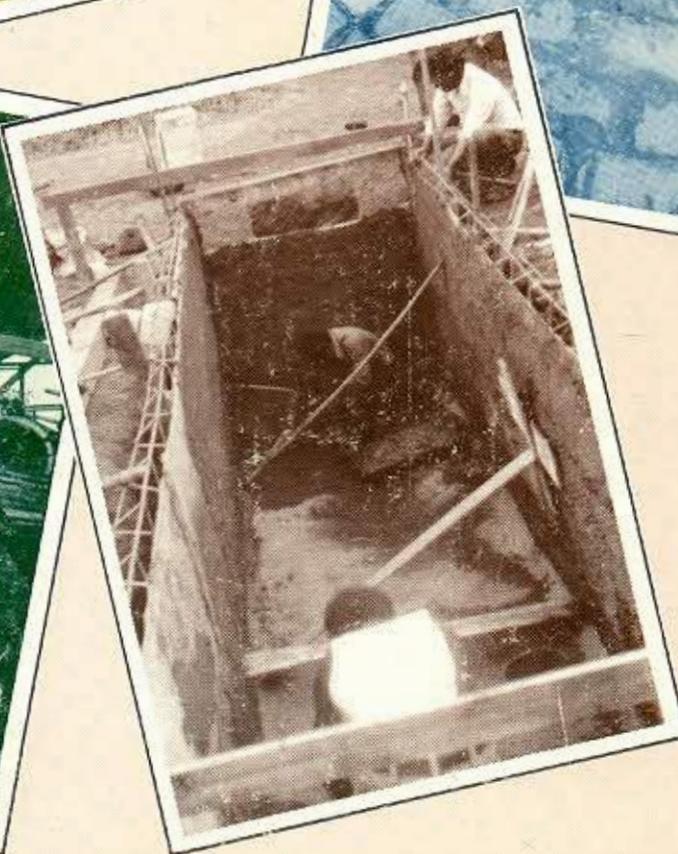
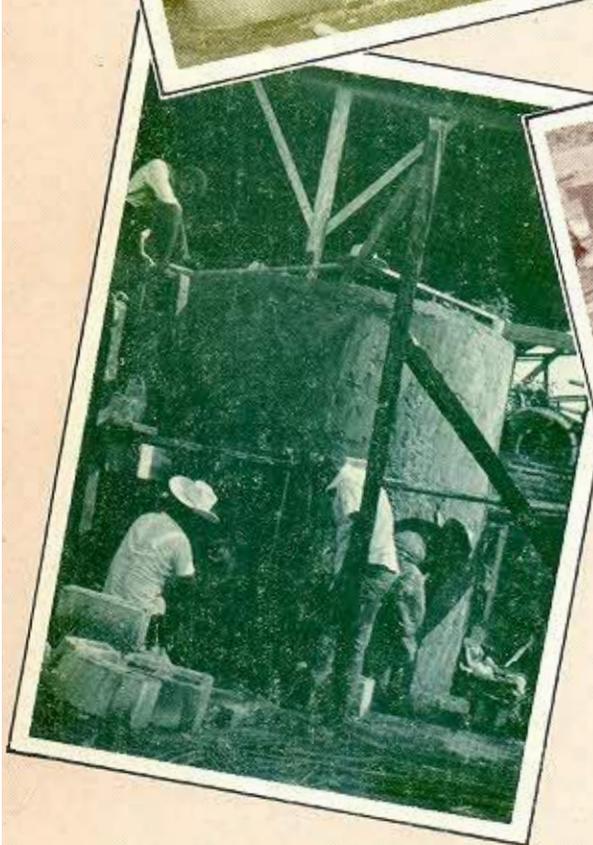
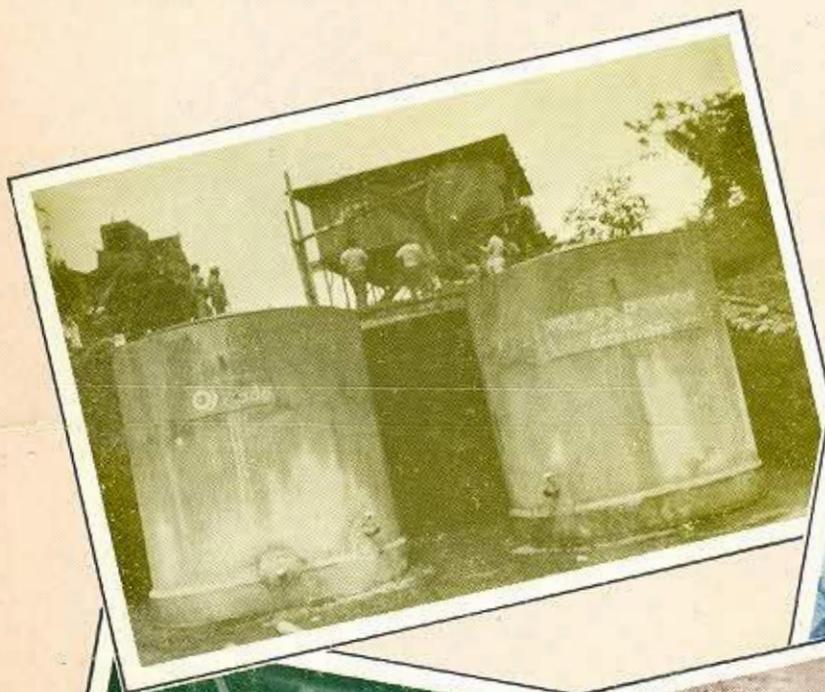


ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA

SECRETARIA PERMANENTE

BOLETIN ENERGETICO No. 14

ENERO /MARZO 1980



digestores de desechos orgánicos

Los primeros experimentos sobre digestión anaeróbica de desechos orgánicos que se llevaron a cabo en el IIE, fueron estudios a escala laboratorio, 0.2 m^3 , en régimen estacionario, y permitieron obtener datos sobre algunos de los parámetros que gobiernan el proceso de digestión. Una vez terminados estos estudios, se propuso el diseño y operación de un digester que cubriera las necesidades energéticas para el uso doméstico de alumbrado y cocción de alimentos de una familia de 5 a 6 miembros. Partiendo de esta base, se construyó un digester con capacidad de 10 m^3 de mezcla (1) que se operó a régimen continuo cargándose diariamente con estiércol de bovino. La operación de este digester durante un período de 80 semanas, permitió obtener datos sobre el comportamiento del digester haciendo variaciones en el tiempo de residencia y la agitación y el efecto de estas variables sobre la producción de gas; la purificación, compresión y almacenamiento del gas; la adaptación de quipos (motores, estufas, lámpara, refrigerador) para que trabajen con biogas; el poder fertilizante de los lodos digeridos.

El paso siguiente fue la construcción y operación de una unidad de 40 m^3 , enfocada hacia la instalación de estos sistemas en comunidades rurales aisladas (2).

GENERALIDADES SOBRE EL PROCESO

La producción de biogas es un proceso biológico que se lleva a cabo por la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno; es un proceso que se efectúa en tres etapas y en cada una de ellas actúa un diferente grupo de bacterias.

La primera etapa consiste en la conversión de grasas, proteínas y carbohidratos a compuestos solubles. Posteriormente, en una segunda etapa, estos compuestos se degradan formando ácidos orgánicos simples, como el ácido acético, el propiónico, etc. las bacterias formadoras de ácidos que actúan en estas fases son de fácil reproducción y no son muy sensibles a cambios bruscos de las condiciones de digestión.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS

I. I. E.

La tercera etapa del proceso, se refiere a la transformación de los ácidos simples a metano y bióxido de carbono, actuando en esta fase las bacterias metanogénicas, mismas que son difíciles de producir y muy sensibles a cambios del medio ambiente y a la presencia de oxígeno en el medio. Ambos tipos de bacterias trabajan simultáneamente en el proceso de digestión anaeróbica.

Si dentro del digestor no existe presencia de oxígeno y las condiciones de temperatura y carga son controladas, se establece un balance entre ambas familias, de otra manera la reproducción de las formadoras de metano sería inhibida y en algunos casos podría pararse totalmente el proceso de digestión.

FACTORES QUE GOBIERNAN EL PROCESO

a) Composición de la materia prima

La composición del desecho que se utilice en el digestor es el primer factor que se toma en cuenta, ya que el carbono y el nitrógeno deberán estar presentes en la dieta bacteriana en proporción adecuada; si hay muy poco nitrógeno, la bacteria no será capaz de usar todo el carbono presente y el proceso será ineficiente. Si por lo contrario, hay demasiado nitrógeno, usualmente en forma amoniacal, este puede inhibir el crecimiento bacteriano, especialmente de las bacterias formadoras de metano. La experiencia ha demostrado que la relación de carbono a nitrógeno (C:N) óptima es de 30:1

Con objeto de evaluar el comportamiento de diversas materias primas, se efectuó una serie de experimentos a nivel laboratorio (0.02m³), trabajando con estiércol de bovino que tiene una relación C:N del orden de 25:1, y con mezclas de éste con rastrojos de maíz, sorgo, arroz y cáscara de cacahuete (que tienen una relación de carbono a nitrógeno muy alta), hasta obtener una relación C:N de 30:1 (3). Los rastrojos se adicionaron tanto en forma picada como molida, y los experimentos se realizaron a temperatura ambiente.

En las figuras 1 y 2 se presenta la producción de biogas durante el tiempo que duró el experimento en litros de gas por kilogramo de material seco inicial, para un testigo de estiércol solo y para las mezclas de estiércol con rastrojos.

Los principales resultados obtenidos de esta experimentación fueron los siguientes:

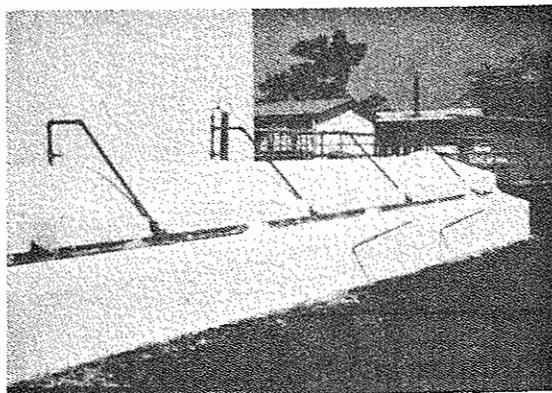
- La adición de rastrojos de sorgo y maíz al estiércol de bovino para conseguir una relación de

carbono a nitrógeno de 30, mejora notablemente la producción de gas.

- El empleo del material en forma molida produce mejores resultados que en forma picada, tanto en volumen de gas producido como en su contenido de metano.
- Una desventaja del uso de rastrojos molidos es que el inicio de la producción de gas combustible requiere de un tiempo más largo que cuando se emplean rastrojos picados, y su producción no es uniforme.
- El comportamiento anterior no se observa al emplear rastrojo de maíz molido, el que empieza a producir gas combustible en un tiempo corto, produciendo un volumen total de gas mayor que el estiércol de bovino solo, pero con un contenido menor de metano.
- La agitación es un factor determinante en la producción de gas a partir de mezclas con vegetales, ya que el material fibroso tiende a formar una nata gruesa en la superficie, que impide la salida del gas. La agitación debe efectuarse 2 ó 3 veces por día con objeto de romper esta nata.

Se realizó además una recopilación bibliográfica sobre digestión anaeróbica de estiércol porcino (4), ya que tiene características favorables por su alto contenido de nitrógeno, y por la disponibilidad de este residuo en la mayoría de las comunidades rurales.

En la figura 3 se muestra la producción de biogas en mililitros de gas por gramo destruido por día de sólidos volátiles, (los cuales son la fracción orgánica de los sólidos totales), para cargas diarias de 2.4 3.2 y 4 kg. de sólidos volátiles por metro cúbico de digestor y tiempos de residencia de 10 y 15 días. Los



experimentos fueron realizados a temperaturas de 32 a 52°C.

b) Temperatura

La descomposición anaeróbica puede llevarse a cabo en un intervalo de temperaturas que van desde 15 hasta 60°C. Las bacterias cuyo ciclo biológico se lleva a cabo entre 15 y 35°C son llamadas mesofílicas, proliferando en forma óptima a 35°C, y aquellas que cumplen su ciclo en temperaturas que van de 35°C hasta 60°C son llamadas termofílicas, encontrándose su temperatura óptima en 55°C.

En el caso que nos ocupa, donde los sistemas deben ser de construcción y operación sencilla, es más conveniente trabajar con bacterias mesofílicas y es preciso hacer hincapié en que son sumamente sensibles a cambios bruscos de temperatura. Deberá procurarse una temperatura de operación de 30 a 35 °C para lograr una buena eficiencia del proceso, ya que la producción total de gas aumenta al acercarse a la temperatura óptima, además de que la velocidad de producción de biogas aumenta considerablemente.

Con objeto de evaluar el efecto de la temperatura en la digestión anaeróbica de estiércol de bovino, se estudiaron tres parejas de digestores con dos concentraciones diferentes de sólidos totales cada una, operando una pareja con calefacción a base de serpentín acoplado a un calentador solar de agua, otra dentro de un invernadero y la tercera a temperatura ambiente (5). En el sistema con calefacción se obtuvo una mayor producción de gas combustible por kilogramo seco de materia orgánica alimentado inicialmente, y su velocidad de producción fue mayor que en los otros dos sistemas, entre los cuales no se encontró una diferencia significativa ni en su producción ni en la velocidad de la misma.

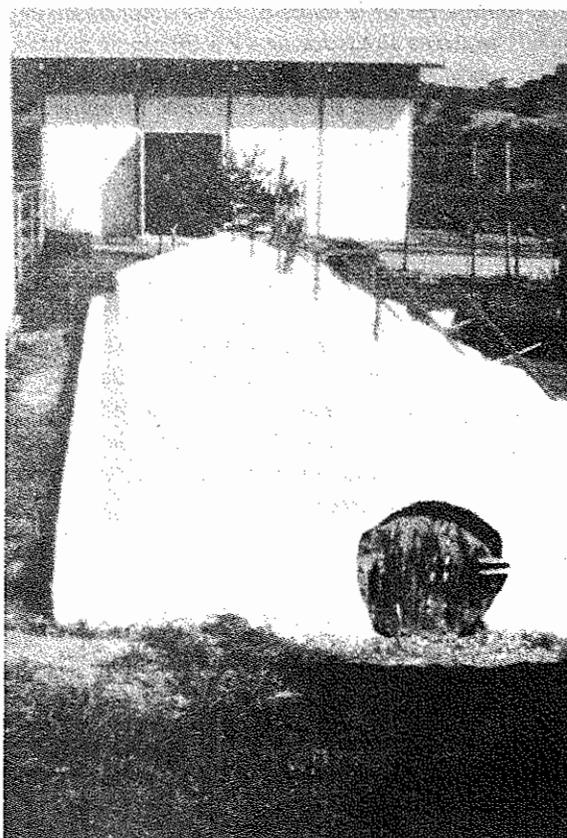
c) Tiempo de residencia

El tiempo que permanecen los sólidos volátiles en un digestor es una parte fundamental del proceso y representa el tiempo promedio que la materia orgánica es atacada por los microorganismos. Este tiempo determina la fracción de gas que se obtenga, de la producción máxima que es posible obtener a tiempos de residencia muy largos. De aquí que es necesario llegar a un compromiso entre el volumen de gas que se va a producir y el tiempo de retención a que se obtiene. El efecto del tiempo de residencia sobre la producción de gas se estudió en el Digestor Familiar de 10 m³ de volumen, donde se estudiaron cinco tiempos diferentes: 10, 15, 30, 42 y 45 días (6), a régimen continuo (carga diaria), con estiércol de bovino como materia prima y agua caliente proveniente de calenta-

dores solares para obtener un porcentaje de sólidos totales del 8 o/o.

Las principales conclusiones fueron las siguientes:

- La operación del digestor cargándolo con agua caliente y el hecho de encontrarse enterrado, dieron como resultado fluctuaciones mínimas de la temperatura en la masa interna del digestor, se mantuvo entre 27 y 30°C durante las 80 semanas de operación.
- Para digestores de carga continua (una vez al día), la reducción del tiempo de residencia hasta valores tan bajos como 10 días incrementa la producción de gas para un mismo volumen de digestor.
- La cantidad de gas que es posible obtener a partir de una masa dada aumenta al aumentar el tiempo de residencia.
- La selección del tiempo óptimo de residencia estará en función de las necesidades energéticas locales, y de la disponibilidad de materia prima y mano de obra. Para un volumen dado de digestor, la operación a un tiempo de residencia



corto, que produce una mayor cantidad de gas que la operación a un tiempo largo, implicará un aumento sustancial de la materia prima que deberá cargarse diariamente, lo que trae consigo un aumento de las horas-hombre requeridas.

En la tabla 1 se presentan los valores promedio de la producción diaria de biogas en este digester para los diferentes tiempos de retención estudiados, y en la figura 4 se muestran los litros de gas producidos por semana durante todo el tiempo de operación.

El tiempo de retención de la materia orgánica en un digester, está fuertemente ligado a la temperatura de operación, ya que al trabajar a temperaturas cada vez más cercanas a la óptima de 35°C, los tiempos de retención se hacen cada vez menores (al conseguirse mayores velocidades de producción), aprovechándose mejor el volumen del digester y obteniéndose además una mayor cantidad de gas por kilogramo de materia orgánica procesada.

d) Porcentaje de sólidos

Los sólidos totales contenidos en un digester son también un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se lleve a cabo en forma satisfactoria (7). El rango de valores de sólidos totales en que se obtuvieron buenos resultados va del 4 al 7 o/o, como se muestra en la figura 5. El estiércol fresco de bovinos contiene alrededor de 17 a 20 o/o de sólidos totales, razón por la cual para llegar al rango de operaciones, es necesario diluirlo con agua, de preferencia con agua caliente.

e) pH

En digestores que operan con estiércol de bovino, se han obtenido niveles de pH en el intervalo de 6.7 a 7.5. El pH se mantiene en este rango si el digester está operando correctamente. Si se pierde el equilibrio en un digester y éste se torna demasiado ácido, esto inhibe a las bacterias formadoras de metano, dando como resultado un incremento en la proporción de bióxido de carbono en el gas.

Las causas por las cuales ese descenso del pH puede ocurrir son entre otras un aumento brusco de la carga, cambios súbitos de temperatura, o presencia de elementos tóxicos.

En algunos casos el pH bajo puede corregirse con adiciones de sustancias alcalinas como carbonato de sodio.

f) Agitación

La agitación de la mezcla en el digester ayuda a establecer un mejor contacto de las bacterias y el sustrato proporcionando además una temperatura interna más uniforme. Esta agitación puede hacerse por medios mecánicos, por recirculación de la mezcla o bien recirculando el biogas a través de difusores en el fondo del digester.

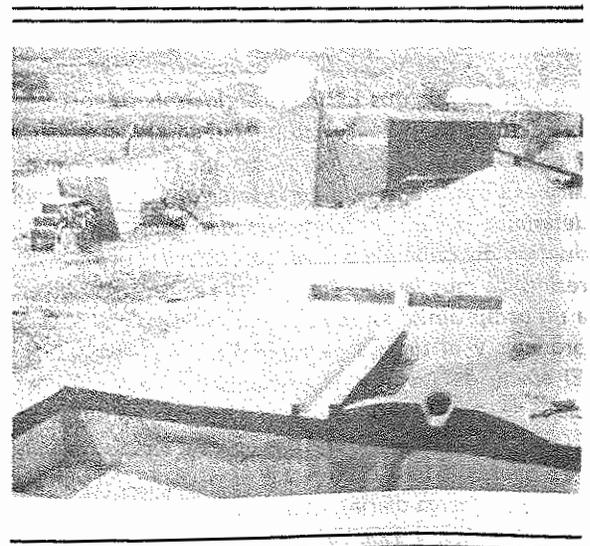
En digestores que operen con bacterias mesofílicas, la agitación requerida es muy leve. En el Digester Familiar la agitación excesiva condujo a una reducción en la producción de gas, debido posiblemente a que una fracción de la descarga del digester estaba formada por materia que no había llegado a degradarse. En este tipo de digester (1) la agitación que produce la entrada de la carga diaria parece ser suficiente para lograr un buen contacto de las bacterias con el sustrato, lo que propicia la formación de gas (6).

En la superficie de la mezcla se tiende a formar una "nata" debido al material fibroso no digerible, la cual se debe romper por medios mecánicos para que el gas salga libremente del seno de la mezcla. En el Digester Familiar se encontró una nata de 30 cms. de espesor después de casi dos años de operación, lo que parece indicar que este tipo de digester se debe abrir por lo menos una vez el año con objeto de darle mantenimiento.

ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

Se enumeran a continuación las características que deben ser tomadas en cuenta para construir un digester.

- Para asegurar que el proceso de fermentación anaeróbica se lleve a cabo, es necesario que el recipiente del digester sea hermético.



- Tomando en cuenta que los cambios bruscos de temperatura inhiben el proceso, es conveniente construir el digestor utilizando materiales de baja conductividad térmica y si es posible enterrado.
- Debe preverse un sistema de carga y descarga que facilite el régimen de operación continua.
- La formación de natas es un problema típico que afecta la producción de gas y la digestión total del material orgánico, por lo que es conveniente dotar al sistema de un medio de extraerlas o romperlas y reducir así el problema.
- Una instalación de este tipo debe localizarse en sitios que permitan el fácil acceso de materia prima, tomando en cuenta además aspectos de utilización y almacenamiento de biogas y lodos residuales.
- Para el diseño de un digestor en particular, habrá que tomar en cuenta la disponibilidad de materia prima y las necesidades energéticas por cubrir a base de biogas. La metodología para calcular un digestor que cubra las necesidades de una familia de 5 a 6 miembros para cocinar y alumbrarse, se presenta en (1) y (6); para un digestor comunal, en (2).

CARACTERISTICAS Y UTILIZACION DEL BIOGAS

El biogas es una mezcla de gases cuyos principales componentes son metano (CH_4), en proporción del 55 al 60 o/o, y bióxido de carbono (CO_2), en un 40-45 o/o, con un poder calorífico de alrededor de 5400 kcal/m³. Su utilización en equipos comerciales requiere de adaptaciones sencillas para quemarlo eficientemente.

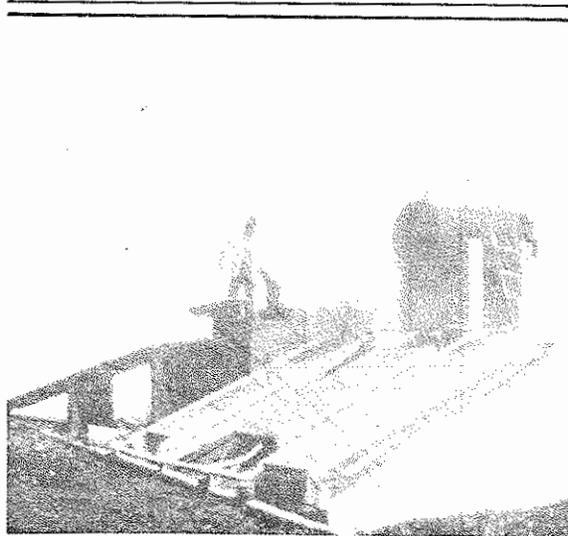
La utilización del biogas se estudió en estufas domésticas sencillas, lámparas de gas tipo capuchón, un refrigerador de absorción y una planta de generación eléctrica de 16 kW accionada por un motor industrial (8). Se estudiaron las adaptaciones que es necesario realizar a estos equipos para utilizar biogas, y se hicieron pruebas de operación comparando este combustible con los convencionales. En la tabla II se presentan las eficiencias de operación encontradas para los diferentes equipos. De estos datos se puede ver que la eficiencia de operación de los equipos con biogas no difiere grandemente de la que se obtiene con los combustibles convencionales, excepto en el caso de la lámpara de capuchón. Aun cuando la intensidad luminosa del biogas es mucho menor que la del gas LP, su nivel de iluminación es aceptable.

Al producirse el biogas y salir del digestor, acarrea vapor de agua que es necesario eliminar para lograr su utilización eficiente. Esto se logra en forma sencilla haciendo pasar la corriente de gas por un tambor que se coloca en un sitio fresco, donde el agua se condensa y se separa del gas, el cual sale del condensador con su humedad de saturación.

En el gas aparece ácido sulfhídrico (H_2S) en concentraciones del orden del 0.2 o/o en volumen. Para utilizar el gas en motores de combustión interna, es necesario separar esta impureza, lo cual se logra haciéndolo pasar por una trampa de limaduras de fierro que retienen el H_2S . En las pruebas realizadas (8), se logró purificar 800 m³ de biogas usando 10 kg. de limaduras de fierro, las cuales, una vez que se habían saturado, se regeneraron exponiéndolas al aire durante 4 días y se volvieron a utilizar.

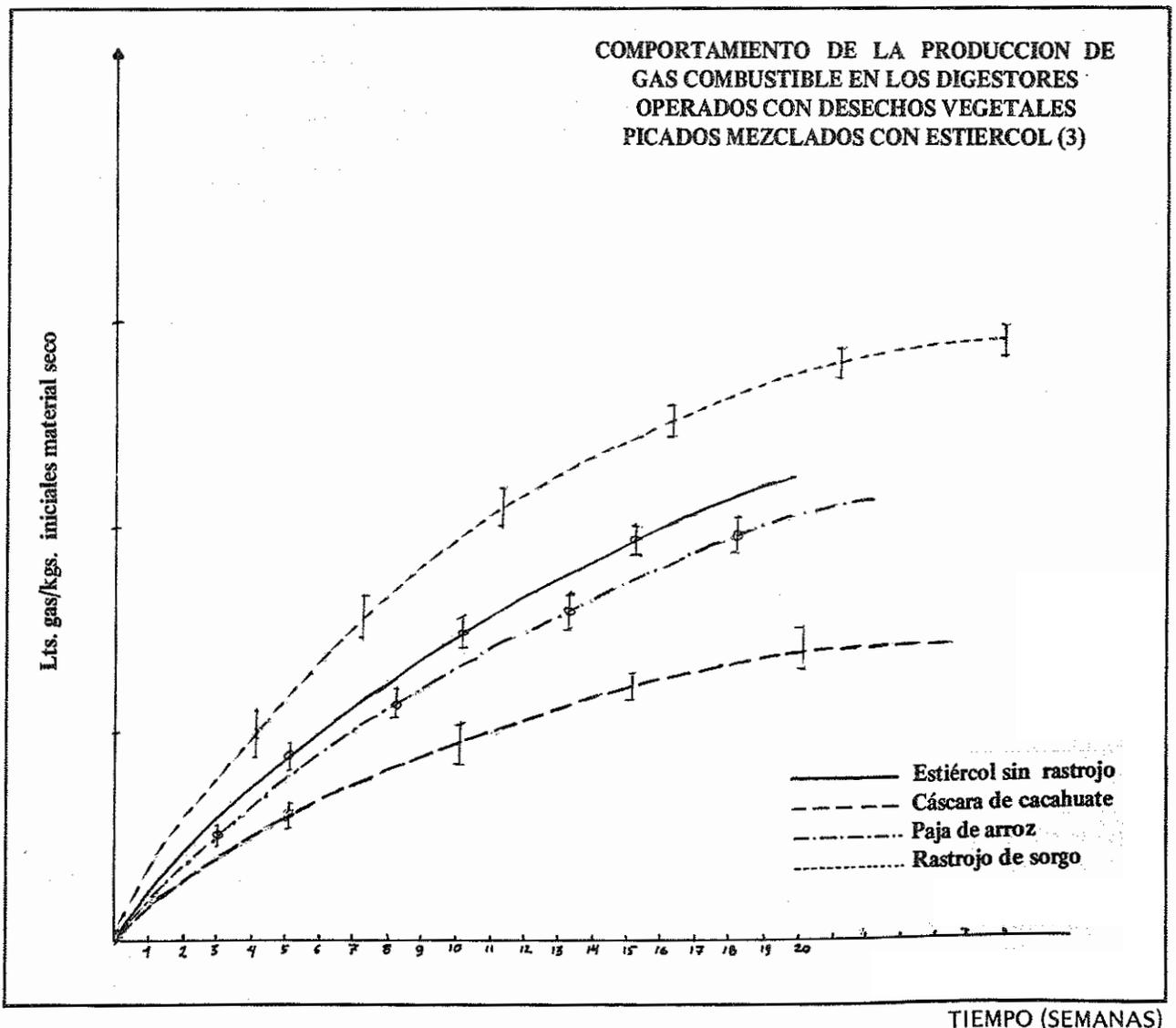
RESIDUO DEL PROCESO

Una vez que la materia orgánica ha permanecido dentro del digestor durante el tiempo de residencia fijado, sale del mismo en forma de lodos residuales. Estos lodos se evaluaron para determinar su poder fertilizante, comparándolos con fertilizante químico y con estiércol fresco (9). Los resultados preliminares mostraron que el efecto de estos lodos se compara favorablemente con los otros fertilizantes.



BIBLIOGRAFIA

- (1) *Diseño, Construcción y Costos del Digestor Familiar de Desechos Orgánicos.* IIE/FE-A2/5. Diciembre, 1977
- (2) *Diseño, Construcción y Operación del Digestor Comunal de Desechos Orgánicos.* IIE/FE -A2/ 13. Agosto, 1979
- (3) *Evaluación de Mezclas de Estiércol de Bovino y Esquilmos Vegetales para Obtención de Biogas por Fermentación Anaeróbica.* IIE/FE-A2/12. Junio, 1979
- (4) *Comportamiento del Estiércol Porcino en la Obtención de Biogas por Fermentación Anaeróbica.* IIE/FE-A2/8. Noviembre, 1978
- (5) *Evaluación de la Influencia de la Temperatura en la Digestión de Desechos Orgánicos.* IIE/FE-A2/10. Mayo 1979
- (6) *Informe Final sobre Operación del Digestor Familiar.* IIE/FE-A2/11. Abril, 1979
- (7) *Determinación del Porcentaje Optimo de Sólidos para Digestores de Desechos Orgánicos.* IIE/ FE-A2/4. Diciembre, 1977
- (8) *Estudios, Adaptación y Pruebas de Equipos Comerciales para la Utilización del Biogas.* IIE/ FE-A2/14. Mayo, 1979.
- (9) *Experimentación con Lodos Residuales de los Digestores de Desechos Orgánicos.* Informe Interno. IIE. Octubre, 1978
- (10) *Methane Production from High Rate Anaerobic Digestion of Hog and Dairy Cattle Manure.* Wang Y.Fong. Tesis de Maestría. University of Manitoba. Canada, 1973



COMPORTAMIENTO DE LA PRODUCCION DE
GAS COMBUSTIBLE EN LOS DIGESTORES
OPERADOS CON DESECHOS VEGETALES
MOLIDOS MEZCLADOS CON ESTIERCOL (3)

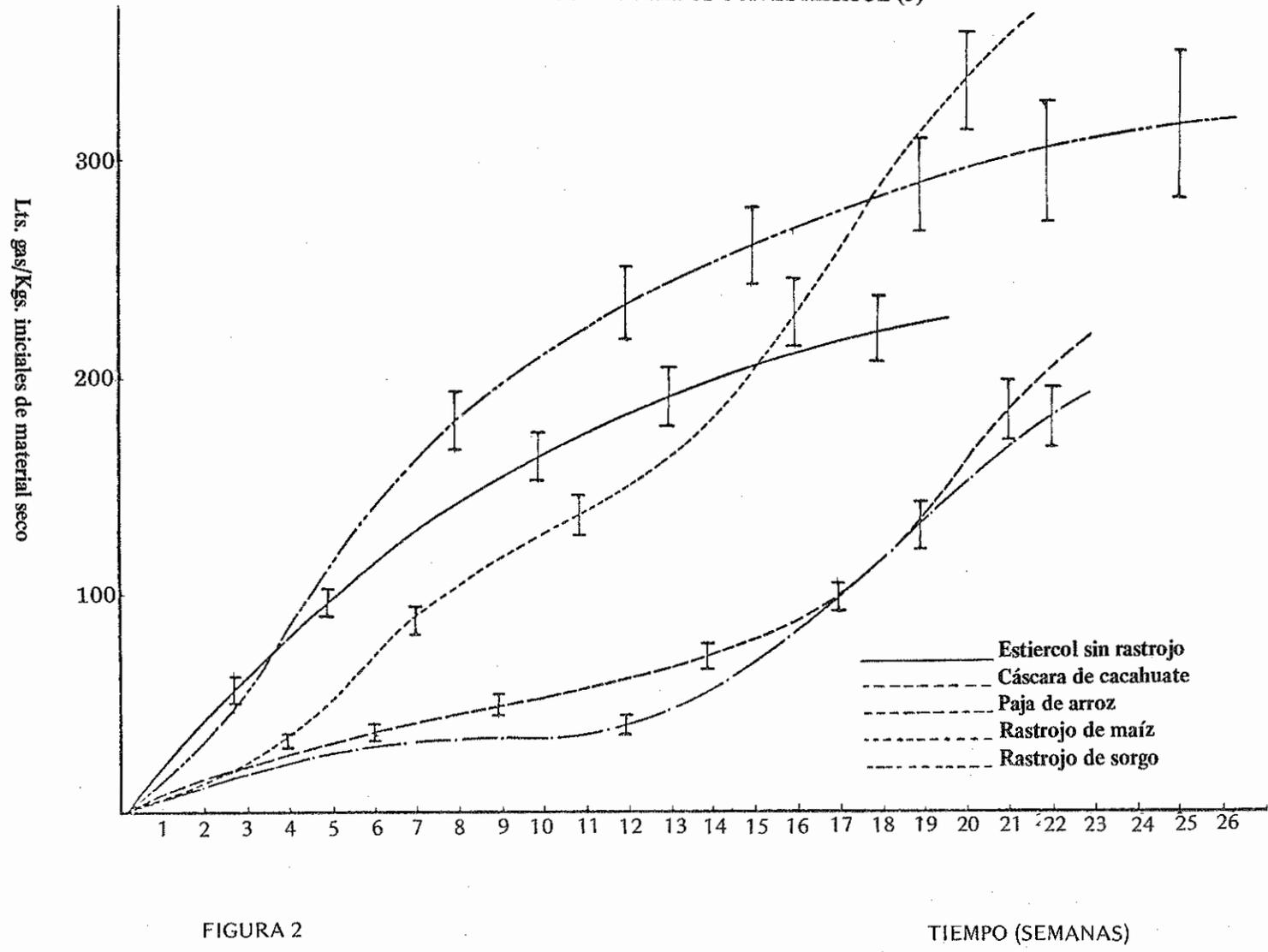
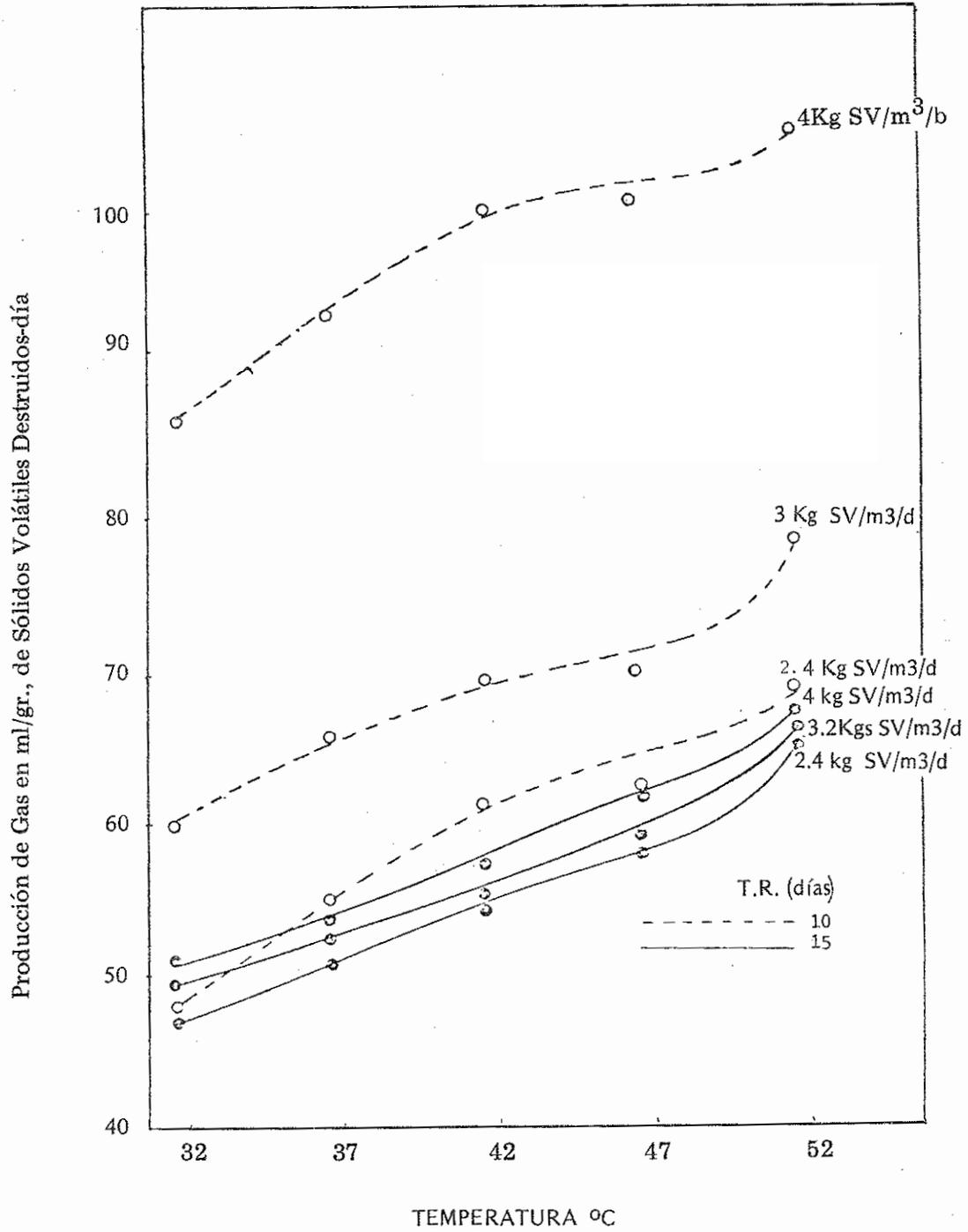


FIGURA 2

TIEMPO (SEMANAS)

FIGURA 3



PRODUCCION DE GAS EN FUNCION DE LA TEMPERATURA (10)

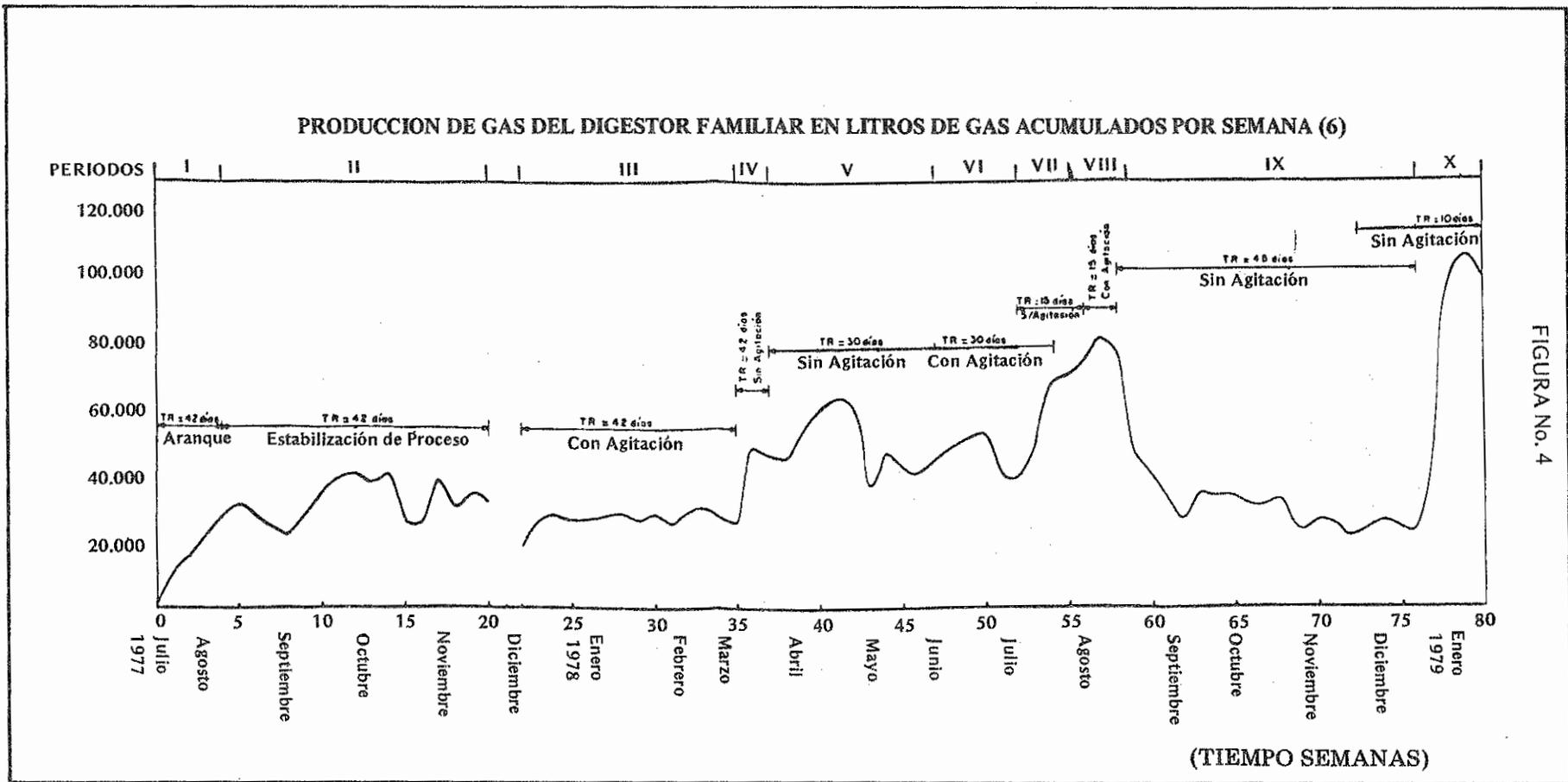


FIGURA No. 4

FIGURA 5

PRODUCCION DE GAS
VS.
o/o SOLIDOS TOTALES (7)

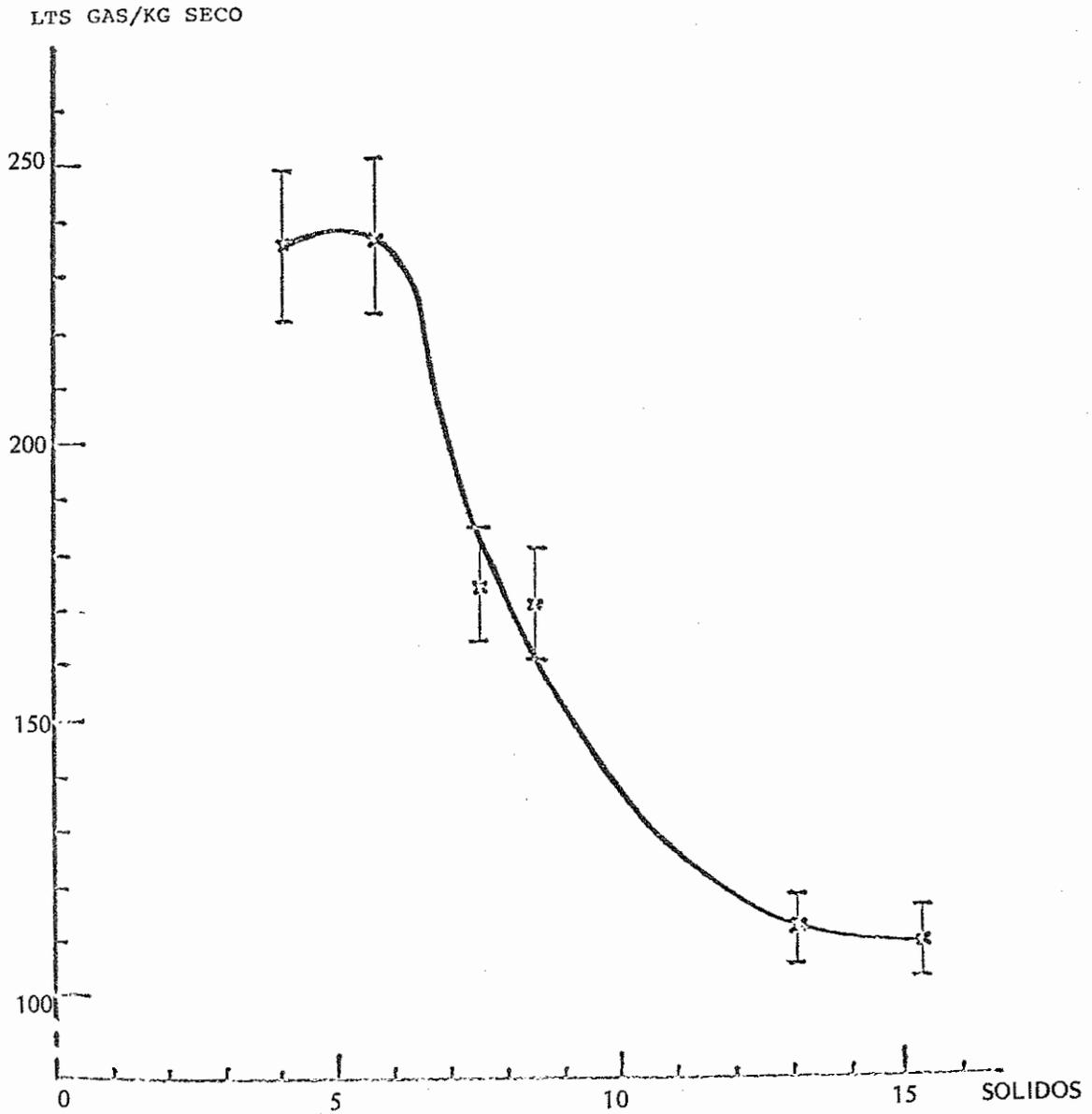


TABLA I

EFFECTO DE LA AGITACION Y EL TIEMPO DE RESIDENCIA SOBRE LA PRODUCCION DE GAS EN EL DIGESTOR FAMILIAR (6), DE 10 m³ DE VOLUMEN

Período	Tiempo de Residencia (Días)	Agitación	Valor promedio y desviación estándar de la producción diaria (lts.gas)
III	42	SI	3807.1±775.4
IV	42	NO	6.886.1±1072.4
V	30	NO	7256.3±1689.8
VI	30	SI	6709.5±1252.5
VII	15	NO	9450.1±1511.4
VIII	15	SI	11477.2±517.0
IX	45	NO	4295.2±1583.1
X	10	NO	14069.5±1941.3

TABLA II

EFICIENCIAS DE OPERACION DE DIFERENTES EQUIPOS ADAPTADOS PARA QUEMAR BIOGAS (8)

	Biogas	Gas L.P.	Gasolina
Estuda doméstica	26.9 o/o	28.6 o/o	—
Lámpara de gas	0.3 (lux /w)	1.31 (lux/w)	—
Refrigerador*	914 (Wh)	973 (Wh)	
Generador de 16kW			
50 o/o de carga	16.5 o/o	13.9 o/o (39 o/o de carga)	11.1 o/o (39 o/o de carga)
75 o/o de carga	17.0 o/o	15.2 o/o	17.1 o/o
100 o/o de carga	18.7 o/o	19.3 o/o	19.5 o/o

* Energía consumida para enfriar 300 ml. de agua de 20°C a 0°C.