

# Diseño de biodigestores y producción de electricidad.

*Con toda la **Energía***

Electricidad 

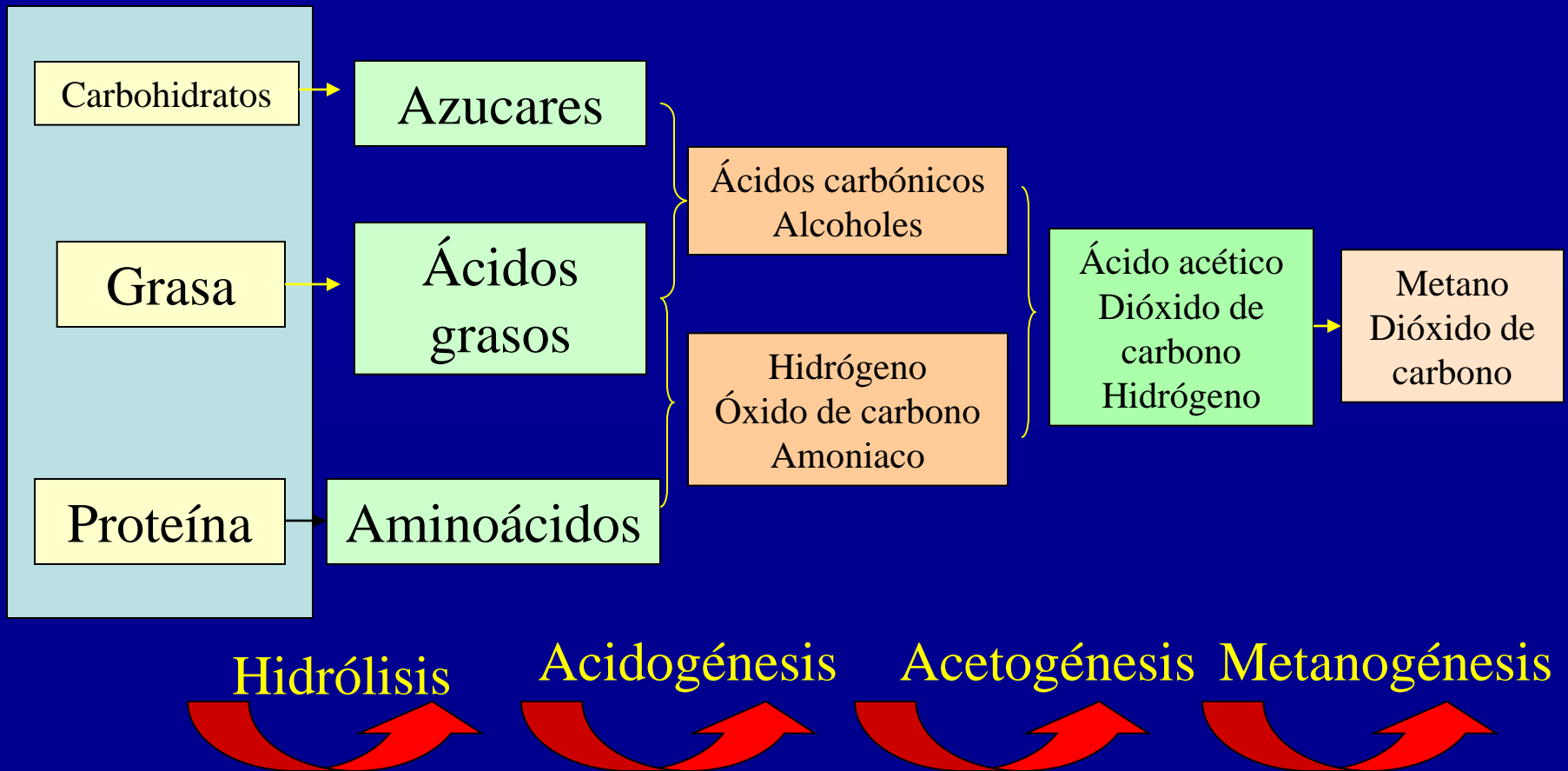
Electricidad

# Biogás

El principal componente del biogás es el gas *METANO*, cuya composición depende del tipo de materia orgánica utilizada y las condiciones de la descomposición. Este gas metano es el que le brinda al biogás las propiedades de combustible.

Sustancia	Símbolo	Porcentaje (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	50 – 70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	30 – 40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	5 – 10
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	1 – 2
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	0.3
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	Trazos

# Proceso de fermentación



# Factores

# Factores que influyen en la producción de biogás

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles)
- Temperatura del sustrato;
- Carga volumétrica
- Tiempo de retención hidráulico
- Nivel de acidez (pH)
- Relación Carbono/Nitrógeno
- Concentración del sustrato
- Agregado de inoculantes
- Sistema de agitación
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

# Tipo de materia prima

## Materias primas fermentables:

- Excremento
- Aguas residuales orgánicas de industrias
- Restos de cosechas
- Basura.

Tipo de estiércol	Producción de biogás (m <sup>3</sup> /kg)
Vacuno	0.023 - 0.040
Cerdos	0.040 - 0.059
Aves corral	0.065 - 0.116
Humano	0.020 - 0.028

No solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio: sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Normalmente, las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo, en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse casos en que es necesaria la adición de los compuestos enumerados, o bien un post tratamiento aeróbico

# Temperatura

Para que se inicie el proceso se requiere de una temperatura mínima de 4 a 5 °C.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de Retención Hidráulica, TRH).

A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia, se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa.

# Velocidad de carga volumétrica

Es el volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor.

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día, todos expresados por metro cúbico de digestor.

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la *dilución utilizada*, debido a que una misma cantidad de material biodegradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua.



# Tiempos de retención

El TRH está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y su temperatura.

La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente, serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el TRH, ya que varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia.

MATERIA PRIMA	T.R.H.
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días

# Acidez (PH)

Una vez estabilizado el proceso fermentativo, el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8,5.

Debido a los efectos buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$  -  $\text{HCO}_3$ ) y Amonio - Amoníaco ( $\text{NH}_4$  -  $\text{NH}_3$ ), el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada.

# Contenido de sólidos

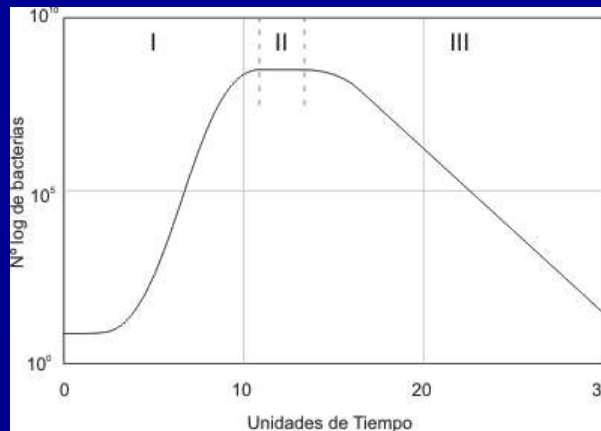
La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas.

En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el **8%** y el **12%**.

Normalmente el porcentaje de sólidos del estiércol vacuno es de 18% y el de la cerdaza de 22% , por lo tanto se debe agregar agua para llevar el porcentaje de sólidos al ideal (8% a 12%).

# Inclusión de inoculantes

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente.



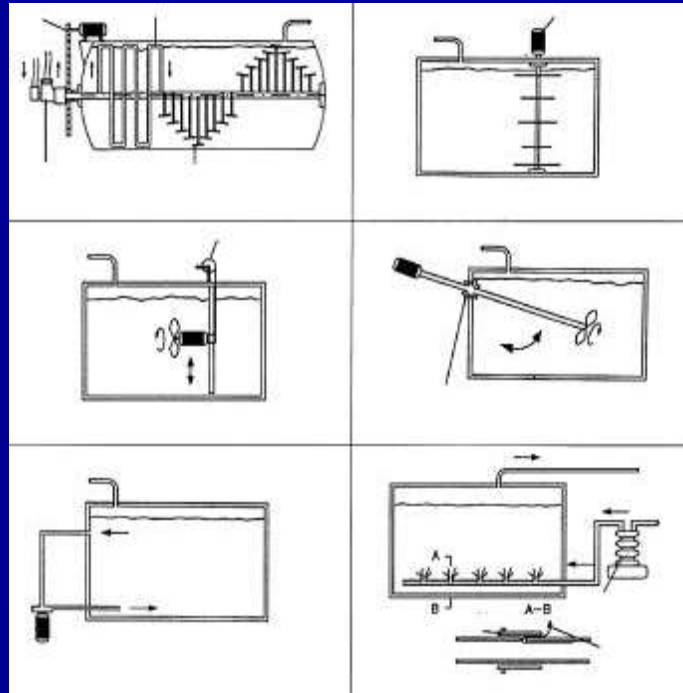
Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor son la proporción en que se agrega y su edad. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad, mayor será la eficacia.

# Agitación y mezclado

Los objetivos buscados con la agitación son:

- Remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas
- Mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana
- Evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor
- Uniformar la densidad bacteriana
- Evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica.

# Sistemas de agitación



A: Agitador de eje horizontal

C: Agitador de propela ajustable

E: Agitador hidráulico

B: Agitador de eje vertical

D: Agitador de propela con brazo giratorio

F: Inyección de gas

# Relación C/N

La relación entre la cantidad de carbono y nitrógeno presente en la materia orgánica se expresa como Carbono/Nitrógeno (C/N).

La relación óptima de C/N es entre 20 y 30.

Si esta relación C/N es muy alta, el Nitrógeno se va a consumir rápidamente por las bacterias metanogénicas para satisfacer sus necesidades proteicas y no reaccionará más con el contenido restante de Carbono. Como resultado, la producción de gas bajara.

Por otro lado, si la relación C/N es muy baja, el Nitrógeno será liberado y acumulado en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ). El amonio incrementa el PH del contenido del biodigestor. Un PH mayor a 8.5 empezará a mostrar un efecto tóxico en la población metanogénica.

# Relación C/N (2)

<b>Materiales crudos</b>	<b>Relación C/N</b>
Estiércol de pato	8
Estiércol humano	8
Estiércol de pollos	10
Estiércol de cabras	12
Estiércol de cerdos	18
Estiércol de ovejas	19
Estiércol de vacas	24
Agua jacinto	25
Estiércol de elefante	43
Paja de maíz	60
Paja de arroz	70
Paja de trigo	90
Aserrín	Superior 200



# Inhibidores

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso, interrumpir el proceso fermentativo.

INHIBIDORES	CONCENTRACION INHIBIDORA
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	5.000 ppm
Sal (NaCl)	40.000 ppm
Nitrato (No <sub>x</sub> )	0,05 mg/ml
Cobre (Cu)	100 mg/l
Cromo (Cr)	200 mg/l
Niquel (Ni)	200-500 mg/l
CN	25 mg/l
ABS (Detergente sintético)	20-40 mg/l
Sodio (Na)	3.500-5.500 mg/l
Potasio (K)	2.500-4.500 mg/l
Calcio (Ca)	2.500-4.500 mg/l
Magnesio (Mg)	1.000-1.500 mg/l

# Tipos de digestores

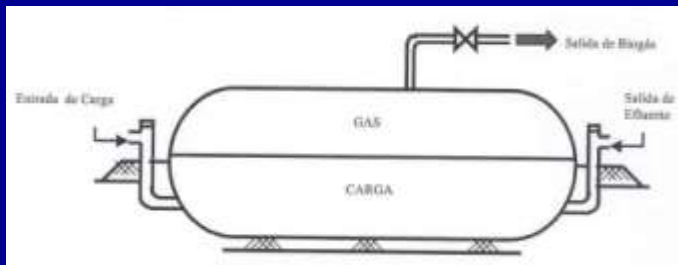
# Tipos de biodigestores

- Digestor de cubierta flotante
- Digestor de cubierta fija
- Digestor plástico
- Digestor de flujo continuo
- Digestor de filtro anaeróbico
- Laguna con cubierta
- Digestor de agitación completa
- Digestor de flujo discontinuo

# Tipos de digestores (2)

## Biodigestor de plástico:

- TRH 45 días
- Dilución: 1:4
- SIN sistema de agitación
- % de Sólidos Totales 0.5 a 3%



## Biodigestor flujo continuo: (Concreto)

- TRH 25 días
- Dilución: 1:2.5
- CON sistema de agitación
- % de Sólidos Totales 8 a 12%



# Tipo de digestores (3)

Digestor de filtro  
anaeróbico



Digestor de agitación completa  
% de Sólidos Totales 3 a 10%



# Diseño

# Diseño

Tipo de animales: para poder estimar la cantidad de estiércol producido es necesario saber el tipo de animales que hay en la finca.

Peso promedio de los animales: depende del tamaño del animal, así será la cantidad de estiércol que produce. A continuación se presenta una tabla con los pesos según la edad de los cerdos.

Horas de estabulación: tiempo efectivo de recolección de boñiga. En el caso del ganado en pastoreo serán las horas de ordeño.

Método de lavado (recolección de estiércol): Este dato es importante para conocer la cantidad de agua que será utilizada para elaborar la mezcla antes de que ingrese al biodigestor.

Porcentaje de sólidos totales del estiércol: Generalmente, el estiércol de vaca tiene un porcentaje de sólidos de 18% y la cerdaza un 22%.

# Diseño (2)

Estado		Peso Vivo (Kg.)	Producción estiércol animal/día (%)
Lechones	Lechones Lactantes	2	1,04
	Lechones en preinicio - cuna	9	1,04
	Lechones inicio	22	1,90
Cerdos	Cerdos en desarrollo	50	3,13
	Cerdos engorde	100	6,26
Cerdas	Cerdas vacías	180	4,00
	Cerdas gestantes	180	4,00
	Cerdas lactantes	180	4,00
	Reemplazo	180	4,00
Verracos	Verracos	200	4,44

En el caso del ganado vacuno se estima que se produce un 6.8% de su peso vivo de estiércol por día. O entre 1-1.3 Kg de estiércol/hora.



# Diseño (3)

## Volumen de agua necesaria para la mezcla

La mezcla que se introduce al biodigestor debe que tener un porcentaje de sólidos entre el 8 y 12%. Como la boñiga tiene un 18% de sólidos y la cerdaza un 22% es necesario agregar agua hasta lograr el porcentaje (%) ideal. La siguiente tabla muestra las proporciones de agua según el estiércol.

% de Sólidos ideal	Agua a agregar Cerdaza (22% ST)	Agua a agregar Boñiga (18% ST)
8	2.75	2.25
9	2.44	2.00
10	2.20	1.80
11	2.0	1.63
12	1.83	1.50

**NOTA:** Esto para biodigestores con sistema de agitación

# Diseño (3)

## Dimensión del biodigestor

Una vez estimadas las cantidades de estiércol y de agua, es necesario, para definir el tamaño del biodigestor, establecer el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH).

Tomando 25 días como TRH promedio para ganado y cerdos.

$$V \text{ digestor} = V \text{ mezcla diaria} \times \text{TRH}$$

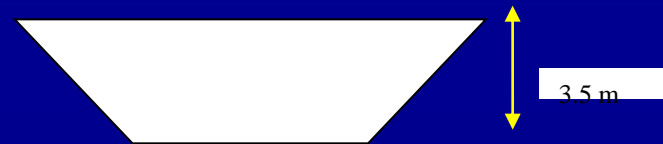
# Diseño (4)

## Digestor de concreto

Ancho máximo 3.5 m.  
Cubierta de PVC reforzada de  
1.2 mm

## Digestor laguna cubierta

Profundidad mínima 3.5 m.  
Cubierta de PVC reforzada de  
1.2 mm  
Membrana impermeabilizante  
(HDPE 40 de 1 mm)



Producción mínima de gas/día  $15 \text{ m}^3$  para generar electricidad  
Bomba pequeña 6.5 Hp (\$ 600.00) anchos Máximos 3.5 metros  
Bomba grande 10 Hp (\$ 4895.00) anchos mayores a 3.5 metros

# Costos biodigestores

## Digestor de concreto

- Limpieza
- Excavación
- Obra gris
- Mano de obra
- Cubierta
- Sistema de agitación (tuberías, válvulas, accesorios)
  
- \$ 60.00/m<sup>3</sup> (sin bomba)
- \$ 66.00/m<sup>3</sup> (con bomba 10 Hp)

## Digestor laguna cubierta

- Limpieza
- Excavación
- Terraplen
- Mano de obra
- Cubierta y membrana
- Sistema de agitación (tuberías, válvulas, accesorios)
  
- \$ 32.00/m<sup>3</sup> (sin bomba)
- \$ 37.00/m<sup>3</sup> (con bomba 10 Hp)

# Conducción del gas

- Válvulas: se instalan como mínimo 2 válvulas. La primera Inmediatamente después de la cubierta de gas y la segunda antes de donde va a ser utilizado el gas.
- Trampas de ácido sulfhídrico: se usa un recipiente relleno de alambrias o virutas de hierro. Debe ser totalmente hermético para evitar fugas de gas
- Trampas de llama: la trampa de ácido sulfhídrico actúa también como trampa de llama
- Trampas de agua. Se coloca una llave con una purga para evacuar el agua que se condensa en la tubería.

# Ejemplo

# Ejemplo de diseño

## Datos de la finca

- Cantidad de animales: 50
- Peso promedio: 450 kilos
- Horas de estabulación: 16 h/día
- Método de lavado: Escobón con agua
- Temperatura promedio de la zona: 19°C

# Ejemplo de diseño (2)

Cálculo estimación de estiércol por día:

$$1 \text{ animal} \times 450 \text{ kilos} \times 6.8\% = 30.6 \text{ kilos/día}$$

Para estimar la cantidad por hora:

$$30.6 \text{ kilos} / 24 \text{ horas} = 1.275 \text{ kilos/hora/animal}$$

Tenemos 50 animales por lo tanto se produce en total:

$$1.275 \times 50 \text{ animales} = 63.75 \text{ kilos/hora}$$

En esta finca están 16 horas estabulados:

$$63.75 \text{ kilos/hora} \times 16 \text{ horas} = 1020 \text{ kilos/día}$$



# Ejemplo de diseño (3)

Cálculo estimación de agua necesaria:

El ganado tiene un porcentaje de sólidos de 18% para llevarlo a un % ideal se tienen las siguientes opciones:

% de Sólidos ideal	Agua a agregar Cerdaza (22% ST)	Agua a agregar Boñiga (18% ST)
<b>8</b>	<b>2.75</b>	<b>2.25</b>
9	2.44	2.00
10	2.20	1.80
11	2.0	1.63
12	1.83	1.50

Tomando como % ideal el 8% debemos agregar 2.25 medidas de agua por cada medida de estiércol

# Ejemplo de diseño (4)

Cálculo de mezcla diaria:

Estiércol por día: 1020 kilos/día

Agua a agregar por día:  $1020 \times 2.25 = 2295$  kg/día

Total de mezcla por día:  $1020 + 2295 = 3315$  kilos/día

Para dimensionar el biodigestor es más sencillo tener esta información en  $m^3$

La densidad del estiércol es  $993 \text{ kg}/m^3$  y la del agua  $1000 \text{ kg}/m^3$

Por lo tanto tendríamos:

$1020 \text{ kg} / 993 \text{ kg}/m^3 = 1.02 \text{ m}^3/\text{día}$  (Estiércol)

$3315 \text{ kg} / 1000 \text{ kg}/m^3 = 3.32 \text{ m}^3/\text{día}$  (Agua)

Mezcla Total =  $1.02 + 3.32 = 4.34 \text{ m}^3/\text{día}$

# Ejemplo de diseño (5)

Estimación del tamaño de digestor:

Mezcla diaria =  $4.34 \text{ m}^3$

Tiempo de Retención hidráulico = 25 días

Volumen de digestor =  $4.34 \text{ m}^3 \times 25 \text{ días} = 108.5 \text{ m}^3$

Para sistema de agitación con bomba pequeña el ancho MÁXIMO es de 3.5 m

Ancho: 3.5      Largo = ?      Profundidad = 1.7 metros

Volumen =  $3.5 \times 1.7 \times ? = 5.95 \times ? = 108.5 \text{ m}^3$

Largo (?) =  $108.5 / 5.95 = 18.23 \text{ metros}$

Podría ser Largo = 18.5    Ancho = 3.5    Profundidad = 1.7

Volumen TOTAL =  $110 \text{ m}^3$

# Ejemplo de diseño (6)

La pila de mezcla y de efluente deben tener la capacidad de almacenar la cantidad de mezcla producida diariamente.

En este caso tenemos:  $4.34 \text{ m}^3$

La fosa podría ser de:

Largo: 1.7m    Ancho: 1.7m    Profundidad: 1.6m    Volumen =  $4.6 \text{ m}^3$

La fosa para el efluente puede ser más grande para que permita almacenar el abono por varios días. En ese caso se le pregunta al productor cuántos días quiere almacenar y se multiplica la cantidad de mezcla diaria por el número de días a almacenar.

Por ejemplo el propietario quiere almacenar por 5 días:

$4.34 \text{ m}^3 * 5 \text{ días} = 21.7 \text{ m}^3$  debe tener de capacidad

# Ejemplo de diseño (7)

Cálculo preliminar de costo del proyecto

Volumen digestor:  $108.5 \text{ m}^3$

Volumen pila de mezcla:  $4.34 \text{ m}^3$

Volumen pila efluente:  $4.34 \text{ m}^3$

Volumen total :  $117.18 \text{ m}^3$

En concreto:  $117.18 * \$60 /\text{m}^3 = \$7030.00 = \text{¢}3\ 515\ 400.00$

Costo de la bomba =  $\$600.00$

# Ejemplo de diseño (8)

Para el caso de la laguna con cubierta:

Volumen de digester requerido: 108.5 m<sup>3</sup>

Profundidad mínima requerida: 3.5 metros



$$V = h/3 * (A_1 + A_2 + \text{RAÍZ}(A_1 * A_2))$$

$$L_1 = 10 \quad \text{Ancho}_1 = 8 \quad h = 3.5 \text{ metros}$$

$$L_2 = 3 \quad \text{Ancho}_2 = 1$$

$$A_1 = 10 * 8 = 80 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 3 * 1 = 3 \text{ m}^2$$

$$V = 114.9 \text{ m}^3$$

En laguna:  $114.9 * \$32/\text{m}^3 = \$3676.00 = \text{¢}1\ 838\ 400$

Sin incluir pila de mezcla y efluente (8.68 m<sup>3</sup>)

Muchas  
Gracias



Electricidad