

“Evaluación de los procesos de fermentación en la producción de biofertilizante, mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura”

Silvia Quilumbango y Luis Robalino
2012

1. INTRODUCCIÓN

PROBLEMA

La crianza de animales genera residuos inutilizados que a veces provocan contaminación

Limitado aprovechamiento de estiércoles para la producción de biofertilizantes (biodigestores en Ítag)

Desconocimiento local de las características patógenas de las excretas de chanco y cuy

ESCASO CONOCIMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE Y DE LA CALIDAD DEL MISMO

Pérdida de fertilidad del suelo – exceso de agroquímicos - baja productividad y rentabilidad

Desconocimiento de la calidad del biofertilizante (N,P,K).

Escaso conocimiento de los indicadores de la fermentación anaeróbica

1. INTRODUCCIÓN

JUSTIFICACIÓN

Disponibilidad de estiércoles en las fincas

Existen procesos de fermentación de excretas de chanco sin monitoreo de parámetros técnicos

Inexistencia de procesos de fermentación con estiércol de cuy

**TEMA
NUEVO...
INNOVADOR**

Los mini-biodigestores facilitaron el monitoreo

Se requiere ampliar los conocimientos local y nacionalmente

Experiencia positiva de fermentación de excretas mezcladas



OBJETIVOS

- **GENERAL**

Evaluar los procesos de fermentación en la producción de biofertilizantes mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag.

- **ESPECÍFICOS**

- Evaluar comparativamente la Demanda Química de Oxígeno (DQO), temperatura y pH en los procesos de fermentación anaeróbica de las excretas de chanco, cuy y mezcla en mini-biodigestores para la producción de biofertilizante líquido.
- Determinar la cantidad y calidad del biofertilizante líquido (N, P, K) proveniente de los procesos de fermentación anaeróbica de las excretas de chanco, de cuy y mezcla.

HIPÓTESIS

- Los procesos de fermentación anaeróbica de excretas de chanco, cuy y mezcla son diferentes en cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH y temperatura.
- Las excretas de chanco y cuy generan rendimientos diferentes en cantidad y calidad en la producción de biofertilizante líquido.
- La mezcla de las excretas de chanco y cuy tiene mayor y mejor producción de bioabono líquido que cada uno de ellos independientemente.

2. MARCO TEÓRICO

INFORMACIÓN GENERAL

- La fermentación anaeróbica (anaerobia) no es nueva
- 1776 Volta descubrió formación de gas sobre pantanos, lagos y aguas estancadas (Flotats, X. et al 1997)
- 1859 en Bombay se instaló por primera vez (biogás y biofertilizante)
- India, Taiwán, Corea, Kenia, Sudáfrica y China
- Cuba, Colombia, Brasil, Costa Rica, Bolivia, Argentina y México
- En Ecuador pocos casos implementados
- El alto costo de los fertilizantes químicos obliga a buscar alternativas de fertilización económicas y eficientes (Soria, M. et al 2001)
- Las excretas contienen nutrientes pero con altas concentraciones de coliformes fecales
- Cambio del concepto de “desecho” por el de **remanente** ó **residuo** (Paul Taiganides, citado por Alkalay, Daniel)

INFORMACIÓN ESPECÍFICA

- **Biodigestor:** contenedor cerrado hermético e impermeable en el que se fermenta la materia orgánica disuelta en agua (Campero, O. 2007)
- **Fermentación anaeróbica:** Fenómeno que ocurre por acción de bacterias de la materia fecal que degradan los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno, produciendo una mezcla de gases (biogás) con alto contenido de metano y biofertilizante líquido con alta concentración de nutrientes
- **Parámetros de la fermentación metanogénica:** temperatura, tiempo de retención, relación C/N, sólidos totales, pH (Varnero, M 2008) y la DQO (Dias, E y Kreling J. 2006)
- La información sobre fermentación anaeróbica de excretas de cuy es muy escasa

- **Biofertilizante**: líquido espeso, oscuro, fuente de fitoreguladores obtenido del proceso de fermentación anaeróbica de residuos orgánicos en biodigestores; bioestimulante del crecimiento y desarrollo de las plantas (Colque, T. et al 2005). La mayoría de sus nutrientes (N,P,K) inicialmente presentes en las excretas no se pierden (Moncayo-Romero, G. 2005). No tiene mal olor, ni agentes causantes de enfermedades
- **DQO**: Cantidad de oxígeno necesario para oxidar y degradar la materia orgánica. Principal medida que se utiliza en digestión anaeróbica (Flotats, X. et al 2011). CIPAV menciona que biodigestores de plástico y geomembrana operando entre 17 a 21°C remueven valores mayores a 85% de DQO

- **Temperatura:** en general hay varios rangos (inferior a 30°C, 30 - 45°C y 50 - 60°C), siendo más frecuente el de 30 a 45°C (López, A.). A mayor temperatura, mayor actividad bacteriana. En condiciones subcálidas y con pequeños biodigestores se refieren temperaturas entre 15 a 25°C (Alkalay, D.)
- **pH:** existen rangos diferenciados, 7,2 - 7,4; 7 - 7,2; 6,5 - 7,5 (Flotats, X., Campos, E. y Bonmatí, A. 1997). Otros autores afirman que comúnmente al arranque de los procesos de fermentación se tienen valores alcalinos, que luego descienden a valores ácidos y finalizan en valores neutros

- **Macroelementos N,P,K:** La biodigestión anaeróbica posibilita el desdoblamiento de la materia orgánica, dejando a los nutrientes en formas simples y fáciles de asimilar. Por la fermentación anaeróbica el Nitrógeno pasa a formas más asimilables mientras que el fósforo y potasio no se ven afectados (López, A.)
- **Conteo de coliformes:** López, A. testimonia una reducción de 99% en 20 días en rangos mesofílicos; Soria, M. et al 2001 sostiene que se eliminaron el 100% en 50 días; Otros autores hablan de un 85% y hasta de rangos inferiores.
- **Tiempo de retención:** Se refiere al tiempo promedio en que la materia orgánica es degradada por los microorganismos (Soria, M. et al 2001). La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura ya que a >temperatura el tiempo de retención es menor. Por lo general se trabaja con tiempos de retención entre 20 a 55 días (Alkalay, D.). Excepcionalmente a temperaturas bajas puede extenderse hasta 90 días (Soria et al)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES

- 1 Bidón de plástico de 60 litros con tapa hermética
- 2 Adaptadores para salida de tanque de agua (1/2 pulgada)
- 3 Neplos de hierro galvanizado
- 2 Llaves de válvula esférica de media vuelta (1/2 pulgada)
- 1 Tapón hembra de hierro)
- 1 Adaptador flex
- 1 Codo flex
- 2 Abrazaderas
- 1 Teflón



EQUIPOS DE CAMPO

- Balanza grande
- Balanza pequeña (gramera)
- Termómetro
- Medidor de conductividad marca Fisher
- Cámara fotográfica
- Video filmadora
- Computadora e impresora
- Termo porta-vacuna

INSUMOS

- 27 kg de estiércol de chanchos
- 27 kg de estiércol de cuyes
- 216 kg (L) de agua

UBICACIÓN



- **Cantón:** Cotacachi
- **Parroquia:** Peñaherrera
- **Barrio:** Zagalapamba
- 60 Km de las ciudades de Cotacachi y Otavalo
- Remanentes de bosque nublado
- Bioregión «Chocó»: diversidad, endemismo y riesgo
- Superficie de 122,4 km²
- 1644 habitantes (censo, 2010)
- Agricultura: fréjol, maíz duro, yuca, café, tomate, camote, plátano y zanahoria blanca
- Ganadería: Bovinos, porcinos, gallinas y cuyes

MÉTODOS

Factores en estudio

Tipo de biomasa o materia orgánica

- Excretas de chancho
- Excretas de cuy
- Mezcla de excretas de chancho y cuy (50:50)%

N	Tratamientos	Código
1	Fermentación de excretas de chancho	t1
2	Fermentación de excretas de cuy	t2
3	Fermentación de la mezcla de excretas de chancho y cuy	t3

Diseño Experimental

- Diseño completamente al azar (DCA)
- Esquema del ADEVA

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD
Total	8
Tratamientos	2
Error experimental	6

Análisis estadístico

- Prueba de Fisher, Coeficiente de Variación y Prueba de Tukey.

Características del Experimento

- 3 tratamientos con 3 repeticiones (9 unidades experimentales)
- Construcción de los biodigestores - capacidad de 60 litros
- Se cargó una sola vez (batch) en proporción de agua y excretas de 4:1 respectivamente (24L : 6kg)



VARIABLES ESTUDIADAS

Variables dependientes

- DQO
- Temperatura
- pH
- Contenido de N, P y K de las excretas y del biofertilizante líquido
- Nivel de patógenos en la materia orgánica fresca y en el biofertilizante líquido
- Tiempo de retención
- Cantidad de biofertilizante
- «Calidad» del biofertilizante

Variables independientes

- Excretas de chanco
- Excretas de cuy
- Mezcla de excretas de chanco y cuy (50:50)

MANEJO DEL EXPERIMENTO

Construcción Biodigestores



Recolección materia prima



Pesado de agua en bidón



Pesado de estiércol



Adición de materia prima



Mezclado y Homogenización



Tapado y sellado



Instalación en sitio del ensayo



Toma de muestra



Medición de pH y temperatura



Envasado de muestra



Muestras para laboratorio



Preparación de muestras en laboratorio



Análisis de muestras en laboratorio



Biofertilizante líquido

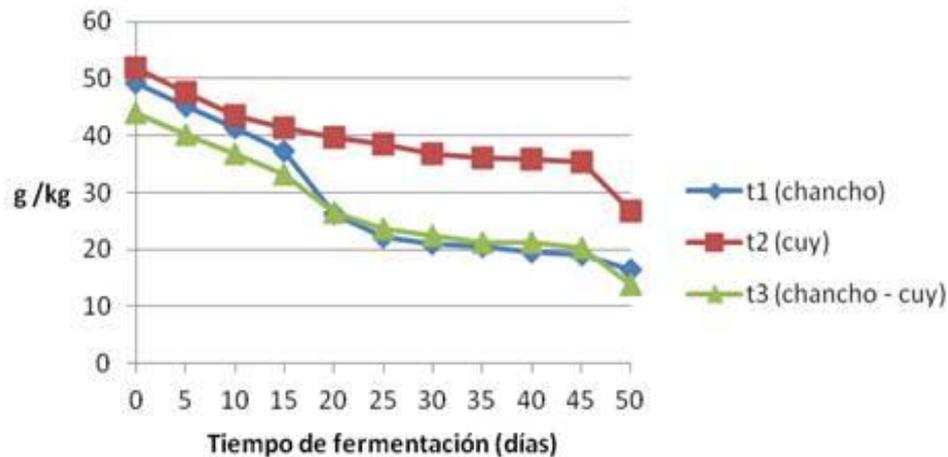


Biofertilizante líquido



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curva de DQO en la fermentación de 3 tipos de estiércol (biomasa)



- A menor valor de DQO, mayor eficiencia en la conversión de materia orgánica a biogás
- **t1**: desciende de 49,36 a 16,46 g/kg (66,65%)
- **t2**: 51,96 a 26,83 g/kg (48,36%)
- **t3**: 44,05 a 13,77 g/kg (68,74%)

$$F_c = 16,17$$

$$F = \text{al } 0,05 (5,14) \text{ y al } 0,01 (10,92)$$

Al ser $F_c >$ que F los tratamientos son altamente significativos en la disminución de DQO

Prueba de Tukey: t3 vs. t1 = 2,46; t3 vs. t2 = 20,72; t1 vs. t2 = 18,26

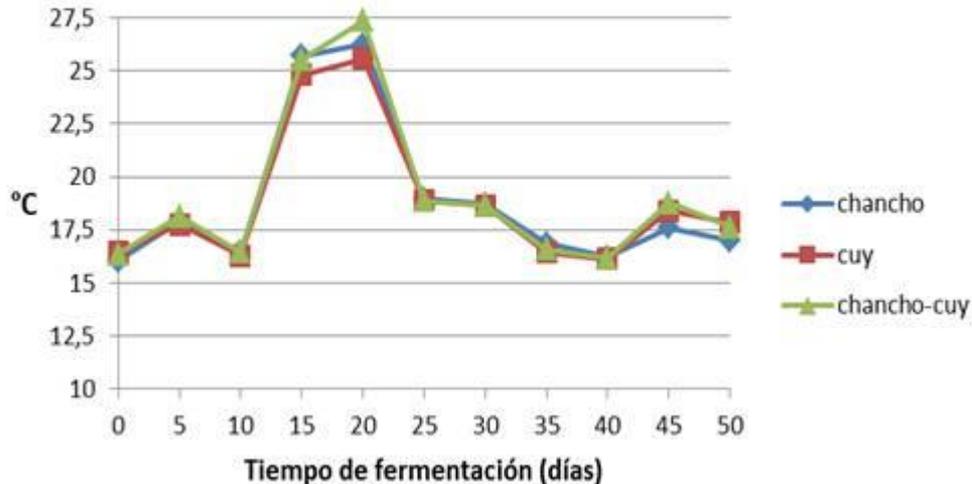
T: al 0,05 (3,46) y al 0,01 (5,24)

Al ser la diferencia de las medias de t3 vs. t1 $<$ T, los 2 tratamientos son los iguales (mejores)

Al ser la diferencias de las medias de t3 vs. t2 y t2 vs. t1 $>$ T, existe una diferencia altamente significativa de t3 y t1 frente a t2, por lo que t2 es menos eficiente (no produjo biogás)

Temperatura

Curvas de temperatura en la fermentación de 3 tipos de estiércoles



- Curvas similares o paralelas
- Arrancan en menos o más 16°C, suben pronto hasta menos o más 27,5 °C y luego van descendiendo hacia el final a valores cercanos 17,5 °C
- Es típico de la fermentación tipo *batch*)

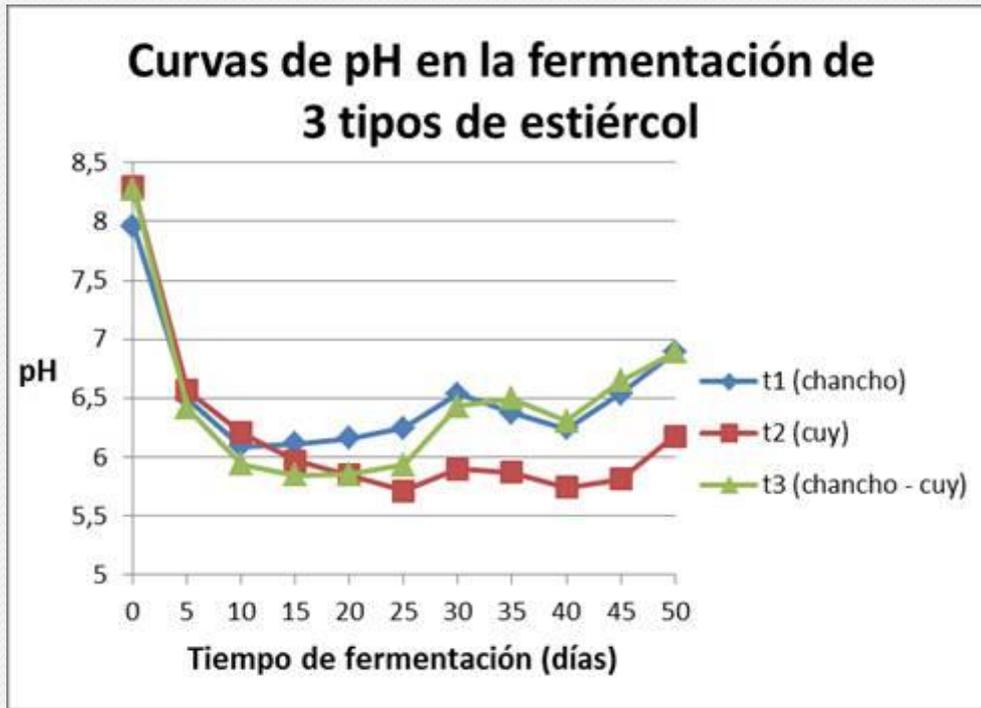
$$F_c = 3,24$$

$$F = \text{al } 0,05 (5,14) \text{ y al } 0,01 (10,92)$$

Al ser $F_c < F$ los tratamientos no inciden significativamente en la temperatura de fermentación

- En general, en los biodigestores, la fermentación anaeróbica suele alcanzar mayores valores pero en el ensayo se trabajó a una media general de 18,96 °C.
- Probablemente influyó la temporada fría y el tamaño de los biodigestores

Potencial hidrógeno (pH)



- Curvas semi-paralelas
- Parten de 8, descienden pronto hasta menos o más 6 en la 1ra y 2da semanas; luego t1 y t3 se vuelven a elevar hasta cerca de 7, mientras que t2 solamente hasta 6,17
- La caída a menos de 7 y ascenso hasta niveles neutros es común en la fermentación anaeróbica

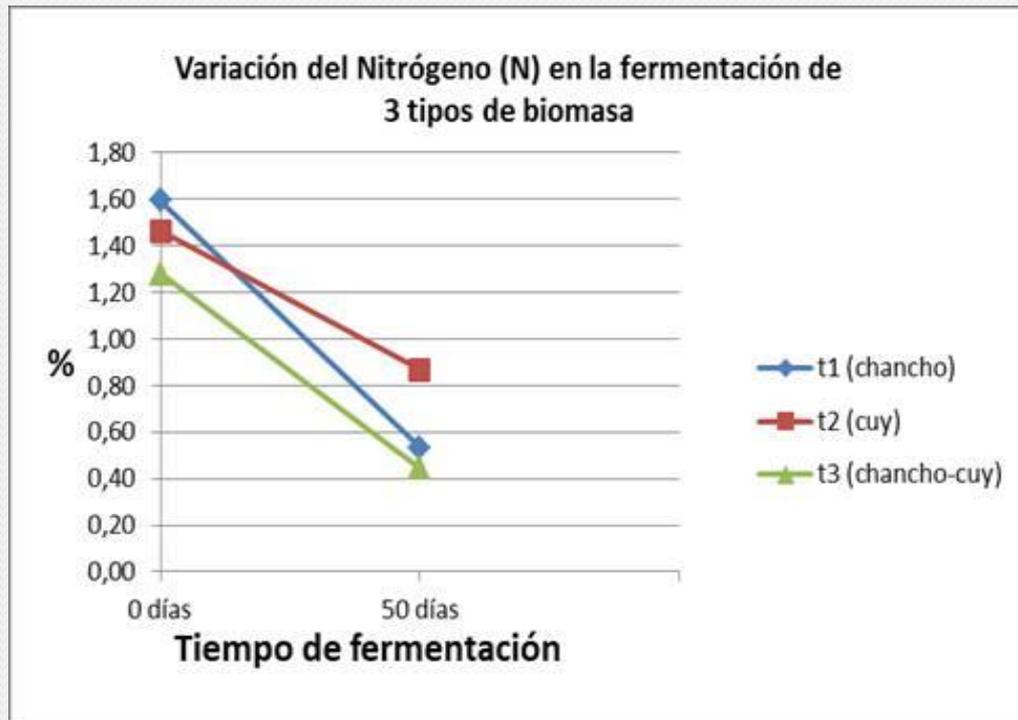
$$F_c = 1,38$$

$$F = \text{al } 0,05 (5,14) \text{ y al } 0,01 (10,92)$$

Al ser $F_c < F$ los tratamientos no inciden significativamente en el pH del sustrato en fermentación

De todas maneras, la fermentación anaeróbica de excretas de cuy muestra un comportamiento distinto, lo cual podría estar en interrelación con la DQO. De hecho, un sustrato más ácido es menos eficiencia en la conversión de materia orgánica a biogás

Nitrógeno (N)



- Curvas relativamente paralelas
- t1: 1,60 a 0,53%
- t2: 1,46 a 0,87%
- t3: 1,28 a 0,45%

$$F_c = 1,41$$

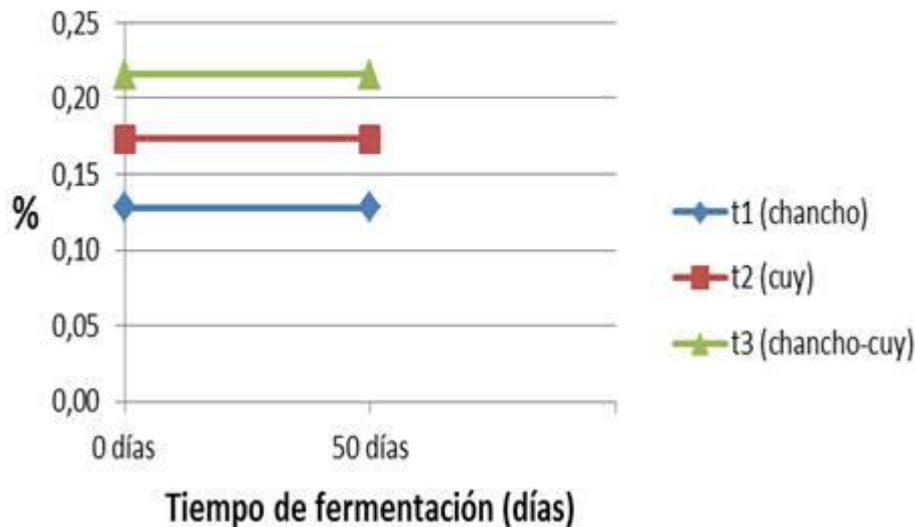
$$F = \text{al } 0,05 (5,14) \text{ y al } 0,01 (10,92)$$

Al ser $F_c < F$ los tratamientos no inciden significativamente en el contenido de Nitrógeno del biofertilizante

- De todas maneras, visualmente la fermentación anaeróbica de excretas de cuy, al disminuir menos en el contenido de N vuelve a mostrarse diferente, lo cual podría estar en interrelación con la DQO y pH.

Fósforo (P)

Variación de Fósforo (P) en la fermentación de 3 tipos de estiércol



- Curvas estáticas
- t1: 0,13% estable
- t2: 0,17% estable
- t3: 0,22% estable

$F_c = 0,00$

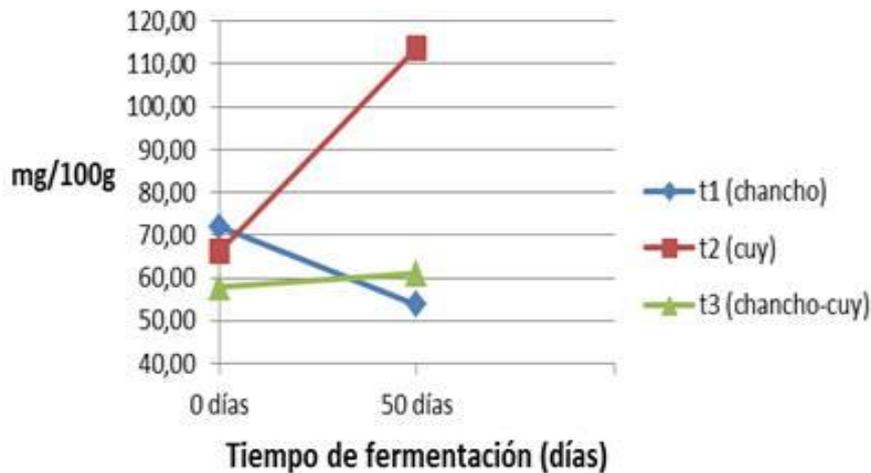
$F = \text{al } 0,05 (5,14) \text{ y al } 0,01 (10,92)$

Al ser $F_c < F$ los tratamientos no inciden significativamente en el contenido de Fósforo del biofertilizante

De todas maneras, visualmente la fermentación anaeróbica de la mezcla de excretas muestra un contenido ligeramente de Fósforo que los otros 2

Potasio

Variación de Potasio (K) en la fermentación de 3 tipos de estiércol



- **t1:** desciende de 71,97 a 53,67 mg/100g
- **t2:** incremento de 66,04 a 113,86 mg/100g
- **t3:** Leve incremento de 57,83 a 61,05 mg/100g

F_c = 12,91

F = al 0,05 (5,14) y al 0,01 (10,92)

Al ser $F_c > F$ los tratamientos son altamente significativos en la variación del K

Prueba de Tukey: t3 vs. t1 = 11,27; t3 vs. t2 = 40,79; t1 vs. t2 = 29,52

T: al 0,05 (3,46) y al 0,01 (5,24)

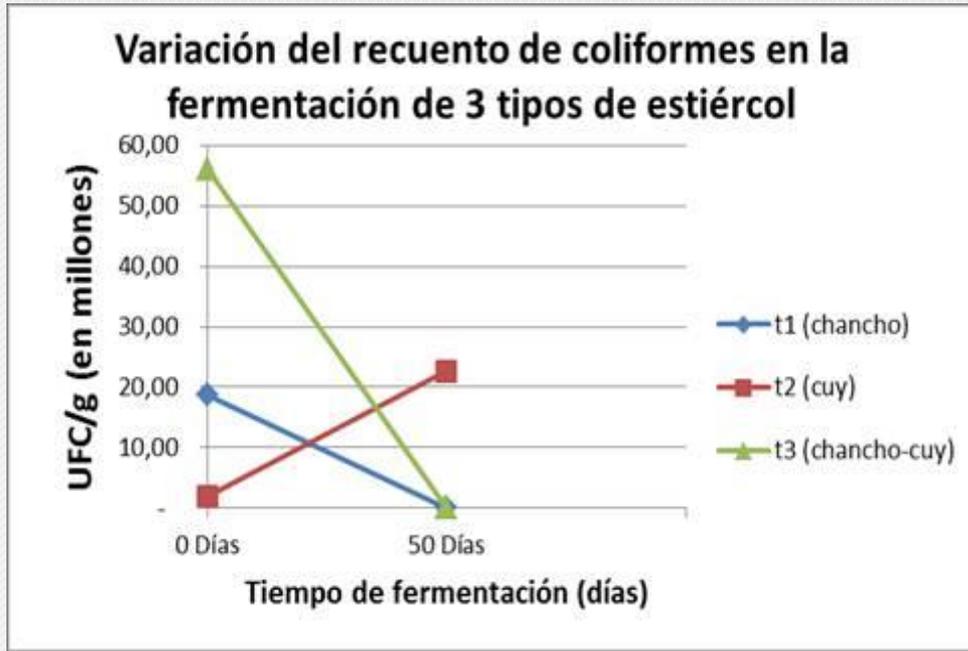
Al ser la diferencia de las medias de t3 vs. t1 $> T$, los 2 tratamientos son altamente diferentes

Al ser la diferencia de las medias de t3 vs. t2 $> T$, los 2 tratamientos son altamente diferentes

Al ser la diferencia de las medias de t1 vs. t2 $> T$, los 2 tratamientos son altamente diferentes

La fermentación de excretas de cuy (t2) es el mejor tratamiento

Conteo de coliformes



- La disminución de coliformes fecales equivale a descontaminación
- **t1**: desciende de 18,7 millones a 26mil (99,86%)
- **t2**: incremento de 2millones a 22,67millones (más de 1000%)
- **t3**: 56 millones a 44mil (99,92%)

$$F_c = 27,72$$

$$F = \text{al } 0,05 (5,14) \text{ y al } 0,01 (10,92)$$

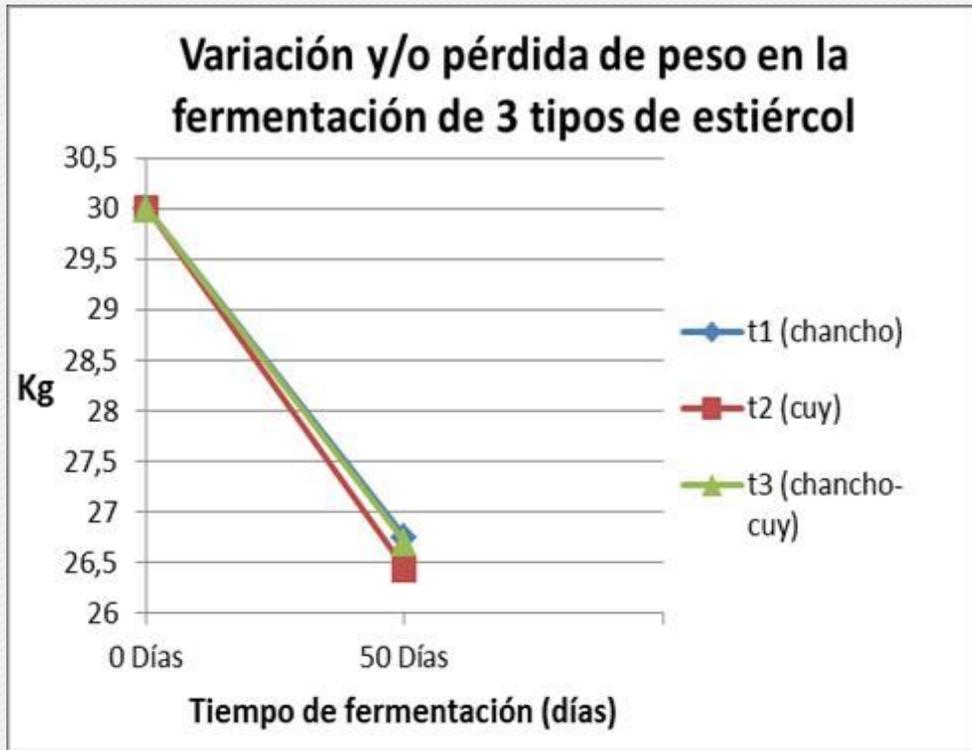
Al ser $F_c > F$ los tratamientos son altamente significativos en la disminución de coliformes patógenos

Prueba de Tukey: t3 vs. t1 = $3,79E+07$; t3 vs. t2 = $7,67E+07$; t1 vs. t2 = $3,88E+07$

T: al 0,05 (3,46) y al 0,01 (5,24)

Al ser las diferencias de las medias entre t3, t1, t2 < T, los 3 tratamientos muestran una diferencia altamente significativa. La MEZCLA ES MEJOR

Cantidad de biofertilizante



- Curvas paralelas
- Todas parte del peso inicial de 30 kg
- Y todas disminuyen a valores alrededor de 26 kg

$$F_c = 2.23$$

$$F = \text{al } 0,05 (5,14) \text{ y al } 0,01 (10,92)$$

Al ser $F_c < F$ los tratamientos no inciden significativamente en la cantidad de biofertilizante

NOTA: Las pérdidas de peso se deben a la eliminación de biogás por combustión (t1 y t3) y a la extracción de muestras de las unidades experimentales en 11 ocasiones en cantidades de 200g que difícilmente se pudieron dosificar con precisión: SE SUGIERE DESCARTARLA

Tiempo de retención

Noción general:

- **t1** empezó a combustionar el biogás desde los 15 hasta los 45 días
- **t2** no quemó en ningún momento
- **t3** empezó a combustionar el biogás desde los 20 hasta los 49 días

** Mientras los mini-biodigestores de t1 y t3 mostraron hinchamientos los de t2 a veces dejaron notar hendiduras

Calidad del biofertilizante

VARIABLES	TRATAMIENTOS					
	Fermentación con excretas de chancho (t1)		Fermentación con excretas de cuy (t2)		Fermentación con excretas de chancho-cuy (t3)	
DQO (remoción)	66,65%		48,36%		68,74%	
	<i>Diferencia entre tratamientos (Fisher)</i>					
	a		b		a	
Temperatura (promedio)	18,9		18,8		19,1	
	Diferencia entre tratamientos NO significativa (Fisher)					
pH (final)	6,89		6,17		6,89	
	Diferencia entre tratamientos NO significativa (Fisher)					
Nitrógeno	Inicial (%)	Final (%)	Inicial (%)	Final (%)	Inicial (%)	Final (%)
	1,6	0,53	1,46	0,87	1,28	0,45
	Diferencia entre tratamientos NO significativa (Fisher)					
Fósforo	Inicial (%)	Final (%)	Inicial (%)	Final (%)	Inicial (%)	Final (%)
	0,22	0,22	0,17	0,17	0,13	0,13
	Diferencias entre tratamientos NO significativa (Fisher)					
Potasio	Inicial (mg/100g)	Final (mg/100g)	Inicial (mg/100g)	Final (mg/100g)	Inicial (mg/100g)	Final (mg/100g)
	71,97	53,67	66,04	113,86	57,83	61,05
	<i>Disminución</i>		<i>Incremento</i>		<i>Leve incremento</i>	
	b		a		c	
Reducción de coliformes	99,86%		Incremento del 1000		99,92%	
	b		c		a	
Tiempo de retención	45 días		50 días		50 días	
Combustión de biogás (*)	Si		No		Si	
a, b, c Calificación con Prueba de Tukey						

5. CONCLUSIONES

- Se comprueba parcialmente la hipótesis referida a que las variables Demanda Química de Oxígeno DQO, temperatura y pH tienen correlación directa con el tipo de estiércol asignado a fermentar. Los procesos de fermentación anaeróbica de las excretas de chanco, cuy y mezcla muestran comportamientos parcialmente diferentes entre sí en cuanto a la DQO
- Para la temperatura y pH registran diferencias no significativas
- Los tratamientos t3 (fermentación de excretas de chanco y cuy al 50:50%) y t1(fermentación de excretas de chanco) son los mejores en cuanto a la DQO, que indirectamente permite apreciar la conversión de materia orgánica a biogás

5. CONCLUSIONES

- La variación en el contenido de los macroelementos en los procesos de fermentación anaeróbica de las excretas de chanco, de cuy y mezcla no es significativa para el caso del Nitrógeno (N) y Fósforo (P).
- Para el Potasio (K) se comprueba la diferencia entre los 3 tratamientos, concluyendo que el biofertilizante a partir de las excretas de cuy (t2) tiene un mayor contenido de potasio por el incremento equivalente al 172,41%.

5. CONCLUSIONES

- La **descontaminación y remoción de los microorganismos patógenos fecales** presenta diferencias estadísticas significativas por efectos de la fermentación anaeróbica de cada tipo de estiércol, concluyéndose que la mezcla de excretas de chanco y cuy fermentadas, es el mejor tratamiento, con una disminución de unidades fecales coliformes del 99,92%, la más cercana al 100%.
- La fermentación de excretas de chanco también presenta resultados interesantes (99,86%)
- La fermentación de excrementos de cuy produjo el biofertilizante de peor calidad en términos de la presencia de coliformes debido a que en lugar de observarse una descontaminación, sufrió un incremento equivalente a 11 veces su valor inicial de ufc.

5. CONCLUSIONES

- En cuanto a los tiempos de retención, se concluye que los 3 tratamientos tuvieron un comportamiento normal a pesar de la temperatura ambiental relativamente baja.
- La diversificación o mezcla de estiércoles tratadas mediante procesos de fermentación anaeróbica permite el la obtención final de un biofertilizante de mejor calidad.
- El valor nutritivo y el costo (0,29usd/litro) de biofertilizantes puede permitir acceder a los agricultores a opciones económicas para fertilizar los suelos.
- La obtención de biofertilizante es una alternativa para dar valor agregado a los mal llamados desechos en las fincas campesinas.

6. RECOMENDACIONES

- Replicar o adoptar la biodigestión de la mezcla de excretas de chanco y cuy para tener un mejor proceso fermentativo anaeróbico y obtener un fertilizante de mayor calidad.
- No se recomienda replicar la fermentación con estiércol de cuy a menos que se lo mezcle con otros estiércoles o biomasa que aseguren la inoculación de bacterias metanogénicas, necesarias para la generación de metano, indicador directo de una adecuada fermentación.
- Insistir en la evaluación de estas y otras variables que conduzcan a respuestas más claras y a la construcción de nuevos conocimientos en torno a la fermentación de estiércoles de cuy exclusivamente, incluyendo como variable de estudio la determinación de los tipos de bacterias (metanogénicas o no) presentes en el sustrato líquido con excretas de cuy únicamente.

6. RECOMENDACIONES

- Estudiar también la solubilidad de N, P y K y otros elementos minerales.
- Modificar las proporciones o porcentajes de uno y otro excremento en la fermentación de mezclas de excretas de chanco y cuy, con el propósito de observar las tendencias.
- Usar plástico como cubierta “tipo invernadero” para disminuir enfriamientos y lograr mayor efectividad en la descontaminación patógena.
- Que en las fincas campesinas que manejan animales menores y biodigestores, se ensaye la mezcla de estiércoles con excrementos de cuy en la operación de los biodigestores tubulares de flujo continuo con el propósito de mejorar el rendimiento y la calidad del biofertilizante.
- Considerar el estudio de las temperaturas de fermentación más óptimas en biodigestores de flujo continuo.



GRACIAS