

Modelo físico matemático de las constantes cinéticas en la biodegradación anaeróbica de la vinaza

Physical mathematical model of the kinetic constants in the anaerobic biodegradation of the vinaza

¹Víctor Manuel Terry Calderón^a

RESUMEN

Para el proceso de biodegradación de las vinazas procedente de la destilería de Alcohol, la vinaza debe neutralizada con CaO, hasta un pH:7,00 y diluida según programación (2500, 3000 y 4000 mg/l de solidos totales) se consideró para el estudio tres tratamientos a temperatura de T1:40, T2:45 y T3:50 °C y considerando como agente para generar el respectivo inóculo las heces de cuy y colocados en un Bioreactor con un volumen de trabajo de 3000 ml. Teniendo como tampón al acetato de sodio, bicarbonato de sodio El biogás generado en función del tiempo se aplicó el modelo de la cinética química, adaptada a procesos de fermentación, y determinando los valores cinéticos de las constantes de velocidad de producción de Biogás K_{40C} , K_{45C} y K_{50C} , para las diferentes concentraciones de sustrato que varían de 2500 a 4000 mg/l. Se caracterizó la vinaza como son pH, la DBO, sólidos totales, y % de acidez de la vinaza para su tratamiento, así como la composición de la excreta del cuy, en valores como el NPK (nitrógeno-potasio – fosforo), definiendo también la relación C/N, que se balanceo a 30, con la respectiva vinaza, considerando que la vinaza tiene una relación C/N: 52/l, y las heces del cuy 17,4/l. para una concentración de 2500 mg/l de concentración de sólidos en la vinaza y para las tres temperaturas programadas se determinó la siguiente ecuación para la constante de velocidad $K=8,869.e^{-0,043(T)}$ para una concentración 3000mg/l se determinó la constante de velocidad $K=8,999.e^{-0,033(T)}$ y para una concentración de 4000 mg/l, se encontró $K_{ii}=81,106.e^{-0,08(T)}$, donde T, representa la temperatura que varía desde 40 a 50°C. se efectuó un análisis de regresión múltiple cuya ecuación es: $k=-0,45486.e^{-2,3131(T)}.e^{1,2059(T)}$, donde la constante de velocidad (k), se correlaciona con la temperatura (T) y la concentración del sustrato (C), con este modelo se procedió a realizar una simulación del valor k, encontrando por análisis de varianza F, que no existen diferencias significativas entre el valor k(observado) y el k(calculado).

Palabras clave: biogás, vinaza y excretas de cuy

ABSTRACT

For the process of biodegradation of the vinasses from Alcohol Distillery, vinasse must be neutralized with CaO, until a pH:7, 00 and diluted according to programming (2500, 3000 and 4000 mg/l of total solids) was considered for the study three treatments to T1:40, T2:45 and T3:50 ° C temperature and considering as agent to generate the respective inoculum faeces of cuy and placed in a Bioreactor with a workload of 3000 ml. taking as a buffer to the sodium acetate, baking soda the biogas generated in function time it applied the model of chemical kinetics, adapted to fermentation processes, and determining values kinetic constants of speed of production of Biogas K_{40C} , K_{45C} and K_{50C} , for the different concentrations of substrate that vary from 2500 to 4000 mg/l. Characterized the vinasse such as pH, BOD, total solids, and % of acidity of the stillage for treatment, as well as the composition of the excreta of the cuy in values as the NPK (nitrogeno-potasio - phosphorus), also defining the C/N relation, which is rocking at 30, with respective vinasse, whereas the vinasse is a C/N ratio: 52/1, and the Guinea pig 17.4/1, to 2500 mg/l of concentration of solids in the vinasse and for the three temperatures was determined as follows $K=8,869 \cdot e^{0,043(T)}$. $TKe=$, for a concentration 3000 mg/l was determined the speed constant $K=8,999 \cdot e^{0,033(T)}$ and to a concentration of 4000 mg/l were found $K_{ii}=81,106 \cdot e^{-0,08(T)}$, where T represents temperature that varies from 40 to 50 ° C, it took a regression analysis multiple whose equation is: $k=-0,45486 \cdot e^{-2,3131(T)} \cdot e^{1,2059(T)}$, where the rate constant (k), is correlated with the temperature (T) and the concentration of the substrate (C), with this model is proceeded to perform a simulation of the value k, found by analysis of variance F, that there are no significant differences between the value k (observed) and k (calculated).

keyword: biogas, vinasse and cuy heces

¹Universidad Le Cordon Bleu, Lima – Perú.

²Ingeniero Pesquero.

INTRODUCCIÓN

La metanización, o degradación anaerobia de los efluentes, es una tecnología muy eficiente para remover la carga de las vinazas. Permite remover más de 90 % de su DBO, aunque solo unos 70 % de su DQO (Demanda Química de Oxígeno), pues una parte de la DQO está en forma “dura” (no biodegradable); esta fracción es muy baja cuando la materia prima es jugo de caña, muy alta cuando es melaza, e intermedia cuando se utiliza miel A o miel B, (Conil, 2011), durante el proceso de fermentación se distinguen varias etapas y una de ellas es la llamada fase exponencial donde el crecimiento de las bacterias y su producción en nuestro de biogas llega al máximo, siendo necesario que es esa fase se realice el análisis respectivo, y esto es mediante un análisis de regresión exponencial de acuerdo al modelos planteados por Quezada L (2010), para certificar dicho fenómeno y teniendo los resultado de las experiencias ejecutar un análisis regresión multiple con modelos visto por Quezada L (2010) y utilizando el software Excel, para los resultados.

Siendo metanización es la forma más común de tratamiento de las vinazas en el mundo, para lo cual se recomienda una neutralización de la vinaza, para un trabajo más efectivo en la producción de biogás, a la par con la ferti-irrigación, y podemos tener un rendimiento de 8 a 25 m³ de metano por m³ de vinaza. Su tratamiento por compostaje es menos

común pues implica la disponibilidad de grandes cantidades de cachaza u otra materia prima como soporte seco y fibroso.

El biogás puede servir para: a) Vender a empresas de distribución domiciliaria / Generar vapor en una caldera de gas, y electricidad con una turbina (24 horas al día, 365 días al año) / Generar agua caliente para precalentar el agua de las calderas / Generar electricidad en motores de gas o turbinas de gas, b) permite registrar el proyecto como MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio-Protocolo de Kyoto), no solo por la sustitución de energía fósil, sino por evitar la liberación de metano a la atmósfera, que es uno de los principales gases de efecto invernadero. Con este registro los Ingenios pueden vender sobre el mercado internacional, y Europeo en particular, “Certificados de Reducción de Emisiones” de carbono (CER, o “Bonos de Carbono”). c) Ofrece la posibilidad de obtener dos subproductos de alto valor agregado: un biofertilizante líquido y un sedimento sólido o fertilizante orgánico para disponer directamente para su uso agronómico. (Bermúdez, 2011).

Dentro del bioreactor ocurre la digestión anaerobia de la vinaza. Este proceso se realiza por etapas. En la primera etapa se produce la hidrólisis o rompimiento de las cadenas poliméricas en compuestos más sencillos a nivel de monómeros, cuyo tamaño permite el paso a través de la membrana celular.

En la segunda etapa, los monómeros productos de la hidrólisis, son entonces ácidos grasos volátiles, CO_2 y H_2 mediante un proceso intracelular de oxido-reducción. Estas reacciones son posibles por la acción catalizadora de un grupo de bacterias llamadas fermentativas o ácido génicas. En una tercera etapa otro grupo de bacterias denominadas acetogénicas transforman los anteriores compuestos en acetato, produciendo también CO_2 y H_2 . Finalmente en la cuarta etapa, otro grupo de bacterias, las metanogénicas, cumplen la función de transformar el acetato en metano. Además de metano, amoníaco, hidrógeno y ácido sulfhídrico, aunque en concentraciones inferiores. Todos estos gases son los que conforman el biogás. (Bermúdez, 2011).

Siendo el objetivo general el determinar un modelo cinético de la fermentación metánica, para predecir la biodegradación de la vinaza para temperaturas de 40, 45 y 50 °C y la determinación los parámetros de la operación de la fermentación metánica, como son el pH, concentración de soluto, temperatura y el inóculo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de Investigación

La investigación realizada esta basada en ensayos de experimentación de causa efecto, debiendo demostrarse las relaciones entre las variables, dependiente, independiente y intervinientes. Validándose los

instrumentos de medición, y teniendo una significación estadística en la contrastación de la hipótesis.

Población y muestra

Universo

La empresa azucarera, establecida en el Norte del País y que dentro de sus rubros produce azúcar y también etanol enviara las muestras respectivas de vinaza para el desarrollo del presente proyecto de investigación. El Universo es la cantidad de vinaza que vierte a sus desagües después de haber obtenido el Etanol. La producción de etanol debe llegar a 800 mil litros diarios y considerando una producción anual de 240 000 litros al año, según informe de la Sociedad Nacional de Industrias (SIN).

Población

La empresa se envió 5 galones de vinazas, al Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentaria y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal para efectuar las respectivas pruebas a nivel de laboratorio. Lo que equivale a trabajar aproximadamente sobre una población de 60 litros de vinazas.

Tamaño de la muestra

Basándonos en la población y utilizando el modelo aleatorio simple determinamos el tamaño de la muestra.

Siendo la ecuación:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{d^2}$$

n: el tamaño de la muestra

z: es el margen de confiabilidad a un nivel de 95 % de confianza

$$Z=1.96$$

d: es el error o diferencia máxima entre la media muestral y poblacional que está dispuesto a aceptar con el nivel de confianza que se ha definido.

p: el nivel de confianza con la cual se va a trabajar es del 95 % debido a que todos los parámetros de experimento están controlado por ser a nivel de laboratorio.

q: el margen de error que no ocurra, se considera a 5 % por causa imprevista.

$$n = \frac{1,96^2 \times 0,05 \times 0,95}{0,9^2}$$

$$n = 22$$

Se requiere 22 litros de muestra para el desarrollo experimental

La unidad experimental

La unidad experimental está conformada por:

- Vinaza neutralizada a un pH: 7
- Excretas de cuy

Los materiales fueron colocados en un Bioreactor (frasco decantador de vidrio pyrex con una capacidad de de 3,5 litros) el cual esta conectado a un gasómetro con lo cual se asegura que el equipo esta

hermético y mantiene las condiciones anaeróbicas.

En los bioreactores se colocaron la muestra previamente, neutralizada con CaO, hasta un pH: 7,00; posteriormente se filtro separando las partículas en suspensión. Con el pH debidamente establecido, se adicionara un buffer de acetato de sodio, que regulo el pH durante la experiencia.

El bioreactor fue colocado en un baño de agua caliente, controlado por un termostato, que mantiene la temperatura programada (T1: 40C, T2: 45 C y T3: 50 C).

Habiéndose realizado el tratamiento previo de la vinaza y estabilizado la temperatura del bioreactor, se adiciono el inculo,

La vinaza caracterizada por los siguientes valores analíticos, como son:

- el pH,
- la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO),
- Sólidos Totales, Sólidos solubles,
- Volumen de Biogás generado,

Estos valores se efectuaron antes del inicio del ensayo, durante la prueba y al terminar el proceso de digestión anaeróbica.

El conocimiento del pH, es vital en una operación de digestión anaeróbica, ya que esta solo sucede en un rango cercano a un pH: 7,00; para un pH menor el proceso se detiene, así como para un pH mayor a 7, la

operación se suspende.

La DBO, nos debe determinar como el contenido de material orgánico biodegradable en las muestras, ira variando en función del tiempo y se reconoce como el sustrato que debe ser degradado por los microorganismos anaeróbicos presentes en el inoculo. Al final del tratamiento se conocerá, como se ha reducido el contenido orgánico.

Los sólidos totales (ST), se refiere a la concentración de sólidos orgánicos e inorgánicos contenidos en la vinaza en mg/l, estos serán evaluados durante el tratamiento anaeróbico.

Volumen de biogás producido, es otro valor importante que se debe contabilizar, a fin de conocer el punto inicial de generación de biogás, así como termino. Asimismo se realizó un análisis de regresión para una reacción de primer orden, determinando los valores de las constantes de producción de biogás de las muestras sometidas a reducción de materia orgánica.

Las respuestas a las variables dependientes implican lo siguiente:

- Determinación de la DBO, del efluente

(mg/l), en función del tiempo, determinado a dos temperaturas, 40 °C, 45 °C y 50 °C.

- Determinación de sólidos solubles (mg/l), en función del tiempo, determinado a dos temperaturas, 40 °C, 45 °C y 50 °C.
- Volumen de Biogás generado, en función del tiempo, determinado a dos temperaturas, 40 °C, 45 °C y 50 °C.

Resultados

Se determinó los valores químico de la vinaza y del inoculo utilizado en nuestro fueron las heces de cuy, determinando los parámetros iniciales al proceso de biodigestión de la vinaza

De acuerdo a los protocolos y análisis validados internacionalmente por la AOAC, se obtuvieron los siguientes resultados; para la caracterización de la vinaza

Se determinó sobre varias muestras el valor de pH; % de acidez (como ácido acético); % de sólidos totales; % de agua y la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅

En la tabla 1, se muestran los valores iniciales de la vinaza enviada al laboratorio.

Tabla 1 Caracterización de la vinaza

Código	pH (20 C)	% acidez	% sólidos totales	% agua	DBO ₅ mg/l
M-1	3,44	0.35	4,59	95,41	26 050
M-2	3,50	0.72	4,27	95,73	27 850
M-3	3,60	1.54	4,51	95,49	29 450
M 4	4,42	2,32	4,29	95,71	17 600

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

El inocular

Los valores de NPK de las heces del cuy se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de las heces del cuy sobre base seca del NPK

Componentes	Nitrógeno (%N)	Fosforo (%P2O5)	Potasio (%K2O)
Valores	1,7	1,5	4,0

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

La relación Carbono/nitrógeno se muestra en la Tabla 3

Tabla 3. Determinación de la relación Carbono / Nitrógeno

Componentes	Carbono (%C)	Nitrógeno (%N)	Humedad (%Hd)	Materia seca (%M.S.)	Relación (C/N)
Valores	35,4	1,86	17,4	82,54	19

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Formación del inocular

El inocular se formó de la siguiente forma, se consideró 50 gramos de excretas de cuy, adicionando agua de ionizada a razón de 1000 ml, 7 gramos de acetato de sodio y 5 gramos de bicarbonato, manteniendo a temperaturas 40, 45 y 50 °C respectivamente con una concentración de 3 gramos de glucosa por litro en un periodo de aproximado 4 horas el bioreactor entre a su etapa exponencial donde se procede a adicionar la vinaza y a contabilizar el biogas generado.

Dilución de las vinazas

A fin de llegar a una rápida fermentación se procedió a diluir las vinazas con agua de ionizada de acuerdo a la tabla 4

Tabla 4 Dilución de las vinazas

Diluciones	Concentración (C) mg/l
Dilución 1	2 000
Dilución 2	3 000
Dilución 3	4 000

Estas vinazas que fueron diluidas fueron tratadas con CaO, para reducir su pH a un cercano a 7,00

Proceso de biodegradación

Con inóculo acondicionado, se colocó en el bioreactor conjuntamente con 2 500 ml de vinaza diluida a las temperaturas programadas (40, 45 y 50 °C). Formándose biogás que fue contabilizado en un tanque de recepción del gas.

Foto 1 Equipo para los ensayos de biodegradación



Foto 2 bioreactor en etapa de desarrollo exponencial



Foto 3 combustión del biogás



A continuación se muestran los resultados de la biodegradación realizada sobre la vinaza en las tablas 5, 6 y 7

Tabla 5. Resultados de la biodegradación de la vinaza a tres temperaturas diferentes.

Tiempo de aclimatación del inóculo: 4: horas

Concentración de la vinaza: 2 500 mg/l

Temperatura T1: 40 °C		Temperatura T2: 45 °C		Temperatura T3: 50 °C	
Tiempo (t) h	Volumen de Biogás (V1) l	Tiempo (t) h	Volumen de Biogás (V2) l	Tiempo (t) h	Volumen de Biogás (V3) l
4,25	0,214	4,00	0,466	4,5	0,550
4,50	0,396	4,25	0,768	4,75	1,000
4,75	0,570	4,50	1,013	5,00	1,080
5,00	0,717	4,75	1,239	5,25	1,275
K _{40C}	1,5966	K _{45C}	1,2842	K _{50C}	1,0397
R ²	0,9546	R ²	0,9567	R ²	0,8382

Se realizó la correlación entre la temperatura y la constante de producción de biogas K_{Ti} Obteniéndose los siguientes resultados

Tabla 6. Correlación entre la Temperatura y constante de producción de biogás

Temperatura (t) °C	Constante de producción de biogás (K) hora ⁻¹
40	1,5966
45	1,2842
50	1,0397

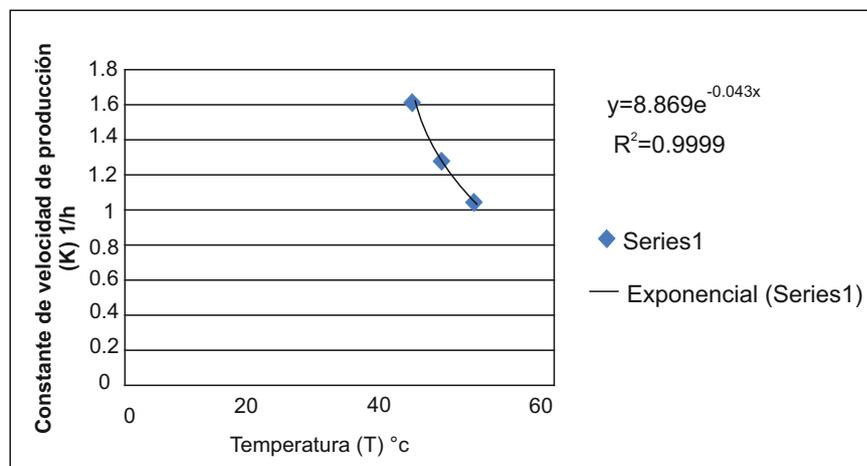


Figura 1. Correlación entre la temperatura y la constante de reproducción

La ecuación que correlaciona las temperaturas de la referencia con las constantes de velocidad de producción es:

Dónde:

$$K=8,869.e^{-0.043(T)}$$

K: constante de velocidad de producción de Biogás, h⁻¹

T: es la temperatura de tratamiento entre 20 a 50 °C

Tabla 6. Resultados de la biodegradación de la vinaza a tres temperaturas diferentes.

Tiempo de aclimatación del inóculo : 4: horas. Concentración de la vinaza: 3 000 mg/l

Temperatura T1: 40 °C		Temperatura T2: 45 °C		Temperatura T3: 50 °C	
Tiempo (t) h	Volumen de Biogas (V1) l	Tiempo (t) h	Volumen de Biogas (V2) l	Tiempo (t) h	Volumen de Biogas (V3) l
4,25	0,356	4,25	0,817	4,50	0,343
4,5	0,776	4,50	1,665	4,75	0,705
4,75	1,104	4,75	2,262	5,00	1,189
5,00	1,220	5,00	2,138	5,25	1,724
5,25	1,226	6,00	2,400	6,75	2,219
6,00	1,266	7,00	2,420	6,00	2,680
7,00	1,280			7,00	2,380
K _{40C}	1,619	K _{45C}	1,374	K _{50C}	1,1669
R ²	0,8751	R ²	0,8322	R ²	0,81

Tabla 7. Correlación entre la Temperatura y constante de producción de biogás

Temperatura (T) °C	Constante de velocidad de producción de biogás (K) 1/h
40	1,619
45	1,347
50	1,1669

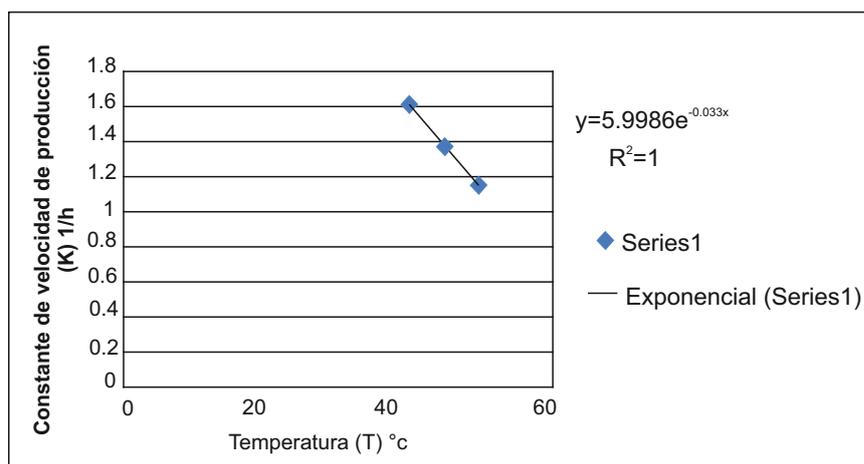


Figura 2. Correlación entre temperatura y la constante de producción

La ecuación que correlaciona las temperaturas de la referencia con la constante de velocidad de producción es:

$$K=5,9996.e^{-0.033(T)}$$

Donde:

K: constante de velocidad de producción de Biogás, h⁻¹

T: es la temperatura de tratamiento entre 20 a 50 °C

Tabla 8. Resultados de la biodegradación de la vinaza a tres temperaturas

Concentración de vinaza. 4 000 mg/l

Temperatura T1: 40 °C		Temperatura T2: 45 °C		Temperatura T3: 50 °C	
Tiempo (t) h	Volumen de Biogas (V1) l	Tiempo (t) h	Volumen de Biogas (V2) l	Tiempo (t) h	Volumen de Biogas (V3) l
4,00	0,021	4,25	0,038	4,75	0,422
4,25	0,126	4,50	0,115	5,00	1,160
4,50	0,379	4,75	0,295	5,25	1,941
4,75	0,759	5,00	0,538	6,00	2,848
5,00	1,202	5,25	0,935	7,00	3,189
5,25	1,856	5,5	1,523	7.25	3,207
5,50	2,637	5,75	2,108		
5,75	2,975	6,00	2,355		
6,00	3,290				
K _{40C}	3,0047	K _{45C}	2,624	K _{50C}	1,3477
R ²	0,9074	R ²	0,9611	R ²	07738

Tabla 9. Correlación entre la Temperatura y constante de producción de biogás

Temperatura (T) °C	Constante de velocidad de producción de biogás (K) 1/h
40	3,0047
45	2,624
50	1,3477

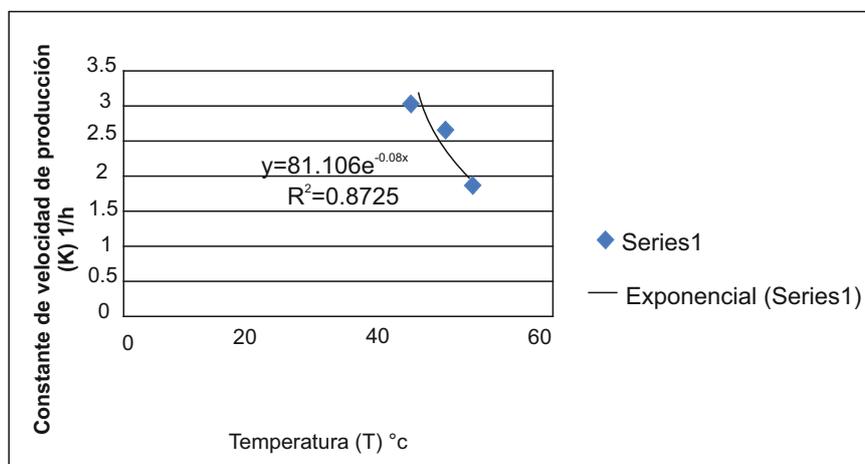


Figura 2. Correlación entre temperatura y la constante de producción

La ecuación que correlaciona las temperaturas de la referencia con la constante de velocidad de producción es:

$$K=81,106.e^{-0.08(T)}$$

Dónde:

K: constante de velocidad de producción de Biogás, h⁻¹

T: es la temperatura de tratamiento entre 45 a 50 °C

Realizando un análisis de correlación múltiple $K=f(T,C)$, donde las constantes cinéticas de la fermentación anaeróbica de la vinaza se correlación tales, temperatura (T), Concentración de sustrato (C) y constante de la velocidad de generación de biogas (K), obtenemos el siguiente resultado

Tabla 10 Resultados de las experiencias realizadas

DATOS OBSERVADOS		
T °C	C mg/l	k min ⁻¹
40	2500	1.5966
45	2500	1.2442
50	2500	1.0397
40	3000	1.619
45	3000	1.347
50	3000	1.1669
40	4000	3.004
45	4000	2.624
50	4000	1.3477

Donde,

T: Temperatura °C

C: concentración del sustrato (vinaza) mg/l

K: constante de la velocidad de generación de biogas min⁻¹

Aplicando el modelo de regresión múltiple

Tabla 11 pasando el modelo exponencial a logaritmos naturales

Ln(T)	Ln (C)	Ln (k)
3.68887945	7.824046011	0.46787637
3.80666249	7.824046011	0.21849275
3.91202301	7.824046011	0.03893221
3.68887945	8.006367568	0.48180867
3.80666249	8.006367568	0.2978799
3.91202301	8.006367568	0.15435066
3.68887945	8.29404964	1.09994473
3.80666249	8.29404964	0.96469987
3.91202301	8.29404964	0.29839944

Se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 12. Resultados del análisis de correlación múltiple (Excel)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.923030156
Coefficiente de determinación R ²	0.851984669
R ² ajustado	0.802646225
Error típico	0.160536006
Observaciones	9
<i>Coefficientes</i>	
Intercepción	-0.454863896
Variable X 1 (temperatura T)	-2.313217035
Variable X 2 (concertracion C)	1.205977512

Con lo cual se define la ecuación:

$$k=-0,45486.e^{-2.3132.(T)}.e^{1.2050.(C)}$$

Con un coeficiente de correlación múltiple R=0,9230

Se realiza una simulación, para calcular los valor de las constantes de velocidad de producción de Biogas entre las temperaturas de 40 a 50 °C obteniendo los

siguientes valores de la tabla 13 como k (calculado).

Tabla 13. Aplicación de la ecuación de regresión múltiple $k=f(T,C)$

DATOS OBSERVADOS			
T °C	C mg/l	k min ⁻¹	k min ⁻¹ (calculado)
40	2500	1.5966	1.563678614
45	2500	1.2442	1.190752444
50	2500	1.0397	0.933201127
40	3000	1.619	1.948193819
45	3000	1.347	1.483563521
50	3000	1.1669	1.162679242
40	4000	3.004	2.756105156
45	4000	2.624	2.098793781
50	4000	1.3477	1.644839556

Haciendo la prueba F, para dos variables como fueron

Tabla 14 variables para el análisis de la prueba F

k (min ⁻¹)	K(min ⁻¹) (calculado)
1.5966	1.563678614
1.2442	1.190752444
1.0397	0.933201127
1.619	1.948193819
1.347	1.483563521
1.1669	1.162679242
3.004	2.756105156
2.624	2.098793781
1.3477	1.644839556

Donde la variable-1 representa la constante de velocidad de generación de biogás observado

Y la variable-2, representa la contante de velocidad de generación de biogás calculado

Tabla 15 Resultado de prueba F de análisis de varianza para las dos muestras.

Prueba F para varianzas de dos muestras

	Variable 1	Variable 2
Media	1.66545556	1.64242303
Varianza	0.46717179	0.31383211
Observaciones		9
Grados de libertad		8
F	1.48860416	
P(F<=f) una cola	0.29334504	
Valor crítico para F (una cola)	3.43810123	

El resultado implica que no existen diferencias significativas entre las variables 1 y 2 a un nivel de 0,05

DISCUSIÓN

Los valores obtenidos se efectuaron cuando la fermentación anaeróbica está en su fase exponencial. Aplicando el modelo de la cinética química, adaptada a la fermentación, fue posible determinar los valores de cinéticos de las constantes de velocidad de producción de biogás K_{40C} , K_{45C} y K_{50C} , para las diferentes concentraciones de sustrato que varían de 2 500 a 4000 mg/l. Utilizando el modelo de regresión exponencial y múltiple (Quesada L.,2010) se define la ecuación de la constantes de velocidad de generación de biogás como una función de la temperatura y la concentración del sustrato, manteniendo constante el pH. La aplicación de análisis de la varianza para dos muestras se hicieron de acuerdo a la estadística descriptiva empleando la prueba F (Quesada L., 2010).

CONCLUSIONES

Se determinaron los valores iniciales, como son pH, DBO, sólidos totales, y % de acidez de la vinaza para su tratamiento, así como la composición de la excreta del cuy, en valores como el NPK (nitrógeno-potasio – fosforo), definiendo también la relación C/N, que se balanceo a 30, con la respectiva vinaza, considerando que la vinaza tiene una relación C/N: 52/1, y las heces del cuy 17,4/1.

Utilizando el modelo de regresión múltiple se define la ecuación de las constantes de velocidad de generación de biogas como una función de la temperatura y la concentración del sustrato, manteniendo constante el pH.

Los valores de las constantes de velocidad de generación de biogas observado y el calculado, no tienen diferencias significativas a un nivel del 0,05.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bermúdez et al., (2011), *Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de Residuales para la obtención de Biogás*, Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente, disponible en: <http://www.uo.edu.cu/ojs/index.php/tq/article/viewFile/2070/1617>

Conil P.,(2010), *Manejo de Vinazas: Metanización y Compostaje, Aplicaciones*

Industriales, disponible en www.ciat.cgiar.org/.../061122_Tratamiento_de_Vinazas-N_Marriaga.pdf
Quezada L., (2010). *Estadística para ingenieros*, Empresa editor Macro E.I.R.L. Lima-Peru.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Fifteen Edition. APHA. AWWA. WPCF. pp. 90-9, 1981. William Horwitz, Editor Associat

CORRESPONDENCIA

Dr. Victor Terry Calderón
victor.terry@ulcb.edu.pe