

TERCER SIMPOSIO DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL PERÚ

Logística, reciclaje, reuso, Tratamiento y disposición final



“Influencia del Abono Bocashi sobre la producción de biogás y biol en biodigestores tipo batch”



Presentado por:

Ing. Allen André Torres Torres

Asesores:

Ing. Lawrence Quipuzco Ushñahua

Dr. Víctor Meza Contreras

OBJETIVOS

- **Evaluar la influencia del abono bocashi sobre la producción de biogás y biol en biodigestores tipo batch.**

Objetivos Específicos

- Evaluar la calidad de biogás y biol al utilizar abono bocashi en biodigestores tipo batch.
- Determinar la cantidad de biogás al utilizar abono bocashi en biodigestores tipo batch.
- Determinar el tiempo de retención al utilizar abono bocashi en biodigestores tipo batch.

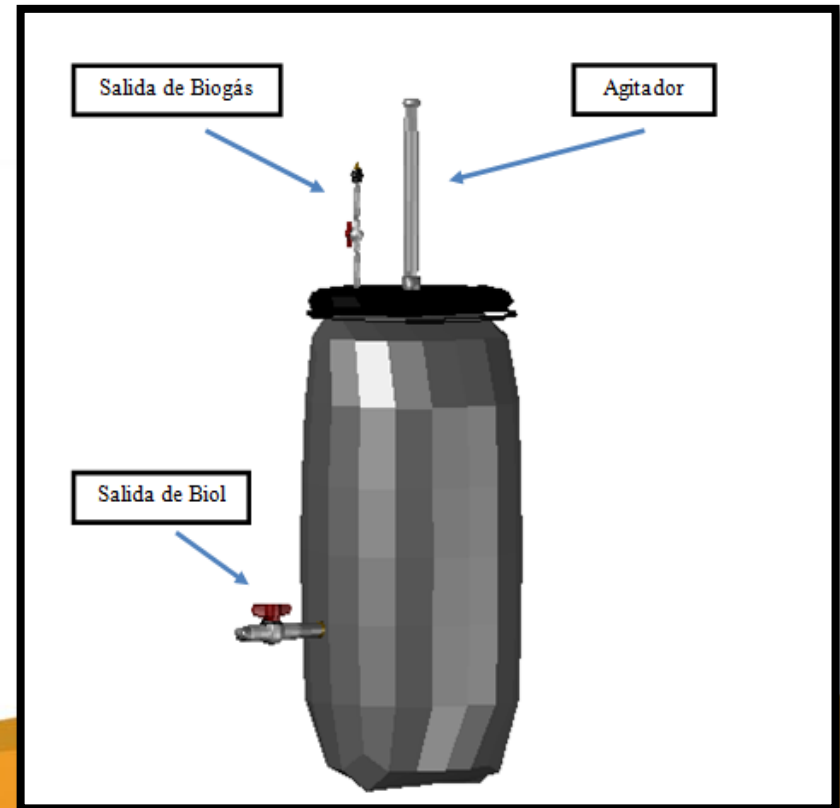
METODOLOGIA



METODOLOGIA

1. Construcción de biodigestores

- Se construyeron 9 prototipos de biodigestor del tipo batch, para lo cual se utilizaron bidones de plástico de 20 galones de capacidad.
- La estructura del prototipo batch cuenta con una salida de biol, una salida de gas y un agitador para el sustrato.



Esquema de biodigestor

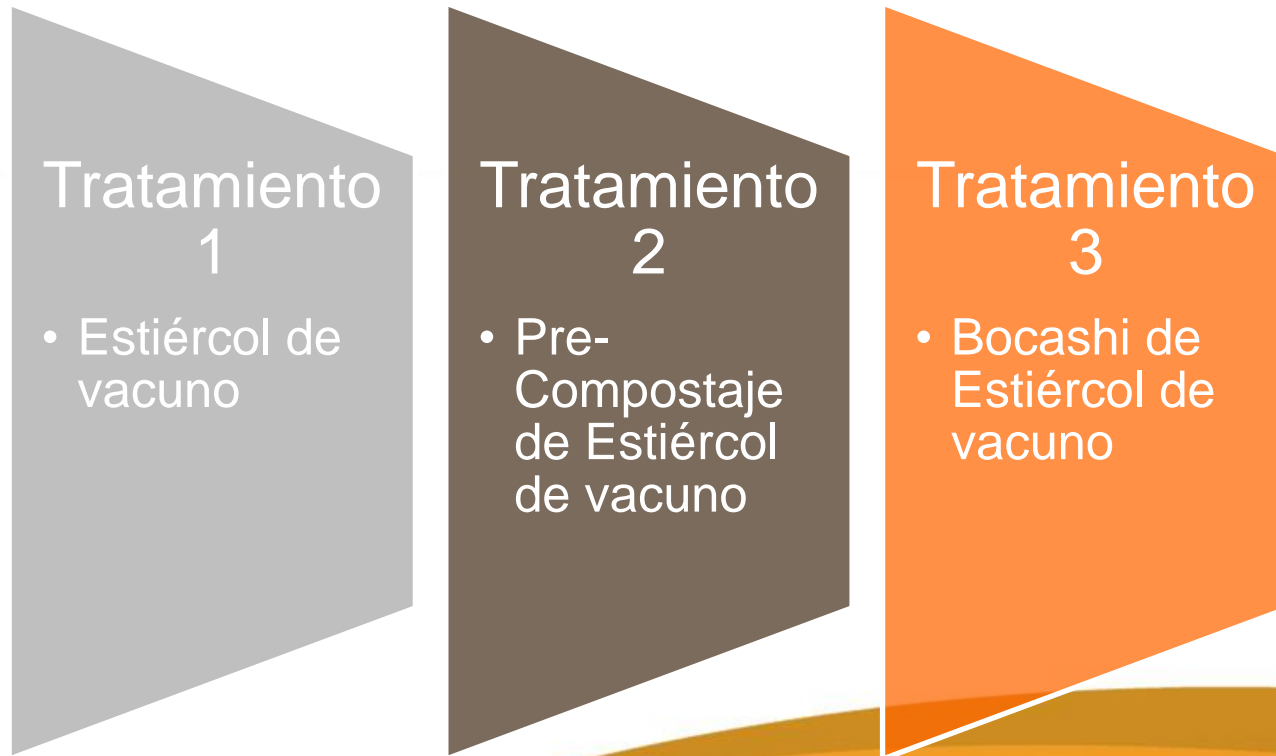
METODOLOGIA



Biodigestor Tipo Batch

METODOLOGIA

2. Elaboración de los Tratamientos



Estiércol de vacuno: Sustrato obtenido del Establo la Molina, a cargo de la Unidad Experimental de Zootecnia. UNALM

METODOLOGIA

2. Elaboración de los Tratamientos

2.1. Tratamiento 1 : Estiércol de vacuno

- Se acondicionó 1 bidón de plástico de 20 galones cada uno, con el fin de recolectar el estiércol proveniente del establo La Molina.
- El peso aproximado del estiércol de vacuno traído en el bidón fue de 67 kilos.

METODOLOGIA

2. Elaboración de los Tratamientos

2.2. Tratamiento 2 : Pre-Compostaje de Estiércol de vacuno

- Se acondicionaron 3 bidones de plástico de 20 galones cada uno, con el fin de recolectar el estiércol proveniente del establo la Molina.
- El peso aproximado del estiércol de vacuno traído en los 3 bidones fue de 200 kg en total.

METODOLOGIA

2. Elaboración de los Tratamientos

2.2. Tratamiento 2 : Pre-Compostaje de Estiércol de vacuno

- El pre-compostaje consistió en la aireación y humedecimiento del estiércol de vacuno. El pre-compostaje se realizó en condiciones aeróbicas con una duración de 37 días.
- Según APROLAB (2007), la materia orgánica se descompone a través de la actividad de los microorganismos (bacterias, hongos, etc.) que se van alimentando de ella. Pero para poder hacerlo necesitan oxígeno y agua.

METODOLOGIA



Volteo diario del estiércol de vacuno pre-tratado



Estiércol de vacuno pre-tratado cubierto

METODOLOGIA

2. Elaboración de los Tratamientos

2.3. Tratamiento 3 : Bocashi de Estiércol de vacuno

- Previamente se acondicionaron 3 bidones de plástico de 20 galones cada uno, con el fin de recolectar el estiércol proveniente del establo la Molina.
- El peso aproximado del estiércol de vacuno traído en los 3 bidones fue de 200 kg en total.

METODOLOGIA

2. Elaboración de los Tratamientos

2.3. Tratamiento 3 : Bocashi de Estiércol de vacuno

- El abono bocashi consistió en el volteo del estiércol de vacuno para fomentar la aireación y el humedecimiento del mismo con solución de Microorganismos Benéficos preparado anteriormente.
- El abono bocashi fue realizado en condiciones aerobias con una duración de 7 días.

METODOLOGIA

Microorganismos Benéficos

- Para utilizar los Microorganismos Benéficos en el abono Bocashi primero debemos activarlos, es decir sacarlos de su estado de latencia en que se encuentran como producto comercial.

Lista de ingredientes:

- 10 kg Col fresca
- 10 litros Agua hervida
- 1Kg Sal
- 3Kg Melaza
- 3Kg de hígado de res

METODOLOGIA

- Los ingredientes se mezclaron y se homogenizaron, en un bidón de 20 galones.
- Fue necesario que este bidón tenga una llave de paso porque continuamente se debía sacar un pequeño volumen de la mezcla, con el objetivo de medir el pH y monitorear durante 22 días si la mezcla se encontraba en el rango requerido para la presente investigación.
- Según Barre (2003) el pH deseado dentro de una solución activada debe ser menor de 4.0, siendo sus niveles óptimos menores de 3.5. Valores superiores a 4.0 indican que la solución activada se dañó por presencia de microorganismos indeseables.
- La solución se dejó en observación por un mes. Se tomó una muestra para su posterior análisis de conteo de microorganismos en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso

METODOLOGIA

2.3. Tratamiento 3 : Bocashi de Estiércol de vacuno

- El volteo se realizó diariamente mientras que el humedecimiento se realizó cada 2 o 3 días debido a la alta humedad que contenía el estiércol de vacuno.
- Bajo condiciones aeróbicas, la mezcla se fermenta muy rápido. Por ello el Bocashi está listo para ser utilizado cuando este libera un olor dulce producto de la fermentación.

METODOLOGIA

- 2.3. Tratamiento 3 : Bocashi de Estiércol de vacuno



**Humedecimiento del estiércol con solución de
Microorganismos Benéficos**

METODOLOGIA

3. Análisis de la humedad (%) y relación Carbono: Nitrógeno (C:N) del estiércol de vacuno

- Se obtuvo una muestra de estiércol de vacuno de diferentes puntos del establo La Molina. Se procedió a homogenizar el estiércol y vaciar 250 gr. en un envase de vidrio.
- La muestra fue llevada al laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Para la determinación de estos parámetros se utilizarán los métodos sugeridos por la ASTM 5142-90 “Método de análisis aproximado de Carbono” y la BGI. II Nr. 292/2001 “Método de microKjeldhal”.

Muestra	% Humedad	% Ceniza	% MS	% Carbono	% Nitrógeno	C/N
Estiércol de vacuno	80,20	4,74	75,00	43,50	3,44	12,63

Resultados de análisis de determinación de contenido de humedad, carbono y nitrógeno en el Laboratorio de Análisis Químico de la UNALM

METODOLOGIA

4. Carga de los biodigestores

- Se trabajó con un porcentaje de sólidos totales del 5%.
- Según Schlaefli (2010), la siguiente formula nos permite calcular la cantidad de sustrato necesario para obtener el porcentaje de sólido deseado:

$$Kg \text{ sustrato} = \left(\frac{ST * 100}{\% \text{ Materia Seca}} \right)$$

Donde:

- ST: Representa la cantidad necesaria de sólidos totales en el biodigestor, que fue del 5% del volumen útil del reactor.

- El porcentaje de materia seca se calcula restando el porcentaje de humedad y el 100%. Para el caso del estiércol de vacuno se tiene una humedad de 80.20% por lo que el % Materia Seca corresponde a un 19.80 %.

METODOLOGIA

4. Carga de los biodigestores

- Para realizar el cálculo del sustrato se calculó primero el volumen útil del reactor que corresponde a 60.56 litros considerando un 80% del volumen total para la fase líquida y el 20% para la fase gaseosa.
- Como se quiere tener un 5% de sólidos contenidos en el reactor, este 5% debe estar contenido dentro del volumen de la fase líquida.

$$\text{Kilos de materia seca} = \text{Volumen útil} * 5\%$$

$$\text{Kilos de materia seca} = 60.56 * 5\%$$

$$\text{Kilos de materia seca} = 3.028 \text{ kg}$$

- Reemplazando este valor en la ecuación se tiene lo siguiente

$$\text{Kg sustrato} = \left(\frac{3.028 * 100}{19.80} \right)$$

$$\text{Kg sustrato} = 15.30 \text{ kg}$$

METODOLOGIA

4. Carga de los biodigestores

- La cantidad de sustrato utilizado para la carga inicial de los biodigestores se muestra en el cuadro siguiente:

	Estiércol de vacuno fresco (kg)	Pre-Compostaje de Estiércol de vacuno (kg)	Bocashi de Estiércol de vacuno (kg)	Purín de cerdo (L)	Agua (L)
Tratamiento 1	15.30	-	-	6.056	39.204
Tratamiento 2	-	15.30	-	6.056	39.204
Tratamiento 3	-	-	15.30	6.056	39.204

METODOLOGIA

5. Levantamiento de Datos y Toma de Muestras



pH: Para realizar la medición del pH se utilizó un potenciómetro del Laboratorio de Ingeniería Ambiental. La medición se realizó dos veces por semana por espacio de 9 semanas.



Composición del biogás: Para la medición de la composición del biogás se utilizó el equipo Monitor de Gas por Extracción, marca LANTEC, modelo GEM500, el cual nos muestra la composición porcentual de CH₄, CO₂, O₂ y gases trazas en el biogás. Las mediciones se realizaron dos veces por semana en un lapso de 9 semanas.

METODOLOGIA

5. Levantamiento de Datos y Toma de Muestras



Volumen de biogás: Para la medición del volumen de biogás producido se adaptó un sistema de medición basado en el desplazamiento de volúmenes. Esta medición se realizó una vez por semana.



Temperatura: La temperatura se midió con el equipo de Gas por Extracción, marca LANTEC, modelo GEM500, el cual tiene un sensor de temperatura el cual permite medir la temperatura. Las mediciones se realizaron dos veces por semanas durante un lapso de 9 semanas

METODOLOGIA

5. Levantamiento de Datos y Toma de Muestras

Composición Química del Biol

- Las muestras para el análisis de composición química del biol fueron colectadas en frascos de plástico de primer uso de 1 litro de capacidad. El análisis para biol correspondiente a análisis especial de materia orgánica se realizó en el Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (UNALM).

Análisis microbiológico de Biol

- Las muestras para el análisis microbiológico de biol fueron colectadas en frascos de plástico de primer uso de 0.5 litro de capacidad. El análisis se realizó en el Laboratorio Marino Tabusso (UNALM.)

METODOLOGIA

6. Análisis Estadístico

- La parte experimental se planteó como un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con 3 tratamientos y 3 repeticiones cada uno. Se considera como unidad experimental a los reactores, puesto que la unidad experimental es aquella a la cual se le aplica un tratamiento.
- Para la validación estadística de los datos se utilizaron el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de Tukey, la cual permite evaluar la significancia de todas las diferencias entre tratamientos.

RESULTADOS

Microorganismos Benéficos

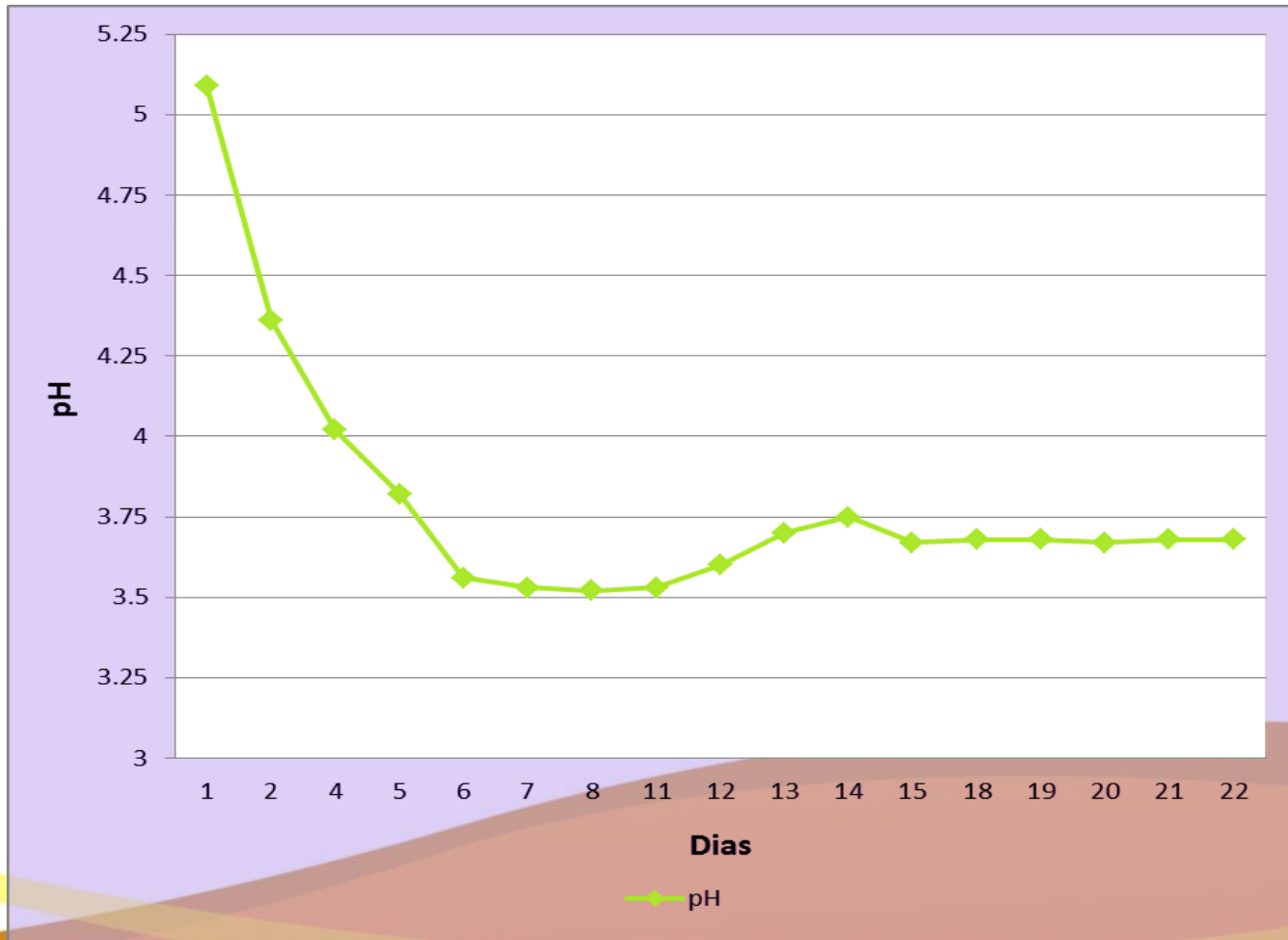
- Comportamiento del pH en los Microorganismos Benéficos
- Análisis de Conteo de Microorganismos

Biodigestores

- Comportamiento del pH
- Comportamiento de la temperatura
- Comportamiento porcentual del metano
- Producción de biogás
- Volumen acumulado de biogás
- Composición química del biol
- Análisis microbiológico del biol

RESULTADOS

- Comportamiento del pH en los Microorganismos Benéficos



RESULTADOS



Ingredientes mezclados para la activación de microorganismos



Nata de microorganismos formada al mes de realizada la mezcla

RESULTADOS

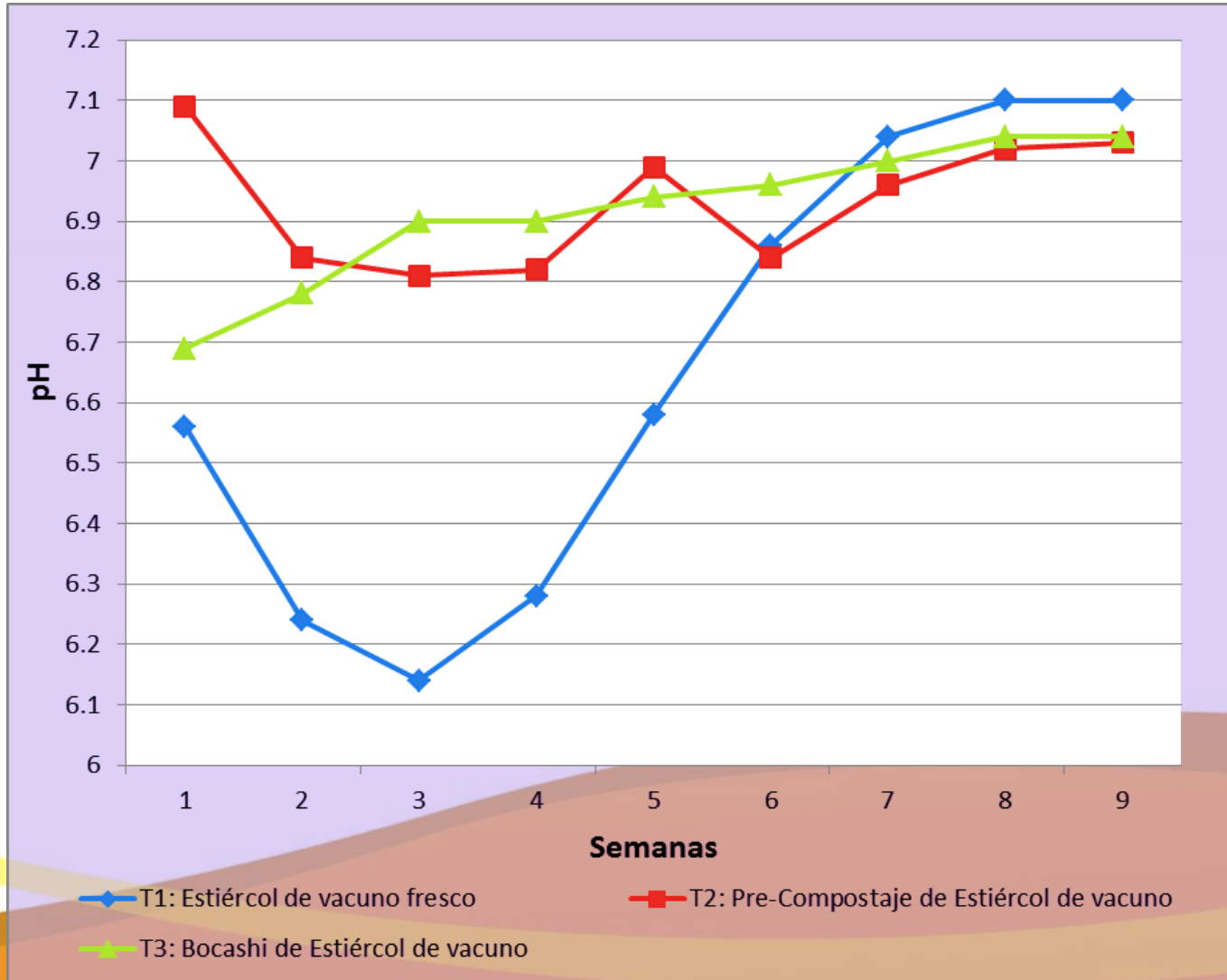
- **Análisis de Conteo de Microorganismos**

Análisis Microbiológico	Número
Recuento de mohos (UFC/g)	24×10^5
Recuento de bacterias ácido lácticas (UFC/g)	54×10^4
Recuento de anaeróbios (UFC/g)	90×10^5

Resultado del análisis de conteo de microorganismos realizado en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso"

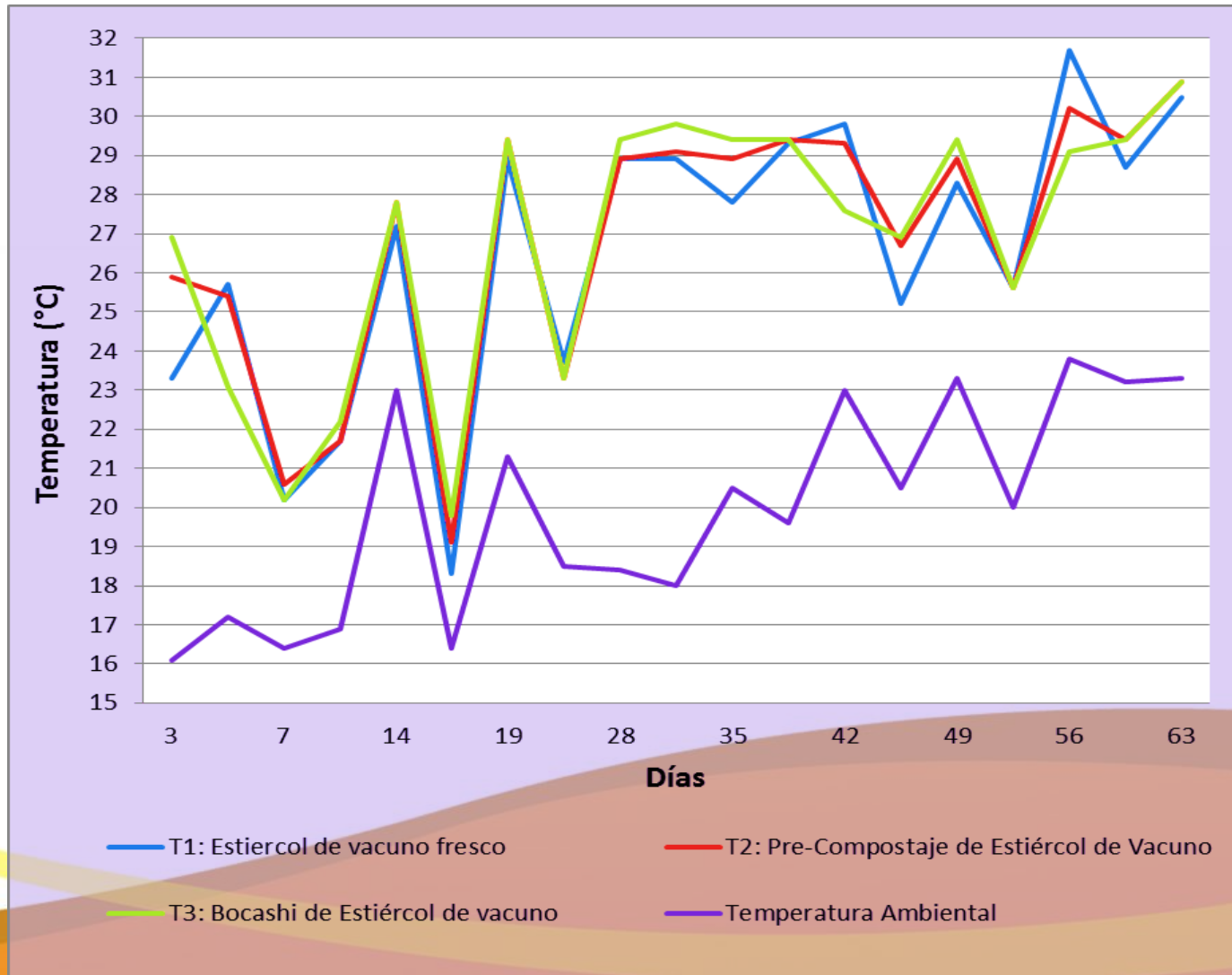
RESULTADOS

- Comportamiento del pH



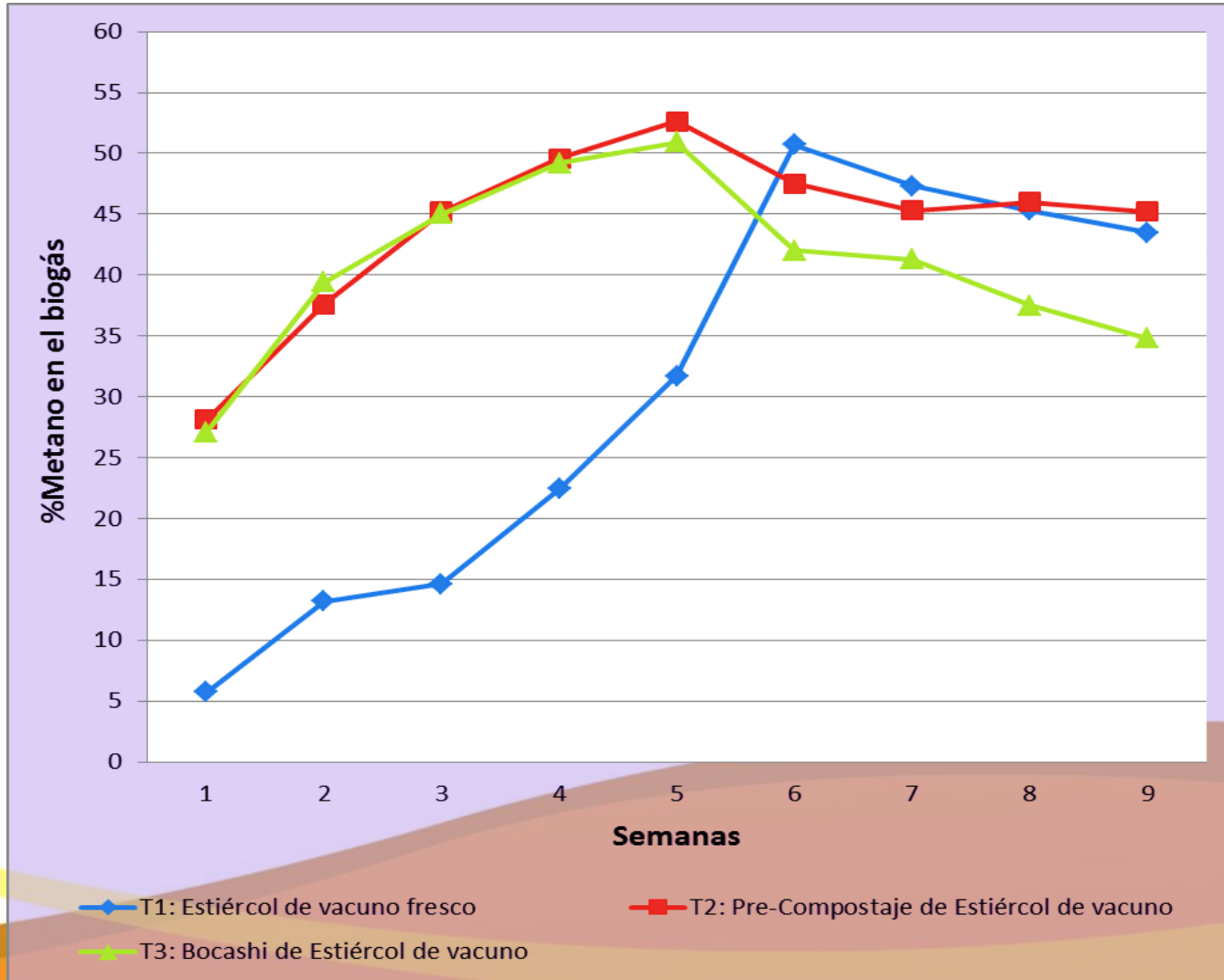
RESULTADOS

- Comportamiento de la temperatura



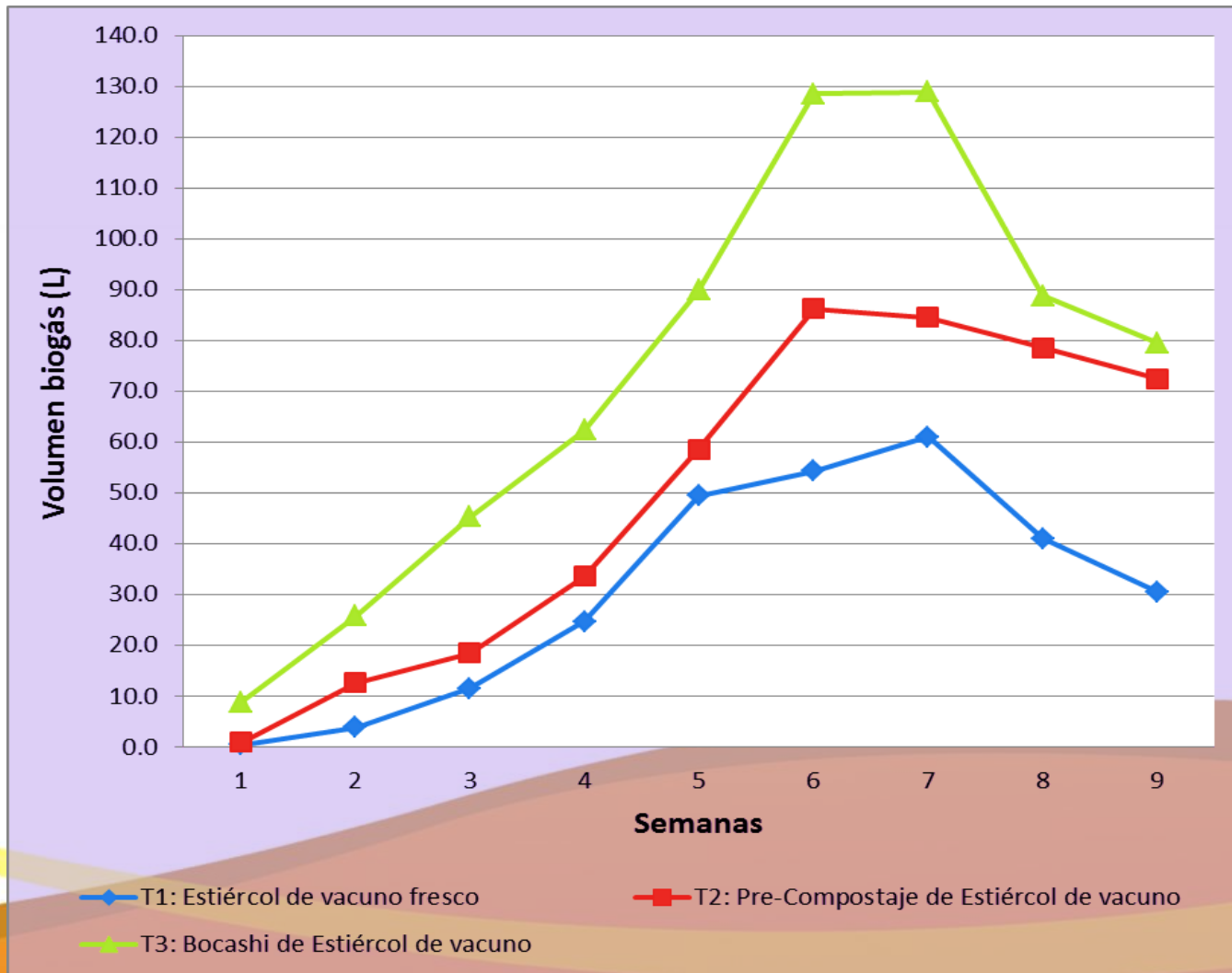
RESULTADOS

- Comportamiento porcentual del metano



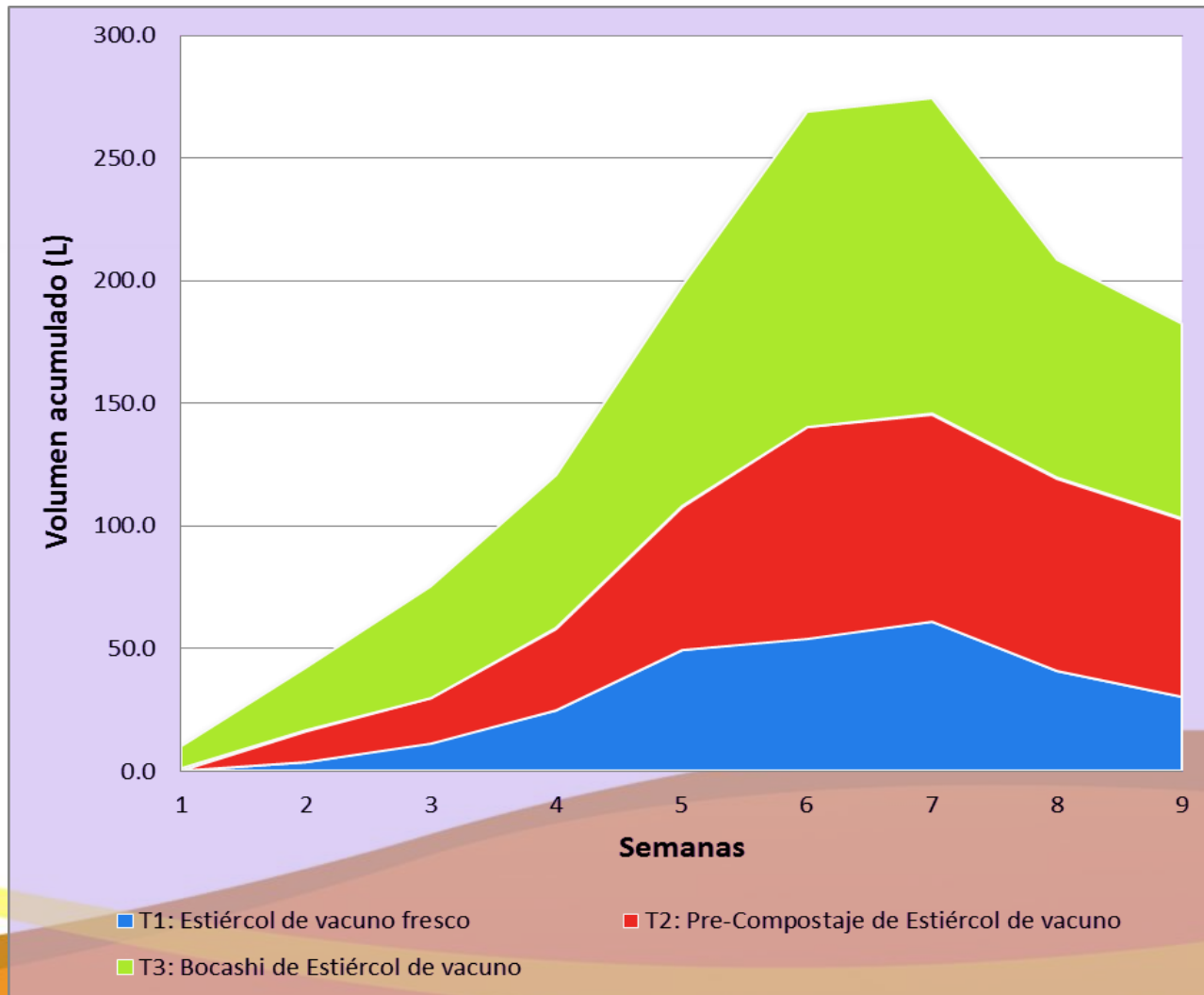
RESULTADOS

- Producción de biogás



RESULTADOS

- Volumen acumulado de biogás



RESULTADOS

- Composición química del biol

Parámetros	Unidad	T1:Estiércol de vacuno	T2: Pre-Compostaje de Estiércol de vacuno	T3:Bocashi de Estiércol de vacuno	BACB(1)	Cárdenas, 2012 (2)	
						EV	RO+EV
pH	-	7.16	7.15	7.14	7.30	6.78	6.69
C.E	dS/m	10.98	9.69	12.9	14.70	9.45	16.03
Sólidos totales	g/l	27.87	22.76	34.26	-	-	-
Materia Orgánica	g/l	18.80	13.73	20.60	4.74	6.70	8.83
N Total	mg/l	1323	1194.7	1551.7	920.0	676.67	814.33
P Total	mg/l	307.97	335.60	423.05	92.20	50.50	26.06
K Total	mg/l	1243.3	1594.2	1885.8	2297.50	755.33	1083.33
Ca Total	mg/l	1157.5	649.17	1044.17	230.60	765.33	1773.33
Mg Total	mg/l	301.67	270.83	334.17	151.20	278.67	224.67
Na Total	mg/l	610	510.83	818.33	667.50	436.00	841.33

(1) BACB: Biol de Agricultura Casa Blanca

(2) Cárdenas, 2012: Evaluación de la calidad de biogás y biol en digestores utilizando estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor pre-tratados con la técnica del bocashi en la UNALM.

RESULTADOS

- Análisis microbiológico del biol

Parámetros	Unidad	T1: Estiércol de vacuno fresco	T2: Pre- Composta je de Estiércol de vacuno	T3: Bocashi de Estiércol de vacuno	Cárdenas, 2012	
					EV ⁽¹⁾	RO+EV ⁽²⁾
Coliformes Totales	NMP/100ml	61.7x10	41.67x10	22.1x10	50x10	40
Coliformes Fecales	NMP/100ml	13	24.7x10	10	50x10	40

(1) EV: Estiércol de vaca + chala de maíz

(2) RO+EV: Bocashi de Residuos Orgánicos más estiércol de vaca con chala de maíz

ANALISIS ESTADISTICO

- **Calidad de biogás**

a) Prueba de ANVA

$\alpha = 0.05$

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft(2,16)
Tratamientos	2	2550.9133	1275.456667	13.2901217	3.63
Bloques	8	767.7622222	95.97027778		
Error Experimental	16	1308.1711	81.76069444		
Total	26	4626.846667			

ANALISIS ESTADISTICO

b) Prueba de comparación de Tukey

$\alpha = 0.05$

Grados de Libertad del Error (GL): 16

Amplitud Límite Significativa de Tukey: 11.00129715

Tratamientos Comparados	Media	Significancia
1 y 2	12.59	*
1 y 3	9.31	n.s
2 y 3	3.28	n.s

(*): Existe diferencia significativa entre los tratamientos

(n.s): No existe diferencia significativa entre los tratamientos

ANALISIS ESTADISTICO

- **Volumen de biogás**

a) Prueba de ANVA

$\alpha = 0.05$

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft(2,16)
Tratamientos	2	24620.16963	12310.08481	12.1421377	3.63
Bloques	8	8110.654074	1013.831759		
Error Experimental	16	2314.865926	144.6791204		
Total	26	35045.68963			

ANALISIS ESTADISTICO

b) Prueba de comparación de Tukey

$\alpha = 0.05$

Grados de Libertad del Error (GL): 16

Amplitud Límite Significativa de Tukey: 14.63438713

Tratamientos Comparados	Media	Significancia
1 y 2	18.82	*
1 y 3	42.37	*
2 y 3	23.54	*

(*): Existe diferencia significativa entre los tratamientos

CONCLUSIONES

- El estiércol de vacuno, es un material que contiene gran cantidad de microorganismos que facilitan la actividad metanogénica. Sin embargo, este sustrato no se encuentra directamente aprovechable para la digestión anaerobia, los rastros que se encuentran en su composición presentan gran cantidad de lignina, celulosa y hemicelulosa, compuestos que inhiben el proceso.
- Se ha determinado la influencia de la temperatura ambiental sobre la temperatura interna de los reactores, siempre manteniéndose la temperatura interna en 6.7°C mayor que la temperatura ambiental.
- La mejor calidad de biogás se presenta en el Tratamiento 2 (52.6%). El análisis estadístico nos muestra que hubo diferencia significativa respecto a los resultados del Tratamiento 1 (50.7%). Por otro lado no hubo significancia entre el Tratamiento 3 (50.9 %) y el Tratamiento 1.

CONCLUSIONES

- Para el caso del Tratamiento 2 y Tratamiento 3 el tiempo de retención en el cual se da la mayor producción de metano es en la semana 5 de haber iniciado la fase experimental, mientras que el Tratamiento 1 lo consigue una semana después.
- El volumen de biogás obtenido utilizando abono bocashi (Tratamiento 3) en términos de volumen acumulado equivale a 657.7 litros, éste volumen fue mayor que el producido al realizar el pre-compostaje (Tratamiento 2) que equivale a 445.8 litros de volumen acumulado y al volumen acumulado al no realizar tratamiento previo (Tratamiento 1) que equivale a 276.4 litros.

CONCLUSIONES

- La calidad del biol para el Tratamiento 3 presenta concentraciones más elevadas en macronutrientes en comparación al biol obtenido con los otros dos Tratamientos, esto se debe a la calidad del sustrato obtenido previo a la carga de los biodigestores.
- Se ha determinado que el número de organismos patógenos: Coliformes Totales y Coliformes Fecales cumple con la normativa de los estándares de calidad ambiental para agua de riego (D.S. 002-2008- MINAM) obteniéndose valores por debajo, en el Tratamiento 3.

RECOMENDACIONES

- Los resultados de la presente investigación pueden ser utilizados como línea base para profundizar en las investigaciones sobre aplicar tratamientos más efectivos al sustrato para mejorar la producción de biogás y biol.
- Plantear el uso de otros ingredientes para la activación de microorganismos benéficos, para determinar que insumos pueden dar una mayor proliferación de éstos con el fin de elaborar un abono bocashi de mejor calidad.
- Plantear la inclusión de la relación Carbono: Nitrógeno (C:N) para la carga en los digestores. Se recomienda para lograr un proceso eficiente considerar otros sustratos para lograr una relación óptima de carbono nitrógeno de 25-30 con el fin de optimizar el proceso de biodigestión y mejorar la calidad de los productos finales.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener el pH en los rangos óptimos de 6.5 -7.5 durante el proceso de metanogénesis, en caso exista un descenso del pH agregar cal para regular el sistema, caso contrario de hallarse un aumento del pH agregar melaza.
- Para el caso de un sistema batch el tiempo de retención se encuentra entre los 60-80 días, para nuestra investigación el tiempo de retención dado fue de 63 días, por lo que se recomienda dejar madurar por más tiempo el fertilizantes líquido antes de extraer las muestras bacteriológicas con el fin de que la reducción de las bacterias sea mayor.
- En el caso de obtener resultados de bioles con concentraciones altas de patógenos, se recomienda tratar posteriormente el biol mediante bioles de segunda generación.

RECOMENDACIONES

- Es importante realizar una prueba o ensayo de germinación antes de aplicar el biol directamente como fertilizante para conocer su concentración y determinar la dosis a utilizar y evitar efectos negativos sobre los cultivos.
- Realizar pruebas de seguridad a los reactores para evitar la fuga de gas durante el proceso de digestión y la entrada de oxígeno que pueda mermar la producción de biogás.