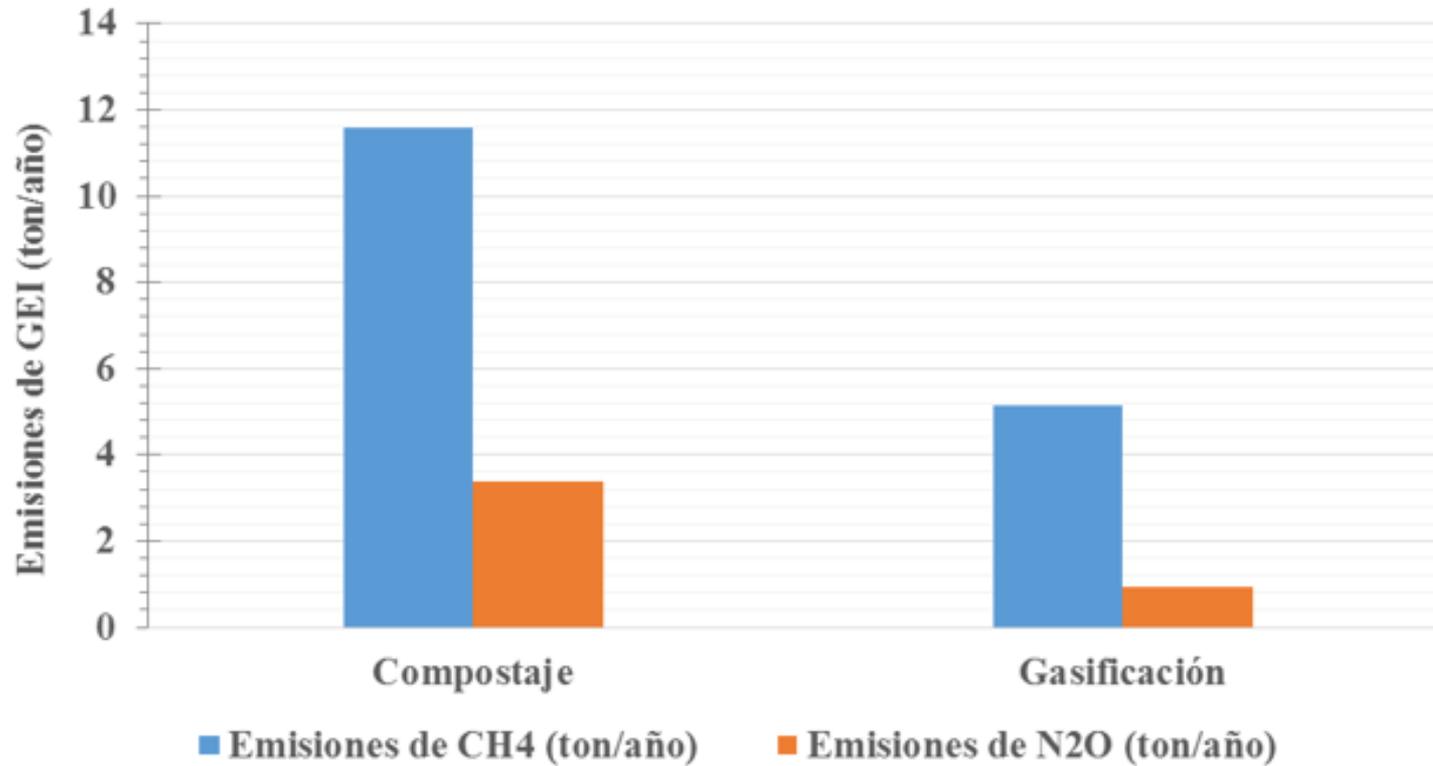
Descripción	Compostaje	Gasificación
Café procesado (fc ¹)	100 000	100 000
Residuos de broza por temporada (ton)	10 520	10 520
Residuos de broza por temporada (kg)	10 520 000	10 520 000
FE de CH ₄ (g/kg de pulpa) ²	1,1	0,49
FE de N ₂ O (g/kg de pulpa) ²	0,32	0,088
FE de CO ₂ (g/kg de pulpa) ²	379	6489
Emisiones de CH₄ (ton/año)	11,57	5,15
Emisiones de N₂O (ton/año)	3,37	0,93
Emisiones de CO₂ (ton/año)	3 987	68 264
Emisiones totales CO₂eq (ton/año)	<u>5 274</u>	<u>68 660</u>

¹ Fanega de café, ² Factores de emisión promedio

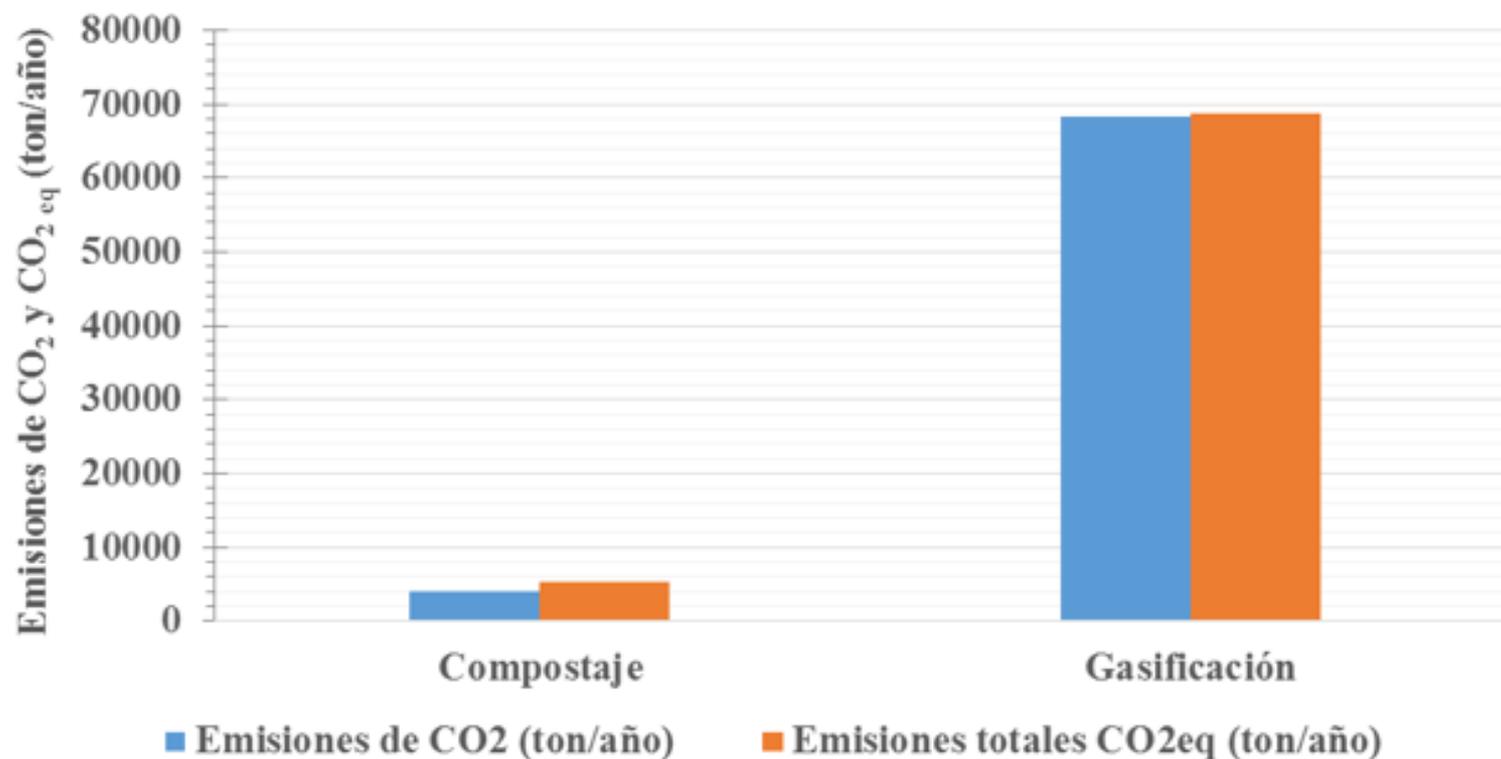
Factores de emisión IMN:

- Metano en compost:
4 g CH₄ / kg de desecho sólido
- Óxido nitroso en compost:
0,3 g CH₄ / kg de desecho sólido

Resultados



Resultados





Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

Consideraciones



Contabilización de las emisiones:

- ✓ Las emisiones de CH_4 y N_2O por el tratamiento de residuos se reportan y contabilizan dentro del Alcance 1 (emisiones directas).
- ✓ Las emisiones de CO_2 no se contabilizan en los Alcances, pero si se deben reportar de forma separada dentro del Informe del Inventario de Emisiones (Principio de Transparencia).
- ✓ Para efectos de la IPCC estas emisiones se consideran en el Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, y no en el Volumen 2: Energía. Esto para evitar la doble contabilidad.



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

Consideraciones



Norma INTE-ISO: 14064-1:2006

- ✓ Sección 4.2.2.: “Las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de biomasa se deben cuantificar separadamente.”
- ✓ En la Sección 5.1. también se hace referencia como una componente del inventario que se documenta por separado.
- ✓ La Sección 7.3.1-2. pide que en el informe se brinde una descripción de como se consideran estas emisiones en el inventario de GEI.



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

Consideraciones



Norma INTE 12-01-06: 2016

- ✓ Sección 5.3.1.f.: Las emisiones de CO₂ biogénicas de una organización se deberían informar separadamente como sigue: — emisiones de CO₂ a partir de combustión de biomasa.
- ✓ En la Sección 9.1.: Informe de resultados: “una descripción de cómo se consideran en el inventario de GEI las emisiones de CO₂ de la biomasa”.



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

Consideraciones



GHG Protocol: Estándar Comparativo

- ✓ Alcance 1: “Las emisiones directas de CO₂ provenientes de la combustión de biomasa no deben incluirse en el alcance 1, debiéndose reportar de manera separada”.
- ✓ Reporte de Emisiones de GEI: Datos de emisiones directas de CO₂ provenientes del carbono secuestrado biológicamente (CO₂ de la quema de biomasa o biocombustibles), reportados de manera independiente de las emisiones de los alcances.



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA

Conclusiones



- ✓ En los sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales, se ve favorecida la emisión de CH_4 en las lagunas de oxidación y sistemas anaerobios con mayores tiempos de residencia.
- ✓ Las emisiones de CO_2 se vuelven más importantes en las unidades donde se ven favorecidas las condiciones aerobias, o bien donde se dan los menores tiempos de residencia.
- ✓ Las emisiones de N_2O se consideran despreciables, al menos durante la campaña de “finales”, dado que los resultados en su mayoría estuvieron por debajo del límite de detección del método.
- ✓ Los campos de aspersión como sistemas de tratamiento de aguas residuales, parecen generar menores emisiones de GEI, por lo que se podrían convertir en una buena alternativa de tratamiento.



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

INSTITUTO DEL CAFÉ DE COSTA RICA

Conclusiones



- ✓ No se observan variaciones importantes en las emisiones de CO_2 provenientes de sistemas con volteo o sin volteo.
- ✓ Las emisiones de CH_4 sí se ven claramente favorecidas en los procesos sin volteo, donde prevalecen condiciones anaerobias.
- ✓ Las emisiones de N_2O se vuelven más importante en los procesos con volteo, dado que predominan las condiciones aerobias que favorecen los procesos de desnitrificación.
- ✓ La técnica de gasificación presenta una muy buena alternativa para la reducción de las emisiones de metano y óxido nítrico.



Icafe
Instituto del Café de Costa Rica

Recomendaciones



- ❖ Una de las posibles acciones a seguir, es realizar un estudio de menor alcance pero con un control mucho más estricto del manejo y las condiciones de los sistemas de compostaje, así como un mayor número de mediciones, no tanto en número de réplicas sino en el espacio temporal, en donde idealmente se puedan llevar a cabo mediciones diarias con el fin de desarrollar un perfil del comportamiento de las emisiones de GEI a lo largo del proceso degradativo del compost.
- ❖ Se sugiere ampliar el número de mezclas utilizadas como materia prima para el proceso de gasificación, y aumentar el número de réplicas para cada una de ellas, de tal modo que se pueda obtener mejores resultados en cuanto a la valoración de la mejor opción en términos de eficiencia y de generación de GEI.

Muchas gracias!

BQ. Víctor Hugo Beita Guerrero, *MSc.S*
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional de Costa Rica
Tel. 2277-3513 / 8895-8144
E-mail: victor.beita.guerrero@una.cr

Lic. José Félix Rojas Marín, *MSc.S*
Laboratorio de Análisis Ambiental
Universidad Nacional de Costa Rica
Tel. 2277-3513 / 8875-3611
E-mail: jose.rojas.marin@una.cr