

CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Arranque del reactor anaerobio

El reactor anaerobio presenta un volumen de 50 L, pero solo se ocuparon 42 L para tener un margen de almacenamiento tanto de desechos orgánico como de biogás. El 30% del inóculo fue equivalente a 12 L del volumen. El promedio de generación de residuos orgánicos para el hogar conformado de 4 personas fue de 1.58 kg.

El ritmo de alimentación necesario para un reactor a flujo continuo puede determinarse mediante la ecuación 4.1.

$$Q = \frac{V}{TRH} \dots \dots \dots [4.1]$$

Donde:

Q = flujo (volumen/tiempo), V = volumen del reactor y TRH = tiempo de residencia hidráulica

En este caso:

$$Q = \frac{42 \text{ L}}{24 \text{ días}} = 1.75 \text{ L/día}$$

Existen dos tipos de reactores intermedios entre los procesos a flujo continuo y lotes. Un reactor que es alimentado una única ocasión durante el día se conoce como reactor de alimentación semi-continua. Igualmente, un reactor que es alimentado de forma continua, pero solo es drenado cuando se ha alcanzado la estabilización (caída en la producción de biogás) del substrato, se conoce como reactor semi-batch, que es el caso de este prototipo. Después de tener listo el esquema del diseño final y armado el prototipo se empezó alimentar el reactor anaerobio como se puede observar en la Figura 4.1. La trituración se realizó con una licuadora y se mezcló con agua en una proporción (agua/substrato) 1.5:1.



Figura 4.1 Alimentación del reactor anaerobio

A continuación se puede observar en las Figuras 4.2 y 4.3 respectivamente, la cantidad de desechos ingresados al reactor anaerobio en los dos tipos de carga: Diaria (primeros 24 días, promedio de 1.6 kg/día) y discontinua (últimos 24 días, promedio 7.6 kg/carga).



Figura 4.2 Substratos disponibles a régimen continuo

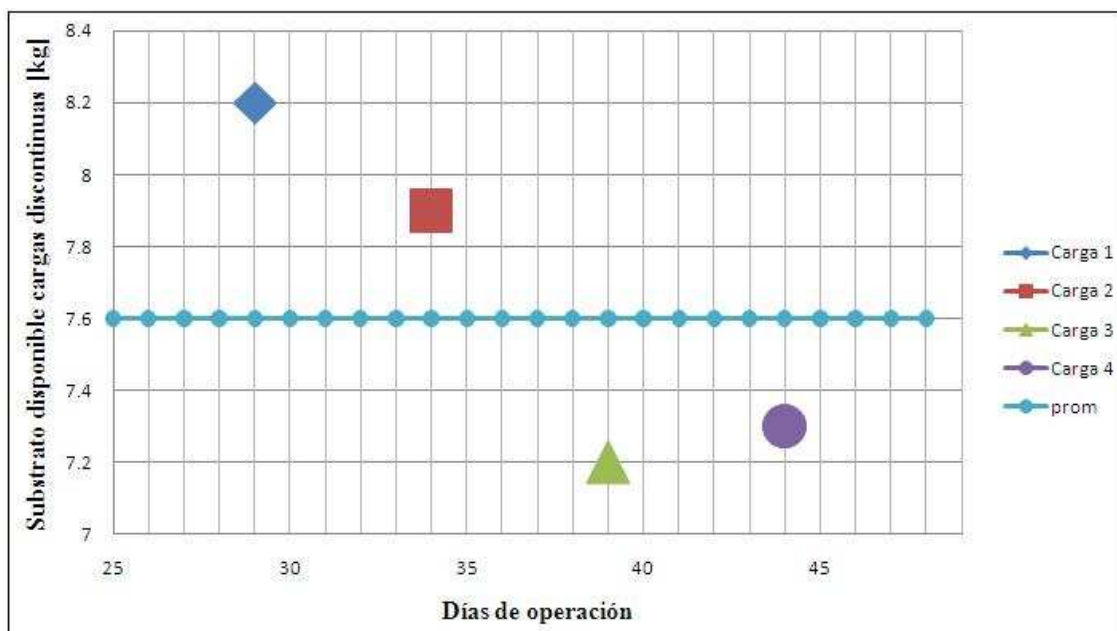


Figura 4.3 Substratos disponibles a régimen discontinuo

4.2 Medición del pH

Las primeras dos cargas presentaron valores de pH menores a 5.5, se modificó el diseño de la cámara de almacenamiento y como referencia para la carga final en el prototipo final se redujo el

número de residuos ácidos (naranjas, limones, etc.). Para la carga final es notable la constancia del pH, tanto en la carga diaria (promedio = 7), como en las cargas discontinuas (promedio = 6.6), se pueden observar las Figura 4.4 y la Figura 4.5. Fueron necesarias 6 cajas de bicarbonato de sodio para el mantenimiento casi perfecto del potencial de hidrógeno.

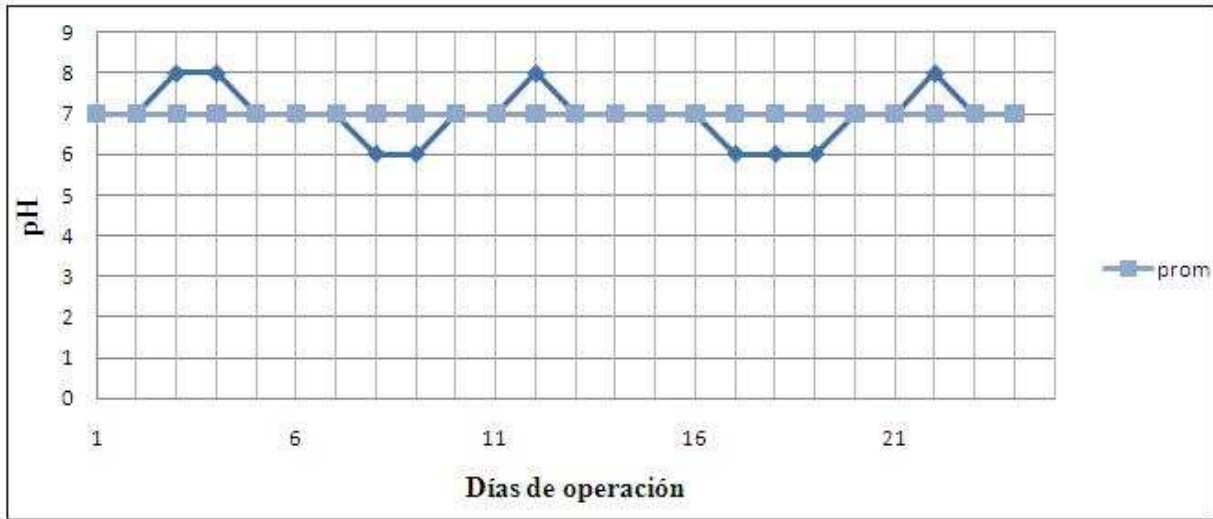


Figura 4.4 Comportamiento del pH a régimen continuo

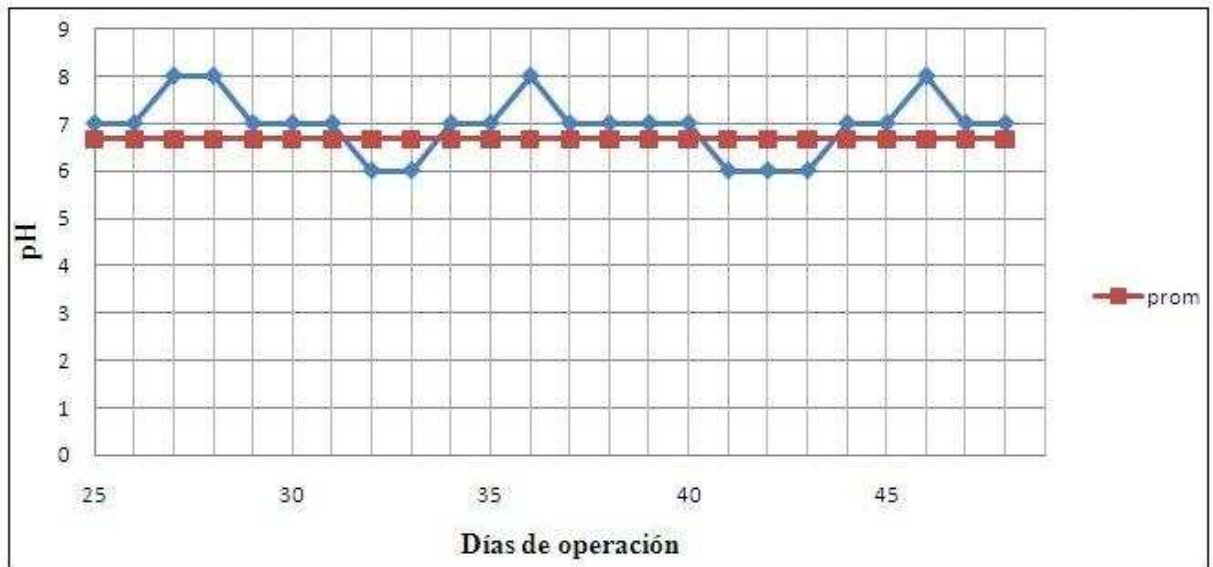


Figura 4.5 Comportamiento del pH a régimen discontinuo

4.3 Temperatura

En las Figuras 4.6 y 4.7 se observa la temperatura en las etapas del reactor anaerobio. Se puede apreciar el comportamiento entre el final de una etapa psicofílico (entre los 3 y 20 °C), lamentablemente tales temperaturas ocasionan actividades bacterianas muy bajas. Y también el inicio de una etapa mesófilico (entre 20 y 40 °C) entre sus principales cualidades se contempla el

decremento de humedad y CO₂ en el biogás, una población metanógena diversificada en especies y un balance energético más favorable.



Figura 4.6 Comportamiento de temperatura en el reactor a régimen continuo

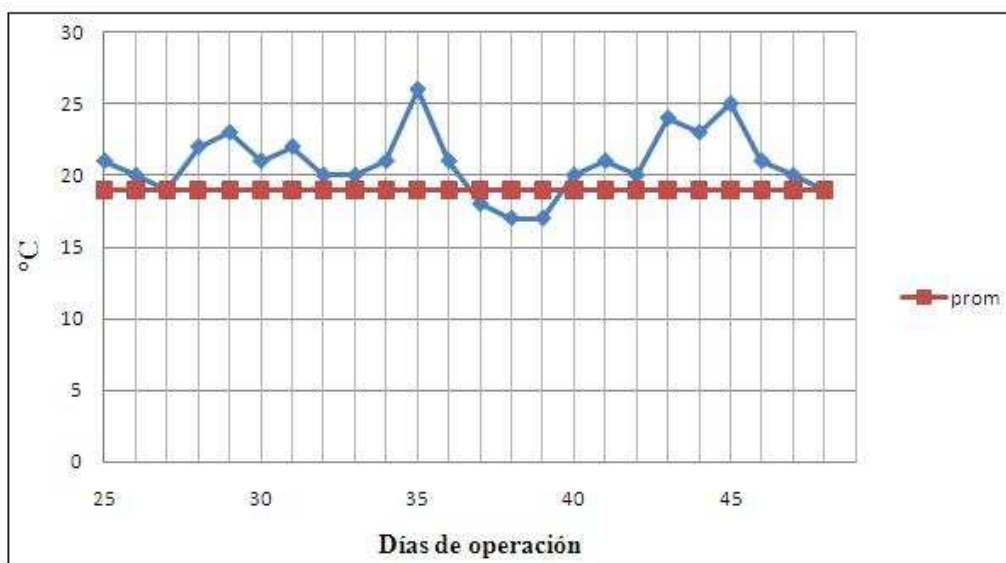


Figura 4.7 Comportamiento de temperatura en el reactor a régimen discontinuo

4.4 Producción diaria de biogás

La generación de biogás obtenido tanto en las cargas diarias (promedio 4.6 L biogás/día) y cargas discontinuas (promedio 4.37 L biogás/día) se pueden observar en las Figuras 4.8 y 4.9 respectivamente. Así mismo las figuras poseen un código de color con base a las pruebas de combustión determinando:

- El biogás no encendía (amarillo)
- La llama no es autosustentable (verde)
- La llama es autosustentable (rojo)

La medición de biogás se realizó por el desplazamiento de agua, mencionado anteriormente, antes de conocer la cantidad de biogás acumulado, se hacían las pruebas de combustión para conocer el comportamiento de la flama, en ambos casos la máxima cantidad de biogás generado fue de 6 L biogás/día.

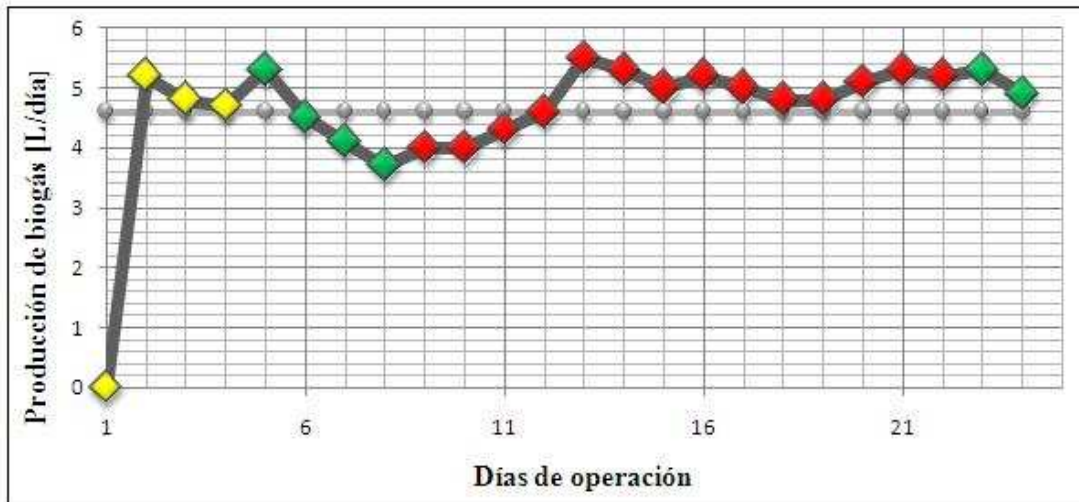


Figura 4.8 Producción de biogás a régimen continuo

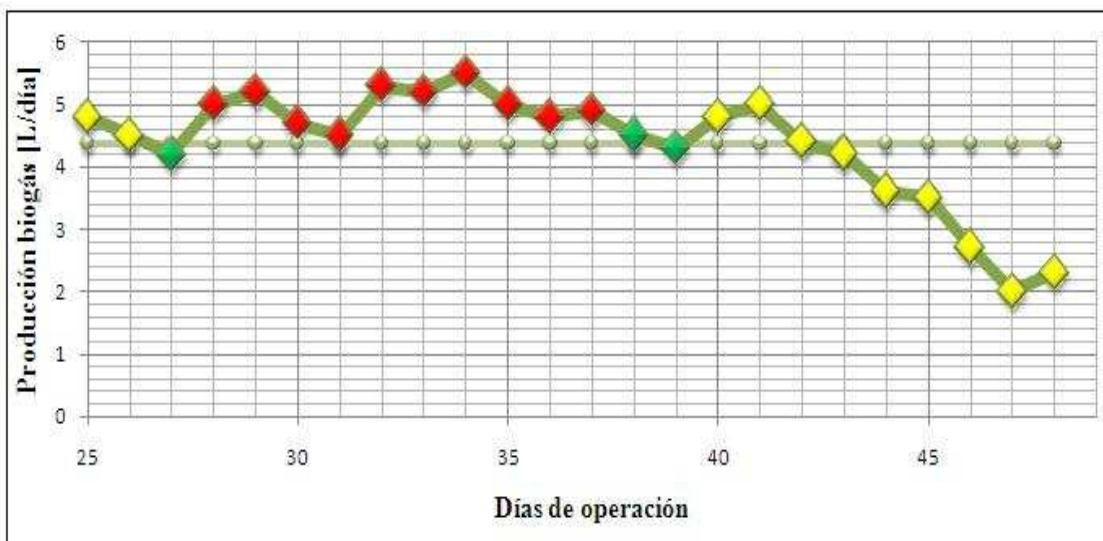


Figura 4.9 Producción de biogás a régimen discontinuo

Cabe señalar que el experimento se dio por terminado, cuando la producción de biogás fue menor al 50% del máximo alcanzado (5.5 L biogás/día) y esto se presentó entre los días 46 y 47 (2 y 2.8 L

biogás/día), aunado a las fallas en el proceso de flamabilidad, ya que no se mostraba una flama autosustentable desde el día 37.

Se construyó un manómetro sencillo el cual se puede observar en la Figura 4.10, para alcanzar el rango de presiones idóneo a fin de obtener la presencia de una flama autosustentable, teóricamente para el uso en una cocina es de 75-90 mm de columna de agua (CA) (Guardado, 2007), en este caso se ejerció una presión cercana a los 110 mm de columna de agua. Para la obtención de la presión teórica o la más cercana, con la ayuda de una tabla horizontal en la parte superior de la cámara de almacenamiento y una pesa de 10 kg sobre esa superficie, se alcanzó un dato muy cercano al teórico. Después de obtener la presión requerida, se logró tener la flama deseada, se obtuvo la Figura 4.11.

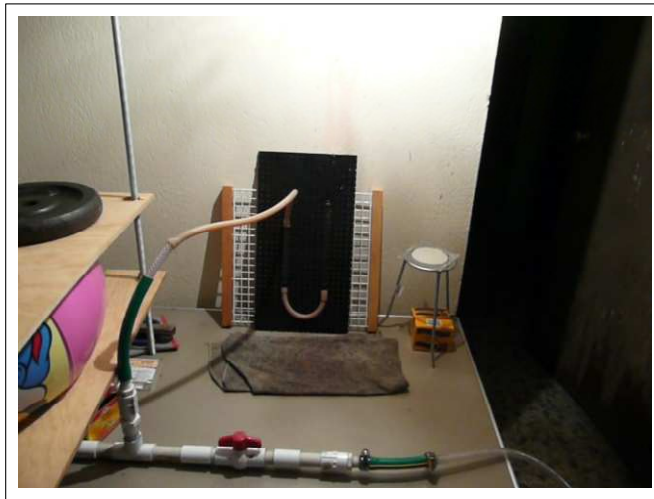


Figura 4.10 Medición de presión a la salida



Figura 4.11 Flama autosustentable

4.4.1 Producción total de biogás

A continuación se muestra gráficamente en las Figuras 4.12 (carga diaria, primeros 24 días) con un total de 110.6 L biogás y 4.13 (carga discontinua, últimos 24 días) el total de biogás generado durante los 48 días.



Figura 4.12 Generación total biogás, carga diaria

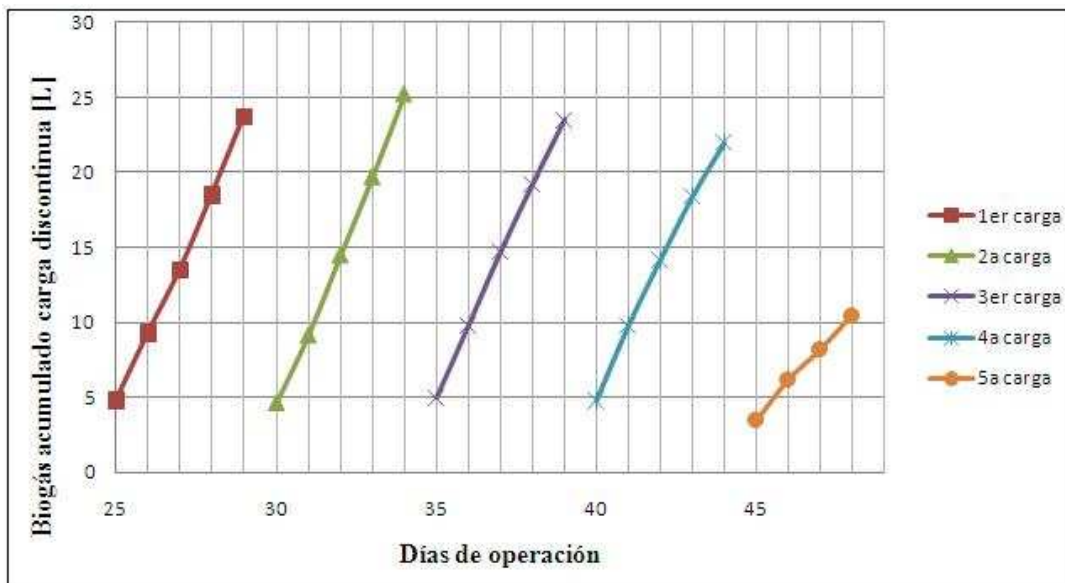


Figura 4.13 Generación total biogás, carga discontinua

Los resultados en ambos casos son muy parecidos, pero en términos generales las cargas diarias mantuvieron parámetros más constantes (pH, generación de biogás y flama autosustentable) que las cargas discontinuas.

4.4.2 Rendimiento de la flama

Después de obtener resultados positivos con la flama autosustentable, queda analizar que tanto nos rinde en cuestiones prácticas, que tanto provecho se obtiene de los litros de biogás generados día a día con el reactor. Dados los resultados en la tabla anterior se puede notar claramente que el poder calorífico obtenido por el reactor es muy bajo y dadas las dimensiones de éste, se necesitaría un reactor de tamaño mucho mayor para obtener un mejor aprovechamiento.

Es decir si quisiéramos tan siquiera hervir agua para una taza de café de 300 ml necesitaríamos cerca de 10 min. y 10 L de biogás para hacerlo. Ahora imaginar cocinar algún platillo el cual nos demandaría tener prendida la parrilla por una hora estaríamos dependientes a generar casi 60 L de biogás. Se tuvieron resultados del rendimiento de la flama para el biogás generado con carga diaria en la Tabla 4.1 y para la carga discontinua en la Tabla 4.2.

Tabla 4.1 Rendimiento flama carga diaria

Día	Biogás [L]	Tiempo [min]	Tiempo [seg]	Temperatura [°C]	Tiempo de combustión [Lbiogás/min]
9	4	3'50''	230	42	1.04
10	4	3'50''	230	42	1.04
11	4.3	3'55''	235	45	1.10
12	4.6	4'05''	245	48	1.13
13	5.5	4'55''	295	58	1.12
14	5.3	4'50''	290	56	1.10
15	5	4'38''	278	53	1.08
16	5.2	4'50''	290	55	1.08
17	5	4'38''	278	53	1.08
18	4.8	4'20''	260	51	1.11
19	4.8	4'20''	260	50	1.11
20	5.1	4'46''	286	54	1.07
21	5.3	4'58''	298	56	1.07
22	5.2	4'55''	295	55	1.06

Tabla 4.2 Rendimiento flama carga discontinua

Día	Biogás [L]	Tiempo [min]	Tiempo [seg]	Temperatura [°C]	Tiempo de combustión [Lbiogás/min]
28	5	4'38''	278	53	1.08
29	5.2	4'55''	295	56	1.06
30	4.7	4'10''	250	48	1.13
31	4.5	4'05''	245	45	1.10
32	5.3	4'55''	295	56	1.08
33	5.2	5'10''	310	62	1.01
34	5.5	5'25''	325	66	1.02
35	5	4'40''	280	50	1.07
36	4.8	4'15''	255	47	1.13
37	4.9	4'25''	265	52	1.11

Los resultados fueron muy similares y se ve la relación L biogás/tiempo, muy apegado a la demanda de biogás teórica que se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Demanda energética de los usuarios (Guardado, 2007)

Equipo	Consumo
Cocina (1 quemador)	150-200 L biogás/hora
Consumo por persona (1 comida)	150-300 L biogás/hora
Consumo por vivienda (5 personas y 2 comidas)	1500/2400 L biogás/hora

Al final del experimento se generaron 217 L biogás con todos los desechos orgánicos acumulados, tanto en carga diaria y carga discontinua y el total de desechos orgánicos que se ingresaron al reactor anaerobio fueron 65 kg aproximadamente. A continuación se muestra una relación de la cantidad de litros de biogás generado por kg de residuo orgánico depositado en el reactor.

$$\frac{217 \text{ L biogás}}{65 \text{ kg}} = 3.33 \frac{\text{L biogás}}{\text{kg}} \dots \dots \dots [4.2]$$

4.5 TRH

Definiendo el concepto de TRH (tiempo de residencia hidráulica) es decir, la existencia de un punto máximo en la curva de producción tras el cual la producción de biogás desciende. Para la carga diaria este punto fue alcanzado el día 24 y para las cargas discontinuas el día 41 a partir de este momento empezó a bajar la producción de biogás en el digestor anaerobio hasta obtener menos del 50% del máximo.

4.6 Producción diaria específica de biogás

La curva de producción diaria de biogás muestra y describe el comportamiento del reactor de prueba, no pueden ser utilizadas para reactores de volumen distinto al mismo. Sería necesaria la construcción de la grafica de producción diaria específica (PDE), la cual permite estimar la producción diaria de biogás para un reactor de cualquier volumen, siempre y cuando este sea alimentado por el mismo substrato del reactor de prueba y se le mantenga a una temperatura constante (Maya y Pérez, 2010).

La construcción de la curva se realizó dividiendo los valores de producción diaria de biogás entre el volumen del reactor 42 L, se tuvieron resultados en la Figura 4.14 para la PDE de las cargas diarias y la Figura 4.15 la PDE para las cargas discontinuas.

Se obtuvo en la Tabla 4.4 una comparación de resultados promedio para diversas cargas de operación de reactores anaerobios.

Una vez que se tiene la curva de producción diaria específica de biogás basta con multiplicar el factor (L/V) característico por el volumen de reactor deseado (V) a fin de estimar la producción de biogás para cualquier volumen de reactor a la temperatura deseada (Maya y Pérez, 2010).

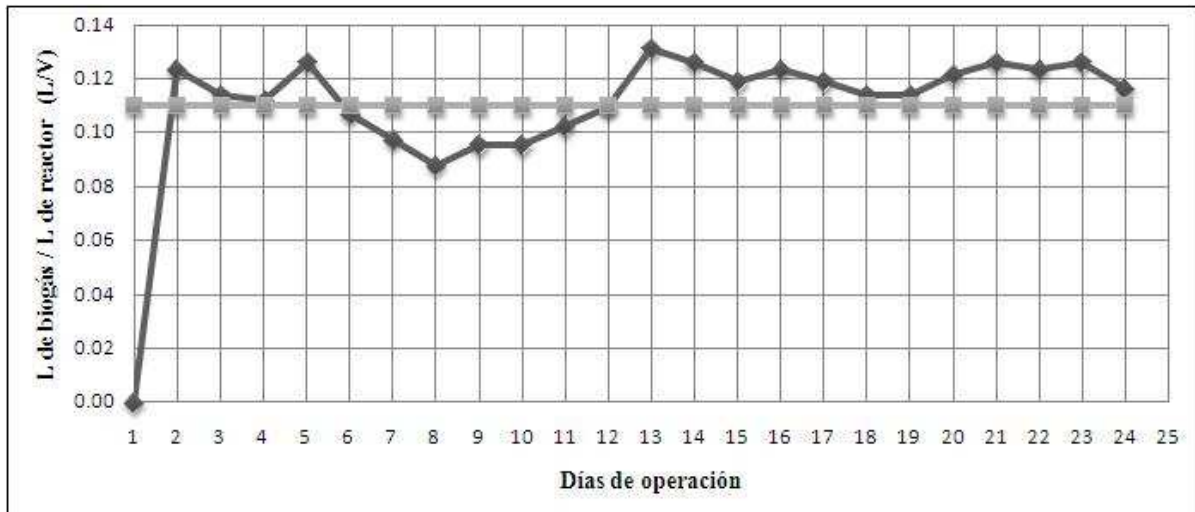


Figura 4.14 Producción diaria específica de biogás, cargas diarias



Figura 4.15 Producción diaria específica de biogás, cargas discontinuas

4.7 Cálculos para posible escalamiento del reactor anaerobio

4.7.1 Substrato

Con base a los datos obtenidos mediante la carga final se estimará el potencial de producción de biogás diaria empleando como sustrato la totalidad de la FO/RSU, de un hogar de cuatro miembros en promedio. Para este estudio se realizaron mediciones de la FO/RSU (Kg) producida diariamente para la carga. De las mediciones anteriores se tiene un promedio de 1.47 kg de FO/RSU.

Una vez obtenido el dato, y considerando una densidad para el sustrato de 1.41 kg/L y una densidad para el inóculo de 1.21 kg/L, se utilizarán para determinar la cantidad de sustrato diario disponible (SDD) en litros (Maya y Pérez, 2010). La cual se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$SDD \frac{L}{\text{día}} = \left(\frac{\text{Kg de sustrato}}{\text{día}} \right) \left(\frac{1}{1.41} \frac{L}{\text{kg}} \right) + \left(\frac{\text{Kg de inóculo}}{\text{día}} \right) \left(\frac{1}{1.21} \frac{L}{\text{kg}} \right) \dots \dots \dots [4.3]$$

Donde: Kg de inóculo = (Kg de sustrato)(0.30)

Se multiplica por 0.30 debido a que se utilizó el 30% de inóculo:

$$SDD \frac{L}{\text{día}} = (1.479) \left(\frac{1}{1.41} \frac{L}{\text{kg}} \right) + (1.479)(0.3) \left(\frac{1}{1.21} \frac{L}{\text{kg}} \right) = 1.40 \frac{L}{\text{día}}$$

El agua requerida se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Agua requerida} \frac{L}{\text{día}} = (1.5) \text{Sustrato diario disponible} \frac{L}{\text{día}} \dots \dots \dots [4.4]$$

Se multiplica por 1.5 debido a la proporción (1.5:1)

$$\text{Agua requerida} \frac{L}{\text{día}} = (1.5) (1.4070) = 2.11 \frac{L}{\text{día}}$$

Tabla 4.4 Comparación de resultados promedio para diversas cargas de operación de reactores anaerobios

Carga	pH	Temperatura [°C]	L biogás/día	L biogás/L reactor	Substrato	% Inóculo	TRH
Resultados obtenidos en este trabajo							
Final	6.9	22.5	4.6	0.11	FO/RSU	30	24
Resultados de Duque y col., 2006							
A	6.7	25	7	1.4	Purines	30	26
B	6.2	25	5.2	1.4	Purines	30	26
C	6.4	30	8.8	1.51	Purines	30	22
D	6.6	37.5	12	1.65	Purines	30	17
Resultados Rodríguez y col., 1995							
E	6.8	33	4	1	Bora-aguas negras	33	4
Resultados Pedraza y col., 2002							
F	6.8	18	98.8	0.2	Purines-aguas negras	33	99

4.7.2 Volumen del reactor anaerobio

Ya calculado el SDD (sustrato diario disponible) se debe calcular el volumen del reactor, para un mejor aprovechamiento del mismo.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen del reactor} = (SDD + \text{Agua requerida})(TRH + 5) \dots \dots \dots [4.5]$$

Donde:

$$\text{SDD} = 1.40 \text{ L/día}$$

$$\text{Agua requerida} = 2.11 \text{ L/día}$$

$$\text{TRH} = \text{Tiempo de residencia hidráulica} = 24 \text{ días}$$

$$\text{Volumen del reactor} = (1.4070 + 2.11) \frac{\text{L}}{\text{día}} (24 + 5) \text{ día} = 101.99 \text{ L reactor}$$

Para substratos poco variables y reactores con controles de temperatura suele seleccionarse el tiempo de residencia igual al tiempo de residencia máximo (también llamado pico) con un margen de 5 ó 10 días más a fin de estar protegidos ante escasez de substrato (ISAT, 2009).

4.7.3 Estimación de la producción diaria de biogás (PDB)

Para obtener esta estimación, solo se necesitan los valores de la (PDE) producción diaria específica y el volumen del reactor, y se sustituyen en la siguiente ecuación:

$$\text{PDB} = (\text{Producción diaria específica})(\text{Volumen reactor}) \dots \dots [4.6]$$

Donde:

$$\text{PDE} = 0.11 \text{ L biogás/ L reactor}$$

$$\text{Volumen del reactor} = 101.99 \text{ L reactor}$$

$$\text{PDB} = \left((0.1195) \frac{\text{L biogás}}{\text{L reactor}} \right) (101.993) \text{ L reactor} = 12 \text{ L biogás}$$

4.7.4 Carga orgánica másica y sólidos totales

La carga orgánica másica se obtuvo mediante la siguiente expresión, donde se divide el total de desechos orgánicos entre el número de días en los que se acumularon los residuos y posteriormente dividido entre los litros del reactor anaerobio, se expresan en la Tabla 4.5 y una comparación del % ST con otros autores en la Tabla 4.6.

Ejemplo: Se pondrá la primera carga de 8.2 Kg

$$\frac{8.2 \text{ Kg desecho}}{5 \text{ días}} = 1.64 \frac{\text{Kg desecho}}{\text{día}} \left(\frac{1}{42 \text{ L}} \right) = 0.039 \frac{\text{Kg desecho}}{\text{L reactor} * \text{ día}} \dots \dots [4.7]$$

Una vez obtenido el valor de la carga orgánica másica, para conocer el valor de los ST (sólidos totales), se obtuvo una relación de cuanto humedad se maneja en la carga, en este caso fue del 40%, por lo tanto bastó con una regla de tres para averiguar el valor.

Como ejemplo con la primer carga:

$$0.039 \text{ — } 100\%$$

$$X \text{ — } 40\%$$

Donde X es el valor de los sólidos totales (ST), en cada carga.

Tabla 4.5 Carga másica y sólidos totales para cargas discontinuas

Carga	Desechos orgánicos Kg	Carga orgánica másica Kg desecho /L reactor*día	% ST
1a	8.2	0.039	1.5
2a	7.9	0.038	1.5
3a	7.2	0.034	1.3
4a	7.3	0.035	1.4
5a	7.5	0.036	1.4

Tabla 4.6 Comparación del % ST con otros autores

Duque y col., 2006	% ST
Carga	
D	11
E	11
F	11
G	11
Rodríguez y col., 1995	% ST
H	10
Pedraza y col., 2000	% ST
I	10

4.8 Costo del reactor anaerobio

El reactor tuvo un costo aproximado de \$2,500 pesos, con más detalle se presenta la tabla 4.7, con el desglose de gastos. Cabe señalar que el costo del reactor anaerobio puede bajar un 40% de su valor si se maneja una producción más grande ya que se aminoran gastos de herramientas que se tuvieron que adquirir para este prototipo, así como la compra de artículos en mayoreo. Por lo tanto el costo final en una producción en serie estaría cercano a los \$1,400 pesos por cada reactor anaerobio.

Tabla 4.7 Costo total del reactor anaerobio

Artículo	Costo
Cuñete de plástico	\$280
Conexiones PVC	\$200
Válvulas PVC	\$150
Tuberías PVC	\$80
Mechero	\$100
Pegamento	\$200
Madera	\$100
Tiras medidoras pH	\$300
Manómetro	\$80
Mangueras	\$50
Varios	\$800
Total	\$2,340

4.9 Desarrollo del modelo de evaluación económica

Valor Presente Neto (VPN)

El VPN indica el valor “al día de hoy” del flujo del efectivo generado por el proyecto en el horizonte de evaluación y puede definirse como el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos de efectivo descontados a la inversión inicial.

Suma los flujos descontados en el presente y restar la inversión inicial equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir dichas ganancias, en términos de su valor equivalentes en este momento o tiempo cero (Reyes, 2010).

Para calcular el VPN se utiliza una tasa de descuento (r), el cual se refleja el costo de oportunidad de los recursos. La expresión matemática para calcular el VPN es la siguiente:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+r)^t} \dots \dots \dots [4.8]$$

Donde:

FE_t: Representa el flujo de efectivo en cada periodo de tiempo “t”

La tasa de descuento o costo de oportunidad del dinero está representada por “r”

n: Es la vida útil de la inversión medida en años

∑: es la sumatoria del valor presente neto de los flujos de efectivo descontados

La regla de decisión de este indicador consiste en que si el VPN es positivo, entonces el proyecto es rentable, y que invertir en el proyecto generará más riqueza al momento de ser ejecutado, por el contrario si el VPN es negativo indica que se tendrán pérdidas en caso de llevarlo a cabo y por lo tanto, la realización del proyecto no es conveniente.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Indica la rentabilidad de realizar un proyecto y a su vez es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero. Su expresión matemática es la siguiente:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \dots\dots\dots [4.9]$$

La regla de decisión para este indicador es aceptar los proyectos cuya TIR sea igual o mayor a la tasa de descuento (10%) en este caso. La TIR solo es útil, cuando los proyectos se comportan normalmente, es decir cuando los primeros flujos de efectivo son negativos y los siguientes son positivos; lo anterior se debe a que si cambia el signo más de una vez de los flujos netos del proyecto, se pueden obtener diferentes valores de TIR. Por último, es importante mencionar que la TIR, por ser una tasa, no se puede utilizar como criterio de comparación entre proyectos y debe ser siempre acompañada por el VPN.

Relación Costo/Beneficio (CB)

El beneficio económico es la ganancia que se obtiene de un proceso económico. Se basa en el valor presente, y consiste en dividir el valor presente de los ingresos menos gastos entre el valor presente de la inversión.

$$\text{Relación } (B/C) = \frac{VPNB}{VPNI} \dots\dots\dots [4.10]$$

Donde:

VPNB: Valor presente neto de los beneficios

VPNI: Valor presente neto de la inversión

En la Tabla 4.8 se observa el flujo de efectivo del prototipo a 10 años.

Ingresos:

- La cantidad de biogás generado sería equivalente al ahorro de 1 tanque de 10 kg de gas L.P., si el tamaño del reactor anaerobio fuera 3 veces mayor, ya que los 217 L biogás generados en 48 días equivaldrían a 1,642 L biogás en un año y solamente a 7 horas continuas en un quemador, si comparamos que un tanque de 10 kg de gas L.P. alcanza más de 20 horas continuas (Guardado, 2007).

- El ahorro en la compra de 15 kg de abono al año, partiendo de haber obtenido casi 2 kg en el periodo de 48 días y haciendo una relación de la misma cantidad de generación en un lapso de 365 días.

Egresos:

- Sería la cantidad de mantenimiento requerido para el funcionamiento del reactor anaerobio, por año.

Para la generación de la Tabla 4.8 se mostro una expectativa en la cual al final del año se pueda ahorrar en una casa habitación 3 tanques de 10 kg de gas L.P. con un precio de \$100.00 pesos c/u, por lo tanto tendríamos ingresos de \$300 pesos y egresos de \$100 pesos por mantenimiento.

Tabla 4.8 Flujo de efectivo para el prototipo

t años	Flujo efectivo		Flujo efectivo	Acumulado
	ingresos	egresos	(a final de periodo)	
0	0	-2340	-2340	-2340
1	300	-100	200	-2140
2	300	-100	200	-1940
3	300	-100	200	-1740
4	300	-100	200	-1540
5	300	-100	200	-1340
6	300	-100	200	-1140
7	300	-100	200	-940
8	300	-100	200	-740
9	300	-100	200	-540
10	300	-100	200	-340

4.9.1 Resultados del modelo de evaluación económica

Resultados Valor Presente Neto (VPN)

Por lo tanto el VPN del estudio es:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+r)^t} =$$

Se considera que el proyecto A tiene un valor de inversión inicial de \$2,340 con flujos de efectivo de \$200 pesos durante los próximos 10 años con una tasa del 10%.

Realizando la sumatoria se tiene:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+r)^t} = \left[\frac{200}{1.1^1} \right] + \left[\frac{200}{1.1^2} \right] + \left[\frac{200}{1.1^3} \right] + \left[\frac{200}{1.1^4} \right] + \left[\frac{200}{1.1^5} \right] + \left[\frac{200}{1.1^6} \right] + \left[\frac{200}{1.1^7} \right] + \left[\frac{200}{1.1^8} \right] + \left[\frac{200}{1.1^9} \right] + \left[\frac{200}{1.1^{10}} \right]$$

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+r)^t} = -1,209.96$$

Una vez obtenido el resultado y ver que es una cifra negativa, se sabe que el proyecto no debe llevarse a cabo, ya que no generará ningún beneficio.

Resultados Tasa Interna de Retorno (TIR)

Con la ayuda de Excel Figura (Figura 4.16) con los datos de la tabla de flujo de efectivo 4.8

	A	B	C	D	E
1	t	Flujo efectivo		Flujo efectivo	Acumulado
2	años	ingresos	egresos	(a final de periodo)	
3	0	0	-2340	-2340	-2340
4	1	300	-100	200	-2140
5	2	300	-100	200	-1940
6	3	300	-100	200	-1740
7	4	300	-100	200	-1540
8	5	300	-100	200	-1340
9	6	300	-100	200	-1140
10	7	300	-100	200	-940
11	8	300	-100	200	-740
12	9	300	-100	200	-540
13	10	300	-100	200	-340

Figura 4.16 Flujo de efectivo en Excel

En una celda vacía de Excel escribimos la siguiente expresión, donde D3:D13 es la selección de los valores en la hoja de cálculo.

$$=TIR(D3:D13)$$

La TIR del estudio es de:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = -3\%$$

Como era de esperarse el resultado dio una cifra negativa, y no es ni igual o mayor a la tasa de descuento (10%) por lo tanto no es viable la realización.

Resultados Costo/Beneficio (CB)

Donde:

VPNB: valor presente neto de los beneficios en toda la vida útil es de \$912.6

VPNI: valor presente neto de la inversión es de \$2340

Con la ayuda de Excel tendríamos que poner en otra celda vacía la siguiente expresión:

$$=VNA(TASA,D4:D13)/(-D3)$$

$$\text{Relación (B/C)} = \frac{\text{VPNB}}{\text{VPNI}} = 0.39$$

De acuerdo al resultado obtenido por nuestra relación, que es < 1 , podemos decir que el proyecto no es rentable.