

Design of a biodigester to reduce organic waste and generate biogas in a Basic School

Verónica Morales Cárdenas, Doctor en Química¹, Ruderick Gutiérrez, Estudiante Ingeniería Civil Industrial¹ y Sebastián Escafi, Estudiante Ingeniería Civil Industrial¹
¹Universidad de Valparaíso, Chile. veronica.morales@uv.cl

Abstract: *The project encompasses the engineering design and volumetric sizing of a pilot-scale biodigester for Basic School D-271 Los Cerrillos, located in the southwest sector of Santiago, Chile. First, post-consumer kitchen residues were systematically segregated and quantified to fully characterize the feedstock composition. Based on this compositional profile, the carbon-to-nitrogen ratio was precisely adjusted to achieve an optimal balance for anaerobic microbial activity. A moisture analysis of the conditioned substrate determined the required dilution to ensure suitable rheological properties for efficient digestion. Reactor dimensions were then defined by the calculated daily substrate input and a selected hydraulic retention period. Theoretical biogas production per cycle was estimated using standard stoichiometric methods, informing the design of a flexible-volume gas holder capable of capturing peak gas output. Biodigester configuration was chosen according to the operational mode (semi-continuous feeding), substrate characteristics, and target retention time. The final design meets the school's organic-waste management needs and supports its transition toward sustainable, intelligent valorization of biomass.*

Keywords: *Biodigester, Organic waste, Biogas, Sustainability, Waste management*

I. INTRODUCCION

Durante los últimos años se ha observado una creciente preocupación por el cuidado del medioambiente, sobre todo desde que se ha comprobado que gran parte de los fenómenos como calentamiento global y cambio climático son causados por actividad antropogénica. Tuvo que pasar mucho tiempo para que los seres humanos fueran capaces de asumir sus errores y tratara de enmendarlos, afortunadamente a nivel mundial cada vez son más las personas que se suman a un sistema de vida más “verde” y a incorporarse a las prácticas de la Economía circular.

Una de las mejores formas de crear conciencia del cuidado del medio ambiente radica en educar, y bajo ese punto de vista, la mejor etapa para educar es la niñez, cuanto más pequeña una persona recibe una enseñanza, mayor es la posibilidad que este conocimiento se afiance y permanezca en el tiempo. Bajo este precepto se diseñó un biorreactor para la escuela Básica D- 217 Los Cerrillos, orientado a valorización de los residuos orgánicos provenientes de la cocina y el comedor, para

transformarlos en biogás que será utilizado como energía en la misma escuela, de esta forma y acompañado de charlas se puede concientizar a los menores de manera concreta y educar con el ejemplo, por lo que la gestión eficiente de residuos orgánicos representa un desafío y una oportunidad significativa de generar un cambio de mentalidad en las nuevas generaciones, frente al manejo y valorización de los residuos orgánicos.

En la Escuela Básica 271 Los Cerrillos, la Zona de Acopio de Residuos Orgánicos (ZARO), donde diariamente se depositan los desechos de frutas y verduras de la cocina del casino, se identifica como un punto neurálgico para la intervención ambiental, por lo que la implementación de un biodigester podría transformar la manera en que la escuela maneja estos residuos, aprovechando su potencial para generar biogás y digestato, contribuyendo así a una gestión más sostenible y educativa del medio ambiente.

Los residuos orgánicos, compuestos principalmente por restos de alimentos, son materiales biodegradables con un potencial considerable para la generación de valor, particularmente en la forma de energía renovable [1]. Sin embargo, su manejo inadecuado a menudo resulta en un desaprovechamiento de estos recursos, contribuyendo al aumento de residuos en vertederos y a la emisión de gases de efecto invernadero. Una alternativa prometedora para este problema es la biodigestión anaeróbica, un proceso biológico que convierte la materia orgánica en biogás, un recurso energético valioso.

El biogás se produce mediante la acción de distintos grupos de bacterias que desempeñan roles específicos en cada fase del proceso de biodigestión. Este proceso, también llamado biometanización o biometanación, ocurre en 4 fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis [2]. Durante cada etapa actúan bacterias específicas encargadas de romper enlaces y transformar moléculas complejas de la materia orgánica en moléculas cada vez más pequeñas, y así obtener un gas formado principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), con una mínima presencia de otros gases a nivel traza [3]. La eficiencia de este proceso depende en gran medida de la composición del sustrato, siendo la relación carbono/nitrógeno (C/N) un factor determinante para que la actividad microbiana sea óptima. Esta relación varía según el tipo de biorreactor y el tipo de materia orgánica a procesar, pero generalmente se encuentra en el rango de 20:1 a 30:1.

Para el diseño de un biodigester adecuado a las necesidades de reducción de volumen de residuos orgánicos de la escuela

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

D- 217 se consideraron parámetros como, tipo de reactor según alimentación, humedad del sustrato, número de etapas de biodigestión, tiempo de retención hidráulica (THR) y potencial de biogás en función de la masa y porcentaje de sólidos volátiles (PSV), El potencial de biogás se refiere a la cantidad máxima de biogás que se puede producir a partir de una cantidad específica de sustrato bajo condiciones controladas. Este parámetro es crucial para el diseño y la operación eficiente de un biodigestor, se determina en base a la masa de sólidos volátiles (SV), que son la fracción biodegradable del sustrato, es decir, se pueden convertir en biogás, por lo tanto, un alto porcentaje de SV en un sustrato, generalmente indica un mayor potencial para la producción de biogás o para la descomposición biológica.

II. METODOLOGIA

La planificación del proyecto se divide en 4 etapas:

1. Caracterización de los residuos orgánicos y determinación del tipo de biodigestor.

Desde la ZARO tomaron 5 muestras aleatorias en 5 días diferentes. para cada muestra se determinó el tipo de frutas y verduras que la componía, su masa total y la fracción másica de cada componente.

El manejo estadístico de los datos obtenidos de las muestras se realizó mediante cálculo de medias y desviaciones estándar con intervalo de confianza del 95%, con aplicación de la distribución t de Student debido a la variancia poblacional desconocida y al tamaño de muestra menor a 30. El nivel de confianza fue 95% con 4 grados de libertad, asumiendo que las muestras provienen de una población con distribución normal. Luego se determinaron las fracciones másicas promedio, este valor intermedio se empleó como la estimación más fiable para los cálculos siguientes, al ser el promedio de los límites inferior y superior del intervalo. Mediante el uso de las fracciones másicas promedio y los datos de masa total de residuos entregados por el personal de cocina del casino, se calculó la masa mensual de cada tipo de residuo. Sumando las masas de todos los tipos de residuos, se obtiene la masa mensual de residuos orgánicos de ZARO.

Considerando los cálculos previos y la situación socioeconómica de la escuela, se determina el tipo de biodigestor.

2. Determinación de la relación óptima C/N

En función del tipo de biodigestor seleccionado y los tipos de residuos a tratar se determinó el tiempo de retención hidráulica (TRH) y su respectivo factor de seguridad. Luego mediante cálculos se ajustó el TRH y se determinó la masa del sustrato inicial. Se calculó la relación C/N del sustrato para posteriormente obtener la relación óptima C/N, definir tipo y cantidad de ajustador a emplear, por medio de información bibliográfica y cálculos.

3. Dimensionamiento del biodigestor en función del volumen de residuos.

Se determinó la masa de agua y la masa seca del sustrato intermedio (mezcla de sustrato inicial y ajustador) para luego calcular la masa de agua que se debe añadir para obtener la humedad de operación, con esto se calcula el volumen total de sustrato a tratar. En base a este dato se calcula el volumen de reactor necesario y se afinan las dimensiones.

4. Cálculo del volumen teórico de biogás a obtener.

En base al contenido de sólidos volátiles del sustrato se calcula el volumen máximo que se podría obtener.

III. RESULTADOS

A. Caracterización de los residuos de la ZARO.

Se recolectaron cinco muestras aleatorias de diferentes puntos de la ZARO, un viernes para que las muestras fueran representativas de la acumulación semanal de los desechos de la cocina. Las masas de cada muestra se encontraron entre 0,75 y 0,80 Kg y se determinó que están compuestas por Papa, Tomate, Lechuga, Manzana, Pera y Plátano. Luego de separar los componentes de cada muestra se determinaron las fracciones másicas de cada uno y su media. Posteriormente se calculó la desviación estándar muestral empleando (1). Los resultados obtenidos se presentan en la tabla I

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{j=1}^5 (w_{ij} - \bar{w}_i)^2} \quad (1)$$

s_i : desviación estándar muestral de las fracciones másicas para el residuo i,

w_{ij} : fracción másica del residuo i perteneciente a la muestra j

\bar{w}_i : media de la fracción másica del residuo i.

TABLA I
FRACCION MASICA PROMEDIO Y DESVIACION
ESTANDAR POR RESIDUO.

Identificador i	Tipo de residuo	\bar{w}_i	s_i
1	Papa	0.345	0.0114
2	Tomate	0.105	0.0114
3	Lechuga	0.076	0.0114
4	Manzana	0.146	0.0114
5	Pera	0.204	0.0114
6	Plátano	0.124	0.0089

Las fracciones másicas promedio presentadas en la tabla I representan el promedio de contribución de cada residuo a la masa total muestreada, por ejemplo, la fracción másica promedio para la papa es 0.345, lo que significa que, en

promedio, constituye el 34.5% de la masa total de las muestras. La desviación estándar se calcula para determinar la variabilidad de las fracciones, por ejemplo, en el caso del plátano, se obtuvo una desviación estándar de $s_6=0.0089$, lo que es indicativo de una variabilidad muy baja, esto demuestra que las mediciones son consistentes, agrupándolas alrededor del promedio, $w_6=0.124$. Similar comportamiento se observa en los demás residuos. Posteriormente se calculó los intervalos de confianza 95% a las medias de las fracciones másicas de los residuos, se emplea un 95%, dado que el tamaño de la muestra es de $n = 5$, menor a 30, y se desconoce la varianza poblacional (σ^2), se aplica la distribución t de Student con $n-1=4$ grados de libertad y se asume que las muestras proceden de una población con distribución normal. Los resultados se aprecian en la tabla II.

TABLA II
INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LAS MEDIAS DE LAS
FRACCIONES MASICAS DE LOS RESIDUOS.

Identificador i	Tipo de residuo	Intervalo de confianza del 95% para \bar{w}_i	Rango del intervalo
1	Papa	[0.3308, 0.3592]	0.0284
2	Tomate	[0.0908, 0.1192]	0.0284
3	Lechuga	[0.0618, 0.0902]	0.0284
4	Manzana	[0.1318, 0.1602]	0.0284
5	Pera	[0.1898, 0.2182]	0.0284
6	Plátano	[0.1129, 0.1350]	0.0221

Como se aprecia en la tabla II, los rangos de los intervalos son inferiores a 0.03, indicando una baja variabilidad en las fracciones másicas de las muestras, por lo que se opta por utilizar el punto medio de cada intervalo de confianza como la estimación práctica de la fracción másica de cada tipo de residuo.

Las cocinas de la escuela actualmente generan 50 kg/semana de residuos que van a la ZARO, pero prontamente se habilitaran 10 puntos de destinados a la recepción de desechos de frutas y verduras generados por la comunidad escolar, por lo que los residuos en la ZARO aumentaran a 100 kg/semana. Asumiendo que la composición de los nuevos residuos es idéntica a la de los de la cocina se determina la masa semanal de cada residuo, como se ve en la tabla III.

TABLA III
MASA DE RESIDUOS SEMANALES ACUMULADOS EN LA ZARO

Identificador i	Tipo de residuo	\bar{w}_i	Masa, m_i , kg/semana
1	Papa	0.345	34.5
2	Tomate	0.105	10.5
3	Lechuga	0.076	7.6
4	Manzana	0.146	14.6
5	Pera	0.204	20.4
6	Plátano	0.124	12.4
		1.000	100 kg

Definidos los tipos de residuos, sus características y cantidades producidas semanalmente se definió el tipo de biodigestor.

B. Selección del Tipo de Biodigestor.

En base a los resultados experimentales y a lo reportado en literatura [5], se decanta por un *biodigestor batch húmedo de una etapa* dados los siguientes criterios:

1. Características y volumen de Residuos

Los residuos orgánicos generados en la escuela consisten principalmente en restos de frutas y verduras, con una producción semanal de 100 kg. Estos residuos tienen un alto porcentaje de agua en su masa, característica que justifica la elección de un biodigestor húmedo

Los biodigestores batch presentan buenos porcentaje de conversión a biogás con volúmenes moderados de residuos, como los generados por la escuela. Por otra parte, el diseño "batch de una etapa" es sencillo y eficiente, lo que se ajusta a las necesidades de la escuela que requiere una solución con bajo costo de mantenimiento y fácil operación.

2. Sencillez de Operación y Mantenimiento

El biodigestor batch de una etapa es fácil de operar y mantener, lo que es importante en un entorno escolar donde el personal puede no tener experiencia técnica avanzada. Los biodigestores de flujo continuo, aunque eficientes, requieren un manejo más complejo y continuo, lo que no es ideal para una escuela básica.

3. Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

El tiempo de retención hidráulica para los residuos de frutas y verduras es de 20 días. Un biodigestor de una etapa permite ajustar este tiempo de retención fácilmente, asegurando una digestión completa y eficiente. Esto es apropiado para la operación en ciclos de un biodigestor batch, donde cada ciclo permite procesar una carga completa de residuos.

4. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

La relación C/N de los residuos es ideal para la producción de biogás, variando entre 20:1 y 30:1. El biodigestor batch permite ajustar esta proporción mediante la adición de otra sustancia que actúe como un "ajustador". Un sistema batch permite un mejor ajuste y control de este parámetro que en un sistema de

flujo continuo, donde los ajustes deben ser realizados en tiempo real.

5. Eficiencia y Sostenibilidad

El diseño del biodigestor se enfoca en la eficiencia y la sostenibilidad, utilizando un proceso de digestión anaeróbica que convierte la materia orgánica en biogás. El tipo batch de una etapa es ideal para escuelas y otros entornos educativos, ya que permite una operación intermitente y programada, ajustada a las necesidades del establecimiento.

En concreto, la elección de un biodigestor batch de una etapa se basa en la caracterización de los residuos, las dimensiones del proyecto, la sencillez de operación y mantenimiento, el tiempo de retención hidráulica, la relación C/N, y la eficiencia y sostenibilidad del proceso. Esta elección cumple con las necesidades de la escuela y representa una solución práctica y sostenible para la gestión de residuos y la generación de energía.

C. Determinación de la proporción óptima de relación C/N

Sabiendo que los residuos de frutas y verduras se degradan en un rango de 15 a 30 días debido a su alto contenido de agua, presencia de azúcares simples y nutrientes que aceleran la actividad microbiana y considerando que se empleará un biodigestor húmedo de una etapa, se selecciona un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 20 días, ya que este proporciona un equilibrio entre una digestión completa y una frecuencia de ciclos práctica para la operación del biodigestor. Para determinar el tiempo de retención hidráulica ajustado (TRHa) se emplea (2), con un factor de seguridad (f_s) de 1.2, obteniéndose un TRHa de 24 días/cb

$$TRHa = f_s \cdot TRH \quad (2)$$

Este TRHa implica que un ciclo batch (cb) tiene una duración de 24 días, y que el tiempo de permanencia de los residuos en el biodigestor antes de retirarlos es de 24 días, tiempo ajustado que garantiza un rango de tolerancia ante posibles variaciones en el volumen de residuos generados.

La masa de sustrato inicial (M_{S1}) se calcula aplicando (3), obteniéndose un $M_{S1}=342.86$ kg/cb.

$$M_{S1} = \frac{m \cdot TRHa}{7} \quad (3)$$

m : masa de sustrato (kg/semana)

7: días/semana

$TRHa$: tiempo de retención hidráulica ajustada (días/cb)

Este M_{S1} indica que para cada ciclo batch el biodigestor se debe alimentar con 342.86 kg de sustrato inicial.

En base a los datos de \bar{w}_i presentados en la tabla III se determinó la composición del sustrato inicial. (Tabla IV)

TABLA IV
COMPOSICION MÁSCICA DEL SUSTRATO INICIAL

Identificador i	Componente del M_{S1}	Masa M_i kg/cb
1	Papa	118.3
2	Tomate	36
3	Lechuga	26.06
4	Manzana	50.06
5	Pera	69.94
6	Plátano	42.5
		342.86

El siguiente paso fue determinar la relación C/N del sustrato inicial (CN_{S1}). Para esto se emplean los datos de fracciones máscicas promedio presentadas en la tabla III y las relaciones C/N reportadas en literatura, para cada componente (CN_i) [4]. Introduciendo estos datos en (4) se obtiene una $CNS_1 = 32.07$

$$CN_{S1} = \sum_{i=1}^6 \bar{w}_i \cdot CN_i \quad (4)$$

Si bien se aprecia que la relación inicial no es mala, se decide ajustarla para llegar al óptimo reportado para producción de biogás, $C/N_{op} = 30:1$ [5], para esto es necesario incorporar una fuente adicional rica en nitrógeno, denominada “ajustador”, dentro de los ajustadores disponibles se seleccionó estiércol de vacuno, debido a su relación C/N de 10:1 ($CN_{ev} = 10/1$), y a su disponibilidad en el sector donde se ubica la escuela.

Para establecer la masa necesaria de estiércol (M_{ev}) se realiza el balance de masa del sistema (5) y se aplican las ecuaciones 6 a 8

$$CN_{op} = w_{S1} \cdot CN_{S1} + w_{ev} \cdot CN_{ev} \quad (5)$$

Donde w_{S1} es fracción máscica de sustrato inicial en el sustrato intermedio, y se define como:

$$w_{S1} = \frac{M_{S1}}{M_{S1} + M_{ev}} \quad (6)$$

Y w_{ev} es la fracción máscica de estiércol de vacuno en el sustrato intermedio definida como:

$$w_{ev} = \frac{M_{ev}}{M_{S1} + M_{ev}} \quad (7)$$

Reemplazando (6) y (7) en (5) y despejando M_{ev} se tiene que:

$$M_{ev} = \frac{(CN_{S1} - CN_{op}) \cdot M_{S1}}{(CN_{op} - CN_{ev})} \quad (8)$$

Empleando (8) se obtiene que la masa de estiércol de vacuno necesaria es 35,5 kg/cb. Este ajustador sumado al sustrato inicial forma el sustrato intermedio (S_2) con una relación C/N

de 30:1, una composición por ciclo batch (cb) como se ve en la figura 1, y una masa total de 378,35 kg.

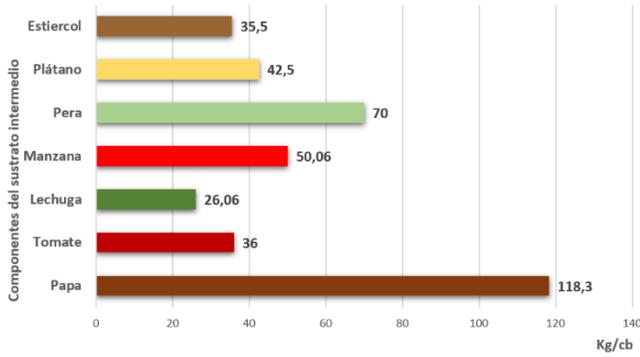


Fig. 1 Composición del sustrato intermedio (S₂) en kg/cb.

D. Determinación de la humedad del sustrato y cálculo del volumen de alimentación.

Para llegar a una alimentación balanceada entre sustrato y agua se selecciona una humedad operacional del sustrato a 92.5%. Este valor se sitúa en el punto medio del rango típico de humedad (90-95%) para este tipo de biodigestores. La elección del valor intermedio proporciona un margen de error permitiendo cierta flexibilidad ante variaciones que puedan ocurrir durante el proceso, por lo tanto, la humedad operacional del sustrato (w_a) debe ser $w_a=0.925$.

La masa de agua contenida en cada componente del sustrato intermedio se determina empleando (9)

$$M_{ai} = M_i \cdot w_{ai} \quad (9)$$

M_{ai} : masa de agua contenida en el componente i del S₂.

M_i : masa del componente i del S₂.

w_{ai} : humedad del componente i .

Considerando los datos de masas de los componentes de S₂ presentados en la figura 1 y los porcentajes de humedad reportados [6], se obtiene que $M_{ai}=307,23$ kg/cb, lo que corresponde a un 81,2% de la masa de S₂, es decir el w_a de S₂ es 0,812, lo que es menor al w_a requerido de 0,925. Por lo que se hace necesario agregar agua a S₂. El 18,8% restante corresponde a la masa seca de S₂ (M_d) correspondiente a 72,2 kg/cb.

Para alcanzar w_a se debe agregar agua (M_b) al S₂. Con la adición de M_b se tiene que la cantidad de agua total contenida en el sustrato (M_a^*) es la suma del agua contenida en los componentes (M_a) más la masa de agua a añadir (M_b) (10)

$$M_a^* = M_a + M_b \quad (10)$$

Por lo tanto, la masa total del sustrato (M_s) estará dada por (11)

$$M_s = M_a + M_b + M_d \quad (11)$$

La humedad operacional del sustrato se define como en (12)

$$w_a = \frac{M_a^*}{M_s} \quad (12)$$

Reemplazando (10) y (11) en (12) se puede determinar la masa de agua que se debe añadir (13)

$$M_b = \frac{w_a \cdot M_d}{1 - w_a} - M_a \quad (13)$$

La M_b obtenida es de 569,867 kg/cb, aproximado a 570 kg/cb equivalente a 570 L de agua. Aplicando (11) se tiene que la masa total del sustrato intermedio que se empleará como alimentación es de 948,35 kg/cb.

Empleando las masas calculadas para cada componente de S₂ y sus respectivas densidades [7] se obtiene, por medio de (14), que el volumen del sustrato (V_s) es 1232.6 L/cb (1,23 m³)

$$V_s = \sum_{i=1}^8 \frac{M_i}{\rho_i} \quad (14)$$

E. Dimensionamiento del biodigestor.

La estructura típica de un biodigestor batch húmedo de una etapa, se puede definir en 2 partes: cuerpo y cúpula. Para el cuerpo se decide adoptar una geometría cilíndrica, considerando el espacio del que dispone la escuela para la instalación del equipo. El volumen del cuerpo (V_b) se calcula mediante (15)

$$V_b = c \cdot V_s \quad (15)$$

donde c es el factor de seguridad con un valor 1.5, para obtener un valor de V_b que asegure un 50% sobre V_s , obteniéndose un volumen de 1,849 m³. Para determinar la altura y el diámetro del cuerpo se emplea (16)

$$V_b = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h_b}{4} \quad (16)$$

donde D es el diámetro y h_b la altura del cuerpo.

La relación $D:h_b$ se define como 1:1, considerando que la cúpula sumará altura. Reemplazando los valores en (16) se tiene que $h_b = 1.33$ m y $D = 1.33$ m.

Una de las formas de definir el volumen de la cúpula (V_c) de un biodigestor, es considerarlo como un tercio del volumen del cuerpo [8]. En este caso, $V_c = 0,62$ m³ y el radio (r) es 0,665 m. El valor de la altura de la cúpula, $h_c = 0,67$ m, se obtiene de (17)

$$h_c = \sqrt[3]{3r - \frac{3V_c}{\pi}} \quad (17)$$

El volumen del biodigestor (V_{bd}) es $2,469 \text{ m}^3$, aproximando $2,5 \text{ m}^3$, con un diámetro de $1,33 \text{ m}$ y una altura total $h_t = 2 \text{ m}$. El diagrama de la forma y dimensiones del biodigestor se aprecian en la fig. 2.

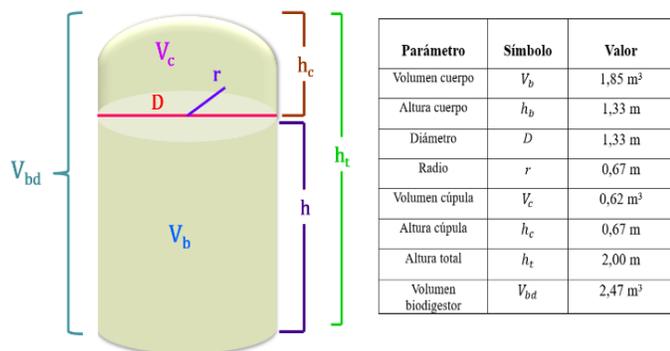


Fig. 2. Diagrama del biorreactor y sus dimensiones.

F. Cálculo del volumen teórico de biogás,

Para obtener el volumen teórico de biogás (V_{bg}) a se emplea (18)

$$V_{bg} = \sum_{i=1}^7 M_i \cdot SV_i \cdot PB_i \quad (18)$$

M_i : masa del componente i en el sustrato

SV_i : sólidos volátiles del componente i en el sustrato (kgSV/kg)

PB_i : potencial de biogás del componente i en el sustrato (L/kgSV)

Los datos necesarios para determinar V_{bg} se agrupan en la tabla V.

TABLA V
CONTENIDO DE SÓLIDOS VOLÁTILES Y POTENCIAL DE BIOGÁS DE LOS COMPONENTES DEL SUSTRATO.

Identificador i	Componente	M_i , (kg/cb)	SV_i (kgSV/kg)	PB_i (L/kgSV)
1	Papa	118.3	0.165	456
2	Tomate	36	0.038	456
3	Lechuga	26.06	0.04	456
4	Manzana	50.06	0.103	456
5	Pera	69.94	0.122	456
6	Plátano	42.5	0.162	456
7	Estiércol de vacuno	35.486	0.288	506

Aplicando los datos de la tabla V en (18) se obtiene $V_{bg} = 24,55 \text{ m}^3/\text{cb}$.

El volumen del gasómetro se puede calcular multiplicando V_{bg} por un factor de seguridad c , como se presentó en el cálculo de V_b , asumiendo $c=1,5$, se obtiene que el volumen del gasómetro debe ser $V_{gm} = 36,83 \text{ m}^3/\text{cb}$.

Considerando el espacio disponible para instalación y operación, se decide que la geometría del gasómetro será cilíndrica con diámetro (D_{gm}) de 3 m . Usando (16) se obtiene que la altura es $h_{gm} = 5,2 \text{ m}$ (fig. 3)

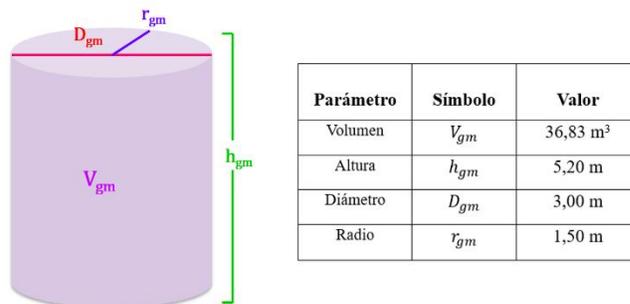


Fig. 3. Diagrama del gasómetro y sus dimensiones.

La figura 4 presenta esquemáticamente los principales resultados obtenidos.

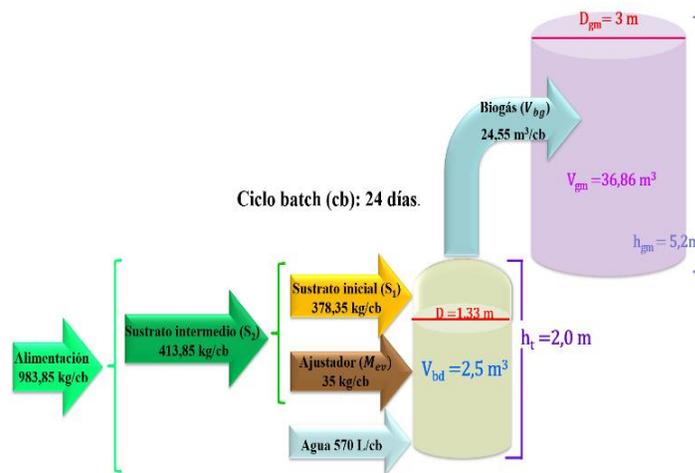


Fig. 4. Esquema del biodigestor, su alimentación y gasómetro diseñados para la escuela E-217 de Cerrillos.

IV. CONCLUSIONES

Se logró caracterizar y cuantificar residuos orgánicos generados en la escuela. R

La relación óptima C:N para la producción de biogás se alcanzó agregando como ajustador estiércol de vacuno.

En base a la masa, volumen y composición de la alimentación por ciclo batch se logró dimensionar un biorreactor que cumple

con la necesidad de tratar los residuos orgánicos de la Escuela D- 217 Los Cerrillos.

Con base en la caracterización fisicoquímica de los componentes del sustrato, se pudo determinar el volumen teórico de biogás a producir y en base a este dimensionar un gasómetro apropiado al espacio disponible.

REFERENCIAS

- [1] R. Barrena, T. Gea, S. Ponsá, L. Ruggieri, A. Artola, X. Font, and A. Sánchez, "Categorizing Raw Organic Material Biodegradability Via Respiration Activity Measurement: A Review," *IEEE Translated J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740-741, Aug. 1987 [Digest 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982], DOI: 10.1080/1065657X.2011.10736985.
- [2] Y. Lorenzo Acosta and M. C. Obaya Abreu, "La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I," *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. XXXIX, no. 1, pp. 35-48, 2005.
- [3] A. Gutiérrez Saavedra, "El biogás: Alternativa energética emergente," *ODEPA | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias*, Jan. 1, 1970. [Online]. Available: <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/el-biogas-alternativa-energetica-emergente-2>.
- [4] C. Asquer, A. Pistis, and E. A. Scano, "Characterization of Fruit and Vegetable Wastes as a Single Substrate for the Anaerobic Digestion," *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 12, no. S11, pp. 89-92, Nov. 2013. [Online]. Available: <http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/>.
- [5] "Manual de Biogás," Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables" MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011.
- [6] J. A. T. Pennington and J. Spungen, "Valores alimentarios de las porciones comúnmente utilizadas de Bowes & Church," 18ª edición. Filadelfia, Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
- [7] "Índices de frutas y verduras," E-labshop. [Online]. Available: <https://e-labshop.com/blog/2018/12/19/indices-de-frutas-y-verduras/>.
- [8] L. Ratera, "Estudio de alternativas y dimensionamiento de biodigestores para aplicaciones domésticas en la zona rural de Nwadjahane en Mozambique," Trabajo de grado, Departamento de Máquinas y motores térmicos, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2011. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/14508?locale-attribute=es>.