



Final

**Metano para los Mercados
Directrices Internacionales para Cuantificar y Reportar el
Desempeño de los Sistemas de Digestión Anaeróbica para
Estiércol de Ganado**

Prepared for:



U.S. EPA

Methane to Markets Program
U.S. Environmental Protection Agency
Ariel Rios Building
1200 Pennsylvania Ave. NW (6202J)
Washington, DC 20460

Prepared by:

John H. Martin, Jr. Ph.D.
Hall Associates
Georgetown, DE 19947

And

Eastern Research Group, Inc.
14555 Avion Parkway, Suite 200
Chantilly, Virginia 20151

Translation Spanish version



Mariano Buti & Jorge Hilbert
c.c. 25 1712 Castelar Argentina

13 Noviembre de 2009

PREFACIO

Esta guía fue desarrollada por los EE.UU. Agencia de Protección Ambiental, a petición de la Subcomisión de Agricultura del Metano para los Mercados (M2M) Asociación. La Asociación M2M es una iniciativa para reducir las emisiones globales de metano, incrementar el crecimiento económico, promover la seguridad energética, mejorar el medio ambiente, y reducir los gases de efecto invernadero. La iniciativa se centra en la relación costo-beneficio, la recuperación de metano en el corto plazo y el uso como fuente de energía limpia. La asociación trabaja a nivel internacional mediante la colaboración entre los países desarrollados, los países en desarrollo y países con economías en transición, junto con una fuerte participación del sector privado. Una guía independiente para cuantificar y reportar del desempeño de los sistemas de digestión anaeróbica para los residuos agroindustriales puede ser desarrollada en el futuro.

TABLA DE CONTENIDOS

1.0	Introducción	1
2.0	Pre requisitos para las evaluaciones de desempeño	4
3.0	Información básica requerida	5
4.0	Estimación de las reducciones de las emisiones de metano	9
4.1	Reducciones relacionadas con el estiércol	10
4.2	Reducciones relacionadas con la co-digestión	11
4.3	Fuga y emisiones relacionadas con la combustión	12
4.4	Emisiones relacionadas con el uso de combustibles fósiles	14
5.0	La producción del biogás y su utilización	15
5.1	Producción del biogás	15
5.2	Composición del biogás	15
5.3	Utilización del biogás	16
5.4	Recolección de datos	18
5.5	Presentación de informes	18
6.0	Análisis económico	18
6.1	Planteamiento general	19
6.2	Condiciones de límite	20
6.3	Metodología	21
6.3.1	Costo de capital anual	21
6.3.2	Costo de mantenimiento y Operación anual	23
6.3.3	Otros costos anuales	23
6.3.4	Ingresos anuales	24
6.3.5	ingresos netos	25
7.0	Caracterización del funcionamiento del proceso	25
7.1	Parámetros de estabilización de residuos	25
7.2	Reducción de patógenos	27
7.3	Toma de muestras	28
7.4	Preservación de las muestras	29
7.5	Métodos de análisis	29
7.6	Tiempo de retención hidráulica y temperatura	30
7.7	Informe	31
8.0	Formato del informe	31
	Referencias	32
	Apendice A	A-1
	Apendice B	B-1

1.0 INTRODUCCION

La Asociación Metano para los Mercados (M2M) se esfuerza por reducir las emisiones globales de metano. El metano es el responsable del 16 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de actividades humanas (M2M, 2008). Debido a que el metano es un gas de efecto invernadero potente y de corta duración en comparación con el dióxido de carbono, lograr una reducción significativa tendría un impacto significativo en el calentamiento atmosférico, especialmente en el corto plazo.

La Subcomisión de Agricultura M2M se centra en la reducción de las emisiones de metano de la agricultura. A nivel mundial, el manejo del estiércol de ganado contribuye con más de 230 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono de las emisiones del metano, aproximadamente el 4 por ciento del total de las emisiones de metano antropogénico. Para reducir las emisiones de metano procedentes del sector agrícola, la Subcomisión de Agricultura M2M promueve la digestión anaeróbica de estiércol y residuos agroindustriales.

La digestión anaeróbica es la estabilización de los residuos tales como estiércol de ganado, por medio de la reducción microbiana de carbono en compuestos orgánicos complejos, a metano y dióxido de carbono en condiciones controladas, con la captura y combustión del metano producido. Se trata de la captura y combustión del metano producido junto con la capacidad para maximizar el grado de estabilización de residuos, que diferencia a la digestión anaerobia de la descomposición anaeróbica que se produce naturalmente en las lagunas y otras estructuras de almacenamiento de estiércol de ganado y que puede proporcionar sólo una estabilización parcial.

Como una unidad de proceso en el manejo del estiércol del ganado, la digestión anaeróbica puede proporcionar los siguientes beneficios:

1. Reducción de las emisiones de metano a la atmósfera-el metano es un gas de efecto invernadero con una capacidad de, aproximadamente 21 veces a la capacidad de calentamiento global de dióxido de carbono.

2. Reducción de las emisiones de olores nocivos-olores nocivos asociados con el estiércol del ganado como resultado de la acumulación de productos de una descomposición anaeróbica incompleta.
3. Reducción del potencial de contaminación del agua- el oxígeno demandado por los compuestos orgánicos es removido por la reducción de metano y dióxido de carbono y la densidad de microorganismos patógenos entéricos son reducidos sin o con insignificante aporte de energía.
4. Producción de energía renovable-la mezcla de metano y de dióxido de carbono capturada, conocida como biogás, puede ser utilizada como combustible para producir energía mecánica para fines tales como la generación de electricidad y para la cocina, iluminación, agua y calefacción.
5. Ingresos para compensar los costos- los ingresos se pueden materializar a través de la venta de bonos de carbono y el uso de biogás para generar electricidad, en lugar de un combustible fósil, para al menos compensar los costos o, idealmente, proporcionar un aumento en los ingresos netos.

El interés en la digestión anaerobia como una opción de manejo del estiércol del ganado se ha expandido rápidamente en los últimos años, así como la preocupación sobre las emisiones de metano y otros impactos ambientales de estos residuos que ha aumentado, junto con el reconocimiento de la posibilidad de capturar y utilizar una fuente de energía renovable. Como el interés fue creciendo, una serie de sistemas de diseño evolucionaron y fue seguido por la construcción de sistemas de gran escala. Como diferentes diseños fueron desarrollados, muchos fueron acompañados por los reclamos de superioridad de proceso. Generalmente, los datos en apoyo de estos reclamos han sido mínimos, y no fueron tomados a través de una metodología estandarizada. Así, la capacidad para comparar diferentes diseños de sistema con respecto a la producción de biogás, la estabilización de los residuos y la rentabilidad sobre una base uniforme, han estado ausentes. Para solucionar esta situación, la Subcomisión de Agricultura M2M determinó que una guía internacional para evaluar y reportar el desempeño de los sistemas de digestión anaeróbica de estiércol debía desarrollarse, y la Agencia de Protección Ambiental (EPA de EE.UU.) brindó el apoyo para su desarrollo.

La EPA de los EE.UU. busco guías existentes o protocolos de una variedad de países. Los documentos que fueron identificados y examinados se centraron en la estimación de la reducción de gases de efecto invernadero procedentes de la digestión anaeróbica o cuestiones de seguridad. Ninguno, con la excepción de un protocolo desarrollado en los EE.UU. (Martin, 2007) proporcionó orientación para la caracterización del funcionamiento de los procesos, la eficacia de la utilización del biogás, o el análisis financiero. Estas características son importantes a considerar en una guía internacional para identificar los sistemas, que sean técnicamente adecuados y rentables. Por lo tanto, el protocolo de EE.UU. fue utilizado como modelo para esta orientación internacional.

El protocolo de EE.UU se ha desarrollado con el apoyo de la Asociación de Estado de Energía Instituciones de Investigación y Transferencia de Tecnología (ASERTTI), el Programa AgSTAR la EPA de los EE.UU, y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos Programa de Desarrollo Rural. El protocolo:

- Establece prerequisites para las evaluaciones de desempeño;
- Presenta la información de antecedentes requeridos;
- Especifica métodos aceptables para la recopilación de datos para caracterizar el desempeño con respecto a la producción y utilización del biogás y la estabilización de los residuos;
- Detalles de la orientación que se deben utilizar para realizar un análisis económico.

Todos los elementos mencionados anteriormente son requeridos por el Protocolo de EE.UU. y aunque es más conveniente realizar una evaluación de desempeño integral, evaluaciones que incluyen todos los elementos enumerados anteriormente no siempre son posibles debido a los recursos u otras limitaciones. Por lo tanto, para manejar distintos niveles de recursos, esta guía internacional ofrece cuatro niveles diferentes de evaluación descriptos a continuación:

- **Nivel I:** Recopilación de información de fondo, estimación de la reducción de las emisiones de metano, y medición de la producción de biogás y su composición.

- **Nivel II:** Nivel I, más la medición de la utilización del biogás para generar electricidad o sustituir los combustibles fósiles por combustión directa o motor-generador de recuperación de calor residual o alguna combinación de éstos.
- **Nivel III:** Nivel II, junto a el análisis económico.
- **Nivel IV:** Nivel III junto con la cuantificación del grado de estabilización de residuos.

La adhesión a estas directrices internacionales proporcionara objetivas e imparciales evaluaciones del desempeño individual del sistema y brindará a los vendedores la capacidad de demostrar la validez de sus argumentos de rendimiento y funcionamiento. Además, permitirá la comparación del desempeño de los diferentes diseños sobre una base en común. También proporcionará un estándar para la aceptación de los informes de evaluación. De crearse en el futuro un sistema de acreditación central la información estandarizada servirá de base al programa de certificación. Dicha información debe ser útil para:

1. Permitir a los productores de ganado considerar la construcción de sistemas de digestión anaeróbica sobre la base de información técnica confiable y comparable;
2. Proporcionar consultores la capacidad para comparar diferentes tecnologías para desarrollar el mejor sistema posible, o para mejorar su tecnología existente para cumplir con los estándares de los demás;
3. Proporcionar a responsables políticos con un información para la implementación de incentivos y/o programas ligados a la conversión de residuos en energía o de saneamiento.
4. Suministrar a la comunidad financiera la información para cuantificar los beneficios de los proyectos de la digestión anaeróbica

La certificación de las metodologías de diseño específico para la digestión anaeróbica de estiércol por organismos gubernamentales o las organizaciones no gubernamentales, debe basarse en la revisión por pares de al menos dos, y preferiblemente tres o más, informes de evaluación de desempeño. Debe haber al menos tres revisiones por pares de cada informe de los individuos con la pericia necesaria, en virtud de una combinación de formación y experiencia. Sólo los informes de evaluación del desempeño que se consideren completos y técnicamente

correctos deben ser aceptados como base para la certificación. Todos los exámenes por pares deberán mantenerse en los archivos permanentes de la agencia de certificación y estar disponible para inspección pública con los nombres de los revisores eliminados. La base para la certificación, Nivel I, II, III o IV, debe ser indicada y descripta brevemente.

2.0 PRERREQUISITOS PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

Es fundamental que las evaluaciones de desempeño en esta guía sólo se realicen para sistemas completos que atienden a las operaciones de ganadería comercial. La evaluación debe ser de al menos 12 meses de duración para capturar cualquier impacto de la variación estacional de la temperatura ambiente. Además, las evaluaciones deben tener lugar luego que la fase inicial de la operación se halla completado y el digestor este operando bajo condiciones de estado estacionario, tal como se define a continuación (de Martin 2007).

1. **Digestores flujo pistón y mezcla:** La operación continúa por un período igual a la suma de al menos cinco tiempos de retención hidráulicos (HRTS) después de completar la fase de inicio.
2. **Lagunas cubiertas:** Operación continua durante al menos un año después del inicio.
3. **Los digestores de film adherido:** Operación continua durante al menos tres meses luego del inicio con los tres meses de operación que tienen lugar durante los tres meses más cálidos del año para los digestores sin calefacción.

3.0 ANTECEDENTES REQUERIDOS

La importancia del armado y presentación de información de antecedentes adecuados no puede ser dejada de lado. Esta información es fundamental para la evaluación de los resultados reportados en el contexto adecuado. A continuación hay unas listas de información sobre la operación ganadera (Cuadro 1) y el sistema de digestión anaerobia (Cuadro 2) que debe ser montado, y esta información debe incluirse en todos los informes de evaluación del desempeño. Si el desempeño de un sistema centralizado esta siendo evaluando, la información especificada en el cuadro 1 deberá ser proporcionada para cada operación ganadera en servicio.

Cuadro 1. Información General.

<p>1. Nombre del establecimiento, granja o explotación:</p>
<p>2. Dirección postal y otros datos de contacto</p>
<p>3. Tipo de operación (por <i>ejemplo</i>, vacas lecheras, porcinos, gallinas, <i>etc.</i>)</p>
<p>4. Vacas lecheras,</p> <ul style="list-style-type: none"> a. La raza (por <i>ejemplo</i>, Holstein, Guernsey, <i>etc.</i>), b. Promedio del número de vacas en lactancia c. Promedio del número de vacas secas d. Promedio del número de vaquillonas (hembras de más de seis meses de edad) e. Promedio del número de terneros (hembras de menos de seis meses de edad) f. Respectivas fracciones del estiércol de las vacas en lactancia, las vacas secas, y reemplazos recolectadas para la digestión g. Métodos de recolección de estiércol (por <i>ejemplo</i>, raspar, lavar, <i>etc.</i>) y la frecuencia de recolección de estiércol
<p>5. Porcinos,</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Tipo de establecimiento (por <i>ejemplo</i>, terminación, engorde, ciclo completo, <i>etc.</i>), b. Número medio de las cerdas y cerdas jóvenes preñadas, las camadas por cerda y año, y los cerdos destetados por camada, si corresponde c. Promedio del número de cerdos en gestación y el número de ciclos de la etapa de cría al año d. Promedio del número de cerdos en engorde y el número de ciclo completo por año e. Respectivas fracciones del estiércol de las cerdas y cerdas jóvenes preñadas, cerdos cría, y cerdos en engorde recogidos para la digestión f. Métodos de recolección de estiércol (por <i>ejemplo</i>, raspar, lavar, <i>etc.</i>) y la frecuencia de recolección de estiércol
<p>6. Carne Vacuna,</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Promedio del número de ganado de engorde y el número de ciclos completos por año b. Fracción de estiércol recolectado para la digestión c. Métodos de limpieza y recolección del estiércol (por <i>ejemplo</i>, raspado, lavado, foso, <i>etc.</i>) y la frecuencia de recolección de estiércol
<p>7. Gallinas ponedoras</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Número promedio de gallinas b. Métodos de recolección de estiércol (por <i>ejemplo</i>, raspado, lavado, foso, <i>etc.</i>) y la frecuencia de recolección de estiércol
<p>8. Otros Animales,</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Tipo b. Promedio de animales c. Fracción de recolección de estiércol para la digestión d. Métodos de recolección de estiércol (por <i>ejemplo</i>, raspado, lavado, foso, <i>etc.</i>) y la frecuencia de recolección de estiércol

Cuadro 2. Información del Sistema de Digestión Anaeróbica

<u>Producción de Biogas</u>	
1.	Tipo de digestor (<i>ejemplo.</i> , flujo-pistón, mezcla, film adherido, o lagunas cubiertas)
2.	Nombre del proveedor del sistema, dirección postal y otra información de contacto
3.	Supuestos del diseño del Digestor <ol style="list-style-type: none"> a. Volumen promedio de estiércol, m³/día (ft³/día) b. Volumen promedio de aguas residuales, m³/día (ft³/día) (<i>ejemplo.</i>, ninguno, centro de ordeño de las aguas residuales, instalaciones de agua de confinamiento de lavado, <i>etc.</i>) c. Volumen de otros residuos, m³/día (ft³/día) (por <i>ejemplo.</i>, ninguno, de tratamiento de residuos de alimentos, <i>etc.</i>) con las características físicas y químicas (por <i>ejemplo.</i>, las concentraciones de sólidos totales, sólidos totales volátiles, demanda química de oxígeno, <i>etc.</i>) d. Pretratamiento antes de la digestión (<i>por ejemplo.</i>, ninguno, sedimentación por gravedad, filtrado, <i>etc.</i>) e. Tasa volumetrica de carga, m³ por 1,000 m³ por día (m³ por 1,000 m³ por día) f. Velocidad de carga orgánica, en Kg. de sólidos volátiles totales por cada 1.000 m³ por día (Kg. por 1,000 m³ por día) g. Tiempo de retención hidráulica, días h. Temperatura de operación, °C i. Promedio mensual de temperatura ambiente j. Tasa de producción de biogás, m³ por kg de sólidos volátiles totales añadidos (m³ por kg.) k. Presencia o ausencia de monensina o cualquier otro promotores antibacterianos del crecimiento l. Contenido de metano esperado, porcentaje m. Cumplimiento (Sí o No) con una norma establecida de diseño de ingeniería (por <i>ejemplo.</i>, Departamento de Agricultura de EE.UU. aplicables Conservación de Recursos Naturales
4.	Descripción física <ol style="list-style-type: none"> a. Descripción General, incluyendo los tipos de materiales de construcción (por <i>ejemplo.</i>, parcialmente por debajo del nivel de la calle, conexión de canal, de concreto, de flujo con una cubierta flexible b. Dimensiones (largo, ancho, y profundidad o el diámetro y la profundidad o la altura) c. Tipo (s), ubicación (s), y el espesor (s) de aislamiento si es empleado d. Volumen de operación y capacidad de almacenamiento externa de gas si está disponible e. Tratamiento de efluentes del digestor (por <i>ejemplo.</i>, ninguna, la separación de sólidos, la precipitación de fósforo, <i>etc.</i>), f. Método de almacenamiento de efluentes de la digestión (por <i>ejemplo.</i>, ninguno, estanque de tierra, <i>etc.</i>),
5.	Resúmenes mensuales de los detalles de funcionamiento durante el periodo de evaluación <ol style="list-style-type: none"> a. Números y tipos de animales b. El volumen de otros residuos y las características físicas y químicas c. Frecuencia de alimentación adicionada (por <i>ejemplo.</i>, cada hora, dos veces al día, una vez al día, <i>etc.</i>) d. Temperatura media diaria del digestor y rango mensual e. Uso de la monensina o cualquier otro promotores antibacterianos del crecimiento f. Cualquier desviación de los supuestos de diseño del digestor (por <i>ejemplo.</i>, el cambio en el volumen de estiércol, la adición o supresión de un flujo de residuos adicionales, <i>etc.</i>)

Cuadro 2 (continuación). Información del Sistema de Digestión Anaeróbica

Utilización del Biogás

1. La utilización del biogás (por *ejemplo*, ninguna, la generación de electricidad, el uso en el lugar para la cocina, la iluminación o como combustible para una caldera u horno, o la venta a un tercero)
2. Si se emplea en la generación de electricidad
 - a. Tipo de motor-generador (por *ejemplo*, motor de combustión interna, micro turbinas, o de celda de combustible con el nombre del fabricante, modelo y número de producción de energía (MJ o Kw.) para el biogás y la tensión nominal
 - b. Integración de componentes (vendedor o propietario)
 - c. Origen de controlador de equipos (fabricante integrado, de terceros fuera de la plataforma, o la costumbre de terceros)
 - d. Sistema de instalación con la dirección postal y otra información de contacto
 - e. Capacidad única (sí o no)
 - f. Pretratamiento de biogás (por *ejemplo*, ninguna, trampa de condensados, secador, eliminación de sulfuro de hidrógeno, *etc.* con los nombres de fabricantes y modelos)
 - g. La regulación de las emisiones de gases de escape (sí o no). En caso afirmativo, tipo de control (por *ejemplo*, ninguno, un convertidor catalítico, *etc.*)
 - h. Cuando se hallan interconectados a un usuario eléctrico,
 - i. Nombre de la utilidad
 - II. Tipo de contrato (por *ejemplo*, vender todos / comprar todo, vender los excedentes, o la medición neta)
 - III. Si el motor-generador utiliza el calor residual,
 - IV. Fuente de calor (por *ejemplo*, el sistema de refrigeración o los gases de escape o de ambos) y la capacidad de recuperación de calor (kJ / hr o Btu / hr)
 - v. La utilización de calor residual (por *ejemplo*, la calefacción del digestor, calefacción de agua potable, calefacción, *etc.*)
3. Si se emplea el biogás en el lugar en una caldera o como combustible de un horno, la descripción de la caldera o el horno como fabricante, modelo, tipo y capacidad para el biogás (kJ / hr o Btu / hr)
4. Si el biogás se vende a terceros, la descripción del método de elaboración, entrega y uso final

Información de Costos

1. Costo del sistema construido sin incluir superficie de terreno empleada
2. Base de cálculo del costo (por *ejemplo*, "llave en mano por un desarrollador, propietario actuó como contratista general, construido con mano de obra agrícola, *etc.*)
3. Una lista detallada de los costes de los componentes (por *ejemplo*, un digestor, el sistema de utilización del biogás, *etc.*)

4.0 ESTIMACION DE LAS REDUCCIONES DE LAS EMISIONES DE METANO

Cada evaluación de rendimiento deberá incluir una estimación de las reducciones brutas y netas en las emisiones de metano derivadas de la utilización de la digestión anaeróbica para la producción, captura y combustión de biogás. Las reducciones brutas son las reducciones totales, sin tener en cuenta ninguna de las pérdidas. Las reducciones netas son las reducciones totales menos las pérdidas debido a las fugas, la eficiencia de combustión, *etc.*

Las estimaciones de reducciones de las emisiones brutas de metano no deben estar basadas en la masa de metano producido por el digestor. Por el contrario, deben basarse en la estimación de las emisiones de las prácticas convencionales de manejo de estiércol en el lugar antes de que la digestión anaeróbica sea añadida al sistema de manejo de estiércol. Por ejemplo, la reducción bruta realizada por el reemplazo de una laguna anaerobia convencional por una laguna cubierta debe ser la estimación de emisiones de metano procedentes de la laguna convencional sustituida. Si la digestión anaeróbica se añade a un sistema de manejo de estiércol, la estimación de reducción bruta debe basarse en la práctica que sigue. Por ejemplo, la reducción bruta realizada por la adición de un digestor de flujo-pistón antes que un tanque de almacenamiento de estiércol o estanque, debe ser la estimación de emisiones de metano de los tanques de almacenamiento o estanque antes de añadir el digestor. Para nuevas operaciones, un sistema de manejo de estiércol sin digestión anaerobia, que es típica en un establecimiento ganadero en la región, debe adoptarse a menos que una excepción pueda estar justificada. Cuando la co-digestión con otros residuos se este practicando, las emisiones de metano evitadas asociados con el resto de residuos puede ser incluida en la estimación de la reducción bruta.

La estimación de la reducción bruta de las emisiones de metano se debe ajustar para tener en cuenta las fugas del sistema, la eficiencia de la combustión y el sistema relacionado con el uso de combustibles fósiles, según se indica en la ecuación (1), para calcular la reducción neta:

$$EF_P = \left(\sum_{i=1}^n EF_M + \sum_{i=1}^n EF_W \right) - (LK_P + CE_P + FF_P) \quad (1)$$

Donde: EF_P Proyección anual de la reducción de emisiones netas de metano, kg CH_4 por año
 EF_M = Emisiones de metano anuales brutas del estiércol, en kg de CH_4 por año

- EF_W = Emisiones de metano anuales brutas procedentes de la co-digestión de residuos, en kg de CH₄ por año
 LK_P = Fugas de metano, kg CH₄ por año
 CE_P = Emisiones relacionadas a la combustión, kg CH₄ por año
 FF_P = Emisiones de dióxido de carbono relacionada a combustibles fósiles en base equivalente de metano, CH₄ kg por año

Las proyecciones netas de reducción de emisiones de metano se pueden convertir a un equivalente de dióxido de carbono mediante la multiplicación por 21, que es el Potencial de Calentamiento Global (GWP) del metano. El potencial de calentamiento atmosférico PCA de metano representa la capacidad del metano de atrapar el calor en la atmósfera en comparación con el dióxido de carbono. Los equivalentes de dióxido de carbono estimados representan los créditos de carbono que si el proyecto reúne los requisitos necesarios puede cobrarlos o comercializarlos.

4.1 Reducciones, Relacionadas con el Estiércol

Como mínimo, el Panel Intergubernamental de 2006 sobre el Cambio Climático (IPPC) Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2006) Nivel 2 método para estimar las emisiones de metano, se debe seguir para la estimación de las reducciones brutas en las emisiones de metano del estiércol. Si es posible, el método de nivel 3 debe ser utilizado. Se basa en modelos específicos de países o la utilización de enfoques basados en la medición para cuantificar las emisiones de metano.

Utilizando el método de nivel 2, las emisiones de metano para cada categoría de animales (T) y teniendo en cuenta el sistema de manejo de estiércol (S) y la combinación del clima (k) se calcula mediante la ecuación (2):

$$EF_M = \sum_{T,S} \left[(VS_T \times H_T \times 365) \times \left(B_{0,T} \times 0.67 \text{ kg/m}^3 \times \frac{MCF_{S,k}}{100} \right) \right] \quad (2)$$

- Donde: EF_M = Emisiones anuales de metano del estiércol, sumadas por T categoría de animales y priorizando el sistema de manejo de estiércol (S), en kg de CH₄ por año
 VS_T = Tasa diaria de excreción de sólidos volátiles según categoría de animales, en kg por animal VS día
 H_T = Número medio diario de animales en T categoría de animales
 365 = Base para el cálculo anual de la producción de sólidos volátiles, días por año

- $B_{0,T}$ = Capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por T categoría de animales, $m^3 CH_4$ por kg de sólidos volátiles excretados
 0.67 = Factor de conversión de CH_4 kg por $m^3 CH_4$
 $MCF_{S,k}$ = Factor de conversión de metano para el sistema de manejo de estiércol S para k climático, porcentaje

La mejor forma de estimar la tasa de excreción promedio diaria de sólidos volátiles es midiendo la concentración de sólidos volátiles del efluente del digestor y el caudal. Otra opción es utilizar datos publicados específicos de cada país. Por último, se puede usar la siguiente relación:

$$VS_T = \left[GE \times \left(1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE \times GE) \right] \times \left[\frac{1 - Ash}{18.45} \right] \quad (3)$$

- Donde: VS_T = Tasa de excreción volátil para el tipo T de animales en base a materia seca, kg VS / día
 GE = Consumo bruto de energía, MJ / día
 DE% = Base para el cálculo anual de producción de sólidos volátiles, días por año
 (UE x GE) = Energía urinaria expresada como una fracción de GE. Normalmente 0.04GE puede considerarse la excreción urinaria por la mayoría de los rumiantes (reducir a 0,02 para los rumiantes alimentados con 85% o más de grano y para los cerdos). Los valores específicos de cada país cuando estén disponibles.
 Ash = La ceniza (sólidos fijos) el contenido de estiércol calculado como una fracción del consumo de materia seca de alimentación (por *ejemplo*, 0,08 para el ganado). Los valores de uso específicas de país cuando esté disponible.
 18.45 = Factor de conversión de la dieta de GE por kg de materia seca (MJ / kg). Este valor es relativamente constante a través de una amplia gama de forrajes y granos a base de cereales consumidos por el ganado.

Véase la sección 10.2, la ecuación 10.16 de las Directrices de 2006 del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2006) para estimar el consumo de energía bruta (GE) y la digestibilidad. La capacidad máxima de producción de metano (B_0) de estiércol varía según la especie y la dieta. Si está disponible, los datos específicos de cada país se deben utilizar. O Por otro lado, véanse los cuadros 10A-4 a través de 10A-9 de las Directrices de 2006 del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero para los valores por defecto.

4.2 Reducciones, Relacionadas con la Co-digestión

Cuando otro residuo este siendo co-digerido con estiércol, habrá una reducción adicional de las emisiones de metano si ese residuo previamente fuese una fuente de emisiones de metano. Por ejemplo, habrá una reducción de las emisiones de metano si el residuo que esta siendo co-digerido con estiércol fue previamente tratado o pretratado en una laguna anaeróbica convencional. Por el contrario, no habrá reducción si el residuo fue previamente tratado usando un proceso aeróbico, como de lodos activados. La Ecuación 4 se debe utilizar para estimar la reducción de las emisiones de metano para cada residuo que se co-digiera con estiércol.

$$EF_w = (VS_w \times 365) \times \left(B_{0,w} \times 0.67 \text{ kg/m}^3 \times \frac{MCF_{S,k}}{100} \right) \quad (4)$$

Donde: EF_w = Emisiones anuales de metano de los residuos W, kg CH_4 por año
 VS_w = Masa de residuos sólidos volátiles W del afluente del digestor, kg de materia seca por día
 $B_{0,w}$ = Capacidad máxima de producción de metano de los residuos W, $m^3 CH_4$ por kg de sólidos volátiles del afluente
 $MCF_{S,k}$ = Factor de conversión de metano para el sistema de manejo de residuos S para k climático, porcentaje

Si el valor publicado concreto y verificable de un país para la capacidad máxima de producción de metano(B_0) de los residuos no está disponible, este valor debe ser determinado experimentalmente mediante replicas a largo plazo, estudios batch a escala deben llevarse a cabo a la temperatura de funcionamiento del digestor que esta siendo evaluado para estimar la fracción fácilmente biodegradable y resistente de los sólidos volátiles totales .Estos estudios deben llevarse a cabo por no menos de 30 días y con la fracción resistente en el infinito (TVS_∞/TVS_0) determinada por el trazado TVS_t/TVS_0 frente ($1/TVS_0 * t$), donde t es igual a cero al comienzo del estudio .La intersección del eje y debe determinarse mediante análisis de regresión lineal. El valor apropiado MCF por defecto del IPCC (véase el IPCC de 2006, Volumen 5) para el método de manejo de residuos sustituido debe ser usado.

4.3 Fugas y Emisiones Relacionadas con la Combustión

Hay muy poca información sobre las fugas de metano de los sistemas de digestión anaerobia, aunque algunas de las fugas se producen probablemente de la mayoría de los sistemas y deben ser incorporadas en las estimaciones de reducciones de las emisiones netas de metano realizadas desde los sistemas de digestión anaeróbica. El IPCC (2006) no proporciona orientación con un valor por defecto MCF de 0-100 por ciento. Así, esta guía recomienda el uso del Registro de Acción Climática de California (CCAR) (2008) recomendando un valor por defecto de eficiencia del 85 por ciento a menos que un valor mayor o menor pueda ser justificado por la documentación de apoyo.

$$LK_P = \left(\frac{CH_{4M} - CH_{4M}}{0.85} \right) \times 0.67 \text{ kg/m}^3 \quad (5)$$

Donde: LK_P = Fugas de metano, kg CH_4 por año
 CH_{4M} = Medición de la producción de metano, $m^3 CH_4$ por año
 0.85 = Eficiencia de captura de metano por defecto, decimal

Debido a que no hay proceso de combustión 100 por ciento eficiente y todo el metano capturado debe ser dispuesto por la combustión, las emisiones de metano relacionadas con la combustión también deben tenerse en cuenta en la estimación de la red de proyectos de reducción de emisiones de metano. Para quemadores abiertos y cerrados, las emisiones de metano deberían basarse en el volumen medido de metano que se quema y se calcula como sigue:

$$CE_P = [CH_{4,comb} \times (1 - C_{eff})] \times 0.67 \text{ kg/m}^3 \quad (6)$$

Donde: CE_P = Emisiones relacionadas a la combustión, kg CH_4 por año
 $CH_{4,comb}$ = Medición de la combustión de metano, $m^3 CH_4$ por año
 C_{eff} = Eficiencia de combustión, decimal

A menos que valores más altos de eficiencia de combustión puedan ser justificados por la documentación de apoyo, (la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC) sobre el Cambio Climático Mecanismo de Desarrollo Limpio), los valores por defecto que figuran en el cuadro 3 deberán ser utilizados.

Cuadro 3. Valores por Defecto para la Eficiencia de Combustión de la Llama de Metano

Proceso de combustión	Valor predeterminado, decimal
-----------------------	-------------------------------

		C _{eff}
Quemador abierto	operación continua	0,50
	operación no continua	0
Quemador cerrado	La monitorización continua del cumplimiento de las especificaciones del fabricante * o supervisión continua de la destrucción de metano	0,90

* En cualquier hora, cuando no se cumple con las especificaciones del fabricante, un 0,50 del valor por defecto debería ser utilizado para esa hora.

Las emisiones de metano relacionadas con la combustión en los motores de combustión interna, calderas y hornos también deben basarse en la cantidad medida de metano quemado y se calcula utilizando la ecuación 6 a menos que, (UNFCCC Mecanismo de Desarrollo Limpio (2008)) valores por defecto que figuran en el cuadro 4 sean utilizados.

$$CE_P = CH_{4,comb} \times 35,755,188 \text{ J/m}^3 \times CH_{4,emitted} / 1 \times 10^{12} \text{ J} \quad (7)$$

Donde: CE_P = Emisiones relacionadas con la combustión, kg CH₄ por año
 CH_{4,comb} = Medición de la combustión de metano, m³ CH₄ por año
 CH_{4, emitted} = Emisiones de metano procedentes de la combustión en motores de combustión interna, calderas y hornos, en kg CH₄ por TJ

Cuadro 4. Valores Predeterminados para Emisiones de Metano Procedentes de la Combustión de mezcla pobre y Mezcla rica para Motores de Combustión interna, Calderas y Hornos

Proceso de combustión	Valor predeterminado, CH ₄ kg / TJ (CH _{4, emitted})
Mezcla pobre motor de combustión interna	597
Mezcla rica motor de combustión interna	110
Caldera / horno	1

4.4 Emisiones relacionadas al Uso de Combustibles Fósiles

Un proyecto de digestión anaeróbica puede resultar en un mayor uso de combustibles fósiles como el uso de gasolina o diesel para el transporte de estiércol a una instalación centralizada de digestión anaeróbica o el transporte de otros residuos a un centro para la co-digestión. El aumento resultante de las emisiones de dióxido de carbono, también debe tenerse en cuenta para el uso de los valores por defecto para los combustibles fósiles relacionados con las tasas de dióxido de carbono de las emisiones, como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Valores Predeterminados para las Emisiones de Dióxido de Carbono del Uso de Gasolina y Diesel para el Transporte (Regional Greenhouse Gas Initiative, Inc., 2007)

Combustible	Valor por Defecto, kg CO ₂ /L (C _{factor})
Gasolina	2.38
Diesel	2.75

Los valores en la tabla 5 se deben utilizar con la ecuación 8 para estimar las emisiones de dióxido de carbono resultante de un mayor uso de combustibles fósiles debido al transporte.

$$FF_p = \frac{(FF_{use} \times C_{factor})}{21} \tag{8}$$

- Donde: FF_p = Emisiones de dióxido de carbono relacionadas a los combustibles fósiles sobre una base equivalente de metano, kg CH₄ por año
 FF_{Use} = Uso adicional de combustibles fósiles, L por año
 C_{factor} = Factor de conversión, kg CO₂ por L
 21 = Potencial de calentamiento atmosférico del metano en comparación con el dióxido de carbono, kg CO₂/kg CH₄

5.0 PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS

Para la evaluación del desempeño de un sistema de digestión anaerobia, mediciones de la producción total de biogás y su composición son requeridas para todas las evaluaciones. Para evaluaciones de más alto nivel, la recopilación de datos relacionados con la utilización del biogás para generar electricidad o sustituir los combustibles fósiles mediante la combustión directa o motor-generator de recuperación de calor residual o alguna combinación de ambos también es necesaria.

5.1 Producción de Biogás

La producción total de biogás debería ser determinada en todas las evaluaciones de desempeño, porque el biogás eliminado mediante quemado, cuando la producción excede su capacidad de utilización, no será tenido en cuenta cuando solo sea medido el biogás utilizado. La experiencia general indica que los medidores de entrada superior diseñados para medir el flujo de gases corrosivos son adecuados. Sin embargo, otros tipos de medidores de flujo de gas, como los

medidores de flujo térmico en masa, también son aceptables. Los medidores deben ser de temperatura y presión compensada. La evidencia de la verificación de la precisión y exactitud de todos los medidores utilizados para medir la producción de biogás es necesaria. Todos los informes de producción de biogás deben ser en condiciones normales (0 ° C, 1 atm) para permitir la comparación directa de la producción entre los diferentes sistemas.

5.2 Composición del Biogás

La concentración en volumen, de dióxido de carbono, se deberá determinar por lo menos mensualmente utilizando el tubo de detección adecuado para la concentración esperada. La determinación mensual de la concentración de sulfuro de hidrógeno del biogás también es deseable. Al menos tres determinaciones repetidas se deben hacer durante cada episodio de muestreo. Además, análisis del biogás en laboratorio para determinar el metano, el dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, y el contenido de amonio por volumen deberá realizarse por lo menos trimestralmente para confirmar la exactitud de los tubos de detección de gases. Cada muestra debe recogerse en una bolsa de gas Tedlar™ y analizarla para determinar metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, y la composición de amoniaco en volumen, con el método ASTM D 1945-03 (ASTM International, 2009) para el metano y el dióxido de carbono, el método ASTM D 5504-01, 2009) para el sulfuro de hidrógeno, y el Método EPA 350.1 para el amoniaco o el equivalente de métodos analíticos. Los resultados de las muestras que contienen más del 10 por ciento de los gases no identificados, generalmente nitrógeno y oxígeno, deben ser descartados debido a un grado inaceptable de contaminación atmosférica que refleja una mala técnica de recolección de la muestra. El análisis electrónico en tiempo real de gas también es aceptable, con pruebas de precisión y exactitud.

5.3 Utilización del Biogás

La utilización del biogás debe medirse y registrarse con el mismo tipo de equipos para determinar la producción total de biogás. Cuando el biogás se utiliza para generar electricidad, la electricidad generada (MJ o Kwh.) también debe ser medida y registrada utilizando una instalación de medición permanente o un sustituto comparable. Con estos datos y la composición del biogás, el rendimiento térmico de la conversión de energía de biogás en energía eléctrica

utilizando el poder calorífico inferior (PCI) para el metano se debe calcular de la siguiente manera:

$$TCE = \left[\left(\frac{MJ_E}{\text{Biogas} \times CH_4 \times LHV} \right) \right] \times 100 \quad (9a)$$

Donde

- TCE = Eficiencia de conversión térmica, porcentaje
- MJ_E = Tasa de generación de electricidad, MJ por unidad de tiempo
- Biogás = Tasa de combustión de biogás, m³ / unidad de tiempo
- CH₄ = Contenido de metano del biogás, decimal
- LHV = Valor calorífico inferior de metano, MJ / m³

$$TCE = \left[\left(\frac{\text{kWh} \times 3,412}{\text{Biogas} \times CH_4 \times LHV} \right) \right] \times 100 \quad (9b)$$

Donde

- TCE = Eficiencia de conversión térmica, porcentaje
- Kwh. = Tasa de generación de electricidad, en Kwh. por unidad de tiempo
- 3,412 = BTU/kWh
- Biogás = Tasa de combustión de biogás, m³ / unidad de tiempo
- CH₄ = Contenido de metano del biogás, decimal
- LHV = Valor calorífico inferior de metano, BTU / pie³

El valor calorífico inferior (LHV) del metano es el calor de la combustión menos el calor de vaporización del agua formada como producto de la combustión. El LHV del metano debe ser utilizado en este cálculo debido a que la condensación de algo de agua con un motor-generador es poco probable. El LHV del metano en condiciones normales (0 ° C, 1 atm) es de 960 BTU por ft³ o 35.770 kJ por m³ (Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers, 1978). Sin embargo, el LHV del metano varía con la temperatura y la presión de acuerdo con la ley universal de los gases, y el LHV del metano utilizado para calcular el rendimiento térmico debe ser a la temperatura y presión a la que la producción de biogás se está midiendo.

Las horas de servicio del Motor-generador también deben ser medidas y registrados por lo menos mensualmente, a fin de calcular y generar informes mensuales y anuales de la eficiencia en línea del motor-generador como se muestra en la ecuación 10.

$$\text{Eficiencia en línea, \%} = \frac{\text{Set motor - generador hr por unidad tiempo}}{\text{hr por unidad tiempo}} \times 100 \quad (10)$$

Producción promedio también se debe calcular como se muestra en la ecuación 11 a o 11 b.

$$\text{Producción media Motor - Generador, kW} = \frac{\text{kWh por unidad tiempo}}{\text{set motor - generador hr por unidad tiempo}} \quad (11a)$$

$$\text{Producción promedio motor - generador, MJ} = \frac{\text{MJ por unidad tiempo}}{\text{set motor - generador hr por unidad tiempo}} \quad (11b)$$

La eficiencia de utilización de la capacidad debe calcularse como se muestra en la ec 12 a o 12 b.

$$\text{Eficiencia de utilización de capacidad, \%} = \frac{\text{Producción media set motor - generador, kW}}{\text{Potencia nominal máxima para biogás, kW}} \times 100 \quad (12a)$$

$$\text{Eficiencia de utilización de capacidad, \%} = \frac{\text{Producción media set motor - generador, MJ}}{\text{Potencia nominal máxima para biogás, MJ}} \times 100 \quad (12b)$$

Cuando hay utilización del agua de refrigeración del motor generador, o del calor de combustión de los gases para calefaccionar agua o calefacción de espacios o ambos, la energía térmica en unidades térmicas británicas (BTU) o kJ beneficiosamente usada, debe medirse y registrarse mediante equipos apropiados. Además, se recomienda la determinación de la energía térmica utilizada para la calefacción del digestor.

5.4 Recolección de Datos

Todos los medidores utilizados para medir la, producción y utilización de biogás, la electricidad generada, las horas del motor generador, y el calor residual provechosamente utilizado deben ser calibrados o recalibrados, si han sido empleados anteriormente por el fabricante, antes del comienzo de cada evaluación. Además, cada medidor debe tener un totalizador que no es reajutable manualmente para evitar la pérdida accidental de datos, y todas las lecturas de los contadores deberán registrarse por lo menos durante cada episodio de muestreo con la fecha y hora de la lectura del medidor señalada. Además, se deben obtener mensualmente una copia de los registros del operario del digestor.

5.5 Informes

Si la co-digestión del estiércol de animales y otros residuos o materias primas se está llevando a cabo, el informe de la producción de metano y biogás y la electricidad generada por número de cabezas de animales no es aplicable. Esta práctica, que ha sido empleada en el pasado, es engañosa y no debería ser aceptada en los informes elaborados. Cuando el desempeño de los sistemas de co-digestión de estiércol y otros residuos o materia prima se estén evaluando, la producción de metano y biogás y la electricidad generadas deben ser reportados en función de la carga diaria promedio de sólidos volátiles totales (TVS) y la DQO durante la duración del estudio. Deberán informarse al mismo tiempo además de la carga promedio diaria de estiércol y otros residuos, los sólidos volátiles totales (TVS) y la DQO.

6.0 ANÁLISIS ECONÓMICO

Es generalmente aceptado que la estabilización anaeróbica de estiércol bajo condiciones controladas, puede reducir significativamente el impacto potencial de estos residuos en el aire y la calidad del agua con la recuperación de una cantidad sustancial de energía utilizable. Sin embargo, la decisión de construir y operar un sistema de digestión anaeróbica depende en última instancia de la posibilidad de al menos recuperar la inversión de capital alocado internamente con una tasa interna de retorno razonable, y mantener cualquier financiación de la deuda durante la vida útil del sistema. De lo contrario, otras oportunidades de inversión se convertirán en más atractivas a menos que la necesidad de beneficios de calidad del medio ambiente, tales como el control de olores, justifiquen el costo neto de la operación del sistema. Por lo tanto, todas las evaluaciones de desempeño global del sistema deben incluir un análisis financiero realizado de acuerdo con los principios generales de la ingeniería económica como se indica por Grant *et al.* (1976) y otros.

En el pasado, varios métodos han sido utilizados para evaluar el atractivo económico de estos sistemas. Uno de ellos es la simple determinación del tiempo para recuperar la inversión de capital interno y/o prestado a través de los ingresos generados. Este enfoque del periodo de recuperación es simple, pero no tiene en cuenta el valor temporal del dinero. El cálculo del valor presente o valor presente neto es otro enfoque en el que el valor de los ingresos futuros se

descuenta a valor presente y se compara con la inversión de capital requerida. El problema con este enfoque es que el resultado obtenido es dependiente del supuesto necesario de una única tasa de descuento durante la vida útil del sistema. Además, no proporciona ninguna orientación con respecto a los ingresos netos anuales o la pérdida por el esfuerzo de la utilización y producción del biogás. Por lo tanto, esta guía requiere un acercamiento de flujo de efectivo descripto a continuación en que el costo total anual y los ingresos anuales se calculan y se comparan para determinar la renta neta o pérdida que se realiza anualmente. Sin embargo, los resultados del periodo de recuperación y los cálculos del valor presente también pueden ser presentados en los informes de evaluación del desempeño, si se desea.

6.1 Enfoque General

El análisis económico de los sistemas de digestión anaeróbica exigida para los niveles III y IV de las evaluaciones de desempeño se deben realizar desde la perspectiva de que el sistema es una empresa independiente con un ingreso neto anual o pérdida para el sistema, que está siendo la medida simple usada para caracterizar la viabilidad financiera. En una operación ganadera, en contraposición de un sistema centralizado que recibe estiércol y posiblemente otros desechos de diversas fuentes, la energía del biogás utilizada por otras partes de la operación será tratada como una fuente de ingresos para la empresa, junto con los pagos recibidos por cualquier energía de biogás vendida a un tercero.

6.2 Condiciones de borde o límite

Debido a que la digestión anaeróbica es un componente opcional de sistemas de manejo de estiércol se deben definir las condiciones de límite adecuadas que excluyen a los costos y fuentes de ingresos que no dependen de la empresa de biogás. Sólo deben ser incluidos los costos de los componentes del sistema que son necesarios para el digester anaerobio .

Por ejemplo, los costos asociados con el almacenamiento del estiércol seguido de la digestión anaeróbica no deben ser incluidos como componentes de sistemas de capital de biogás u operaciones anuales y costos de mantenimiento, ya que la producción de biogás y su utilización no requiere el almacenamiento posterior de estiércol. Los costos asociados con el

almacenamiento de estiércol son los costos de una decisión independiente de almacenar el estiércol para minimizar los impactos sobre la calidad del medio ambiente asociado con las prácticas de aplicación actual de la tierra o la maximización del valor del estiércol como fuente de nutrientes de las plantas para la producción de cultivos. Sin embargo, el costo adicional para el almacenamiento y la eliminación de efluentes debe incluirse cuando otros residuos estén siendo co-digeridos con estiércol.

Otro ejemplo de un componente de costo inapropiado podría ser cuando una bomba de carga del digestor si esta era requerida para transferir el estiércol a una estructura de almacenamiento. Sin embargo, si los efluentes del digestor anaerobio no pueden ser transferidos a la estructura de almacenamiento por gravedad y una bomba es necesaria para el funcionamiento del digestor anaeróbico, el coste de la bomba debe ser incluido en la estimación.

Con respecto a las operaciones complementarias, tales como la separación de sólidos gruesos de la digestión anaeróbica de estiércol del tambo, ha habido un debate sobre el tratamiento de los costos y los ingresos. Comúnmente, el capital y los costos de operación de la separación de sólidos han sido considerados como parte de la producción y utilización de biogás en un sistema de costo total con el uso en el sitio de los sólidos separados como cama o la venta como cama o una enmienda del suelo o mulch considerados una fuente de ingresos. Sin embargo, esta actividad no es necesaria para la producción y utilización de biogás debido a que la separación de sólidos gruesos a partir de estiércol del ganado lechero se puede lograr sin la digestión anaerobia previa. Así, la separación de sólidos debe ser considerada como una empresa independiente en este contexto, con la salvedad de que cualquier reducción en el costo final para la estabilización de los sólidos utilizados en el lugar o vendidos no representa ingresos para la empresa de biogás.

Del mismo modo, el costo de la separación de sólidos gruesos a partir de estiércol del establecimiento lechero que entren en un digestor de laguna cubierta no deben ser considerados como parte del costo de producción y utilización de biogás, debido a que la eliminación de estos sólidos es necesaria para el desempeño satisfactorio de las lagunas anaerobias convencionales, y

el costo es el mismo. Además, los ingresos derivados de los sólidos separados, con y sin la producción de biogás será el mismo.

Se reconoce en esta guía que la variación entre la producción de biogás, los sistemas de utilización y las condiciones específicas del lugar podrán exigir la especificación de diferentes condiciones de límite para el análisis financiero, y tienen que basarse en el mejor juicio profesional. Cuando la justificación de las condiciones de límite especificadas no está del todo claras, una breve explicación de la lógica subyacente debe ser incluida con los resultados de los análisis económicos. En todos los casos, el informe que presenta los resultados de la evaluación del desempeño debe incluir un esquema que identifica las condiciones de límite supuestas para el análisis económico.

6.3 Metodología

Esta sección describe la metodología para la estimación de los gastos anuales de capital, costo de operaciones anuales y costo de mantenimiento, otros costos anuales, ingresos anuales, y los ingresos netos.

6.3.1 Costos de Capital Anual

El primer paso en la determinación de los ingresos netos o pérdidas anuales de la producción de biogás debería ser el cálculo del costo anual de capital del sistema utilizando el enfoque de flujo de caja anual. Para hacerlo, son necesarios tres supuestos iniciales:

- La primera suposición es que la recuperación del capital invertido y derivado internamente y el retiro de financiación de la deuda se produce por una serie uniforme de pagos anuales durante la vida útil del sistema, o un período más corto si lo desea.
- El segundo supuesto es una estimación de la vida útil del sistema. A pesar de un valor supuesto de 20 años generalmente es estándar para los componentes estructurales, es claramente poco realista y largo para cubiertas flexibles, que generalmente tienen una vida útil previsto de unos 10 años, y equipo mecánico, que generalmente tiene una vida útil prevista de siete años.

- El tercer supuesto es que todos los componentes del sistema se pueden considerar que tienen una vida útil de 20 años si los costos de reacondicionamiento o sustitución de componentes que tienen una vida útil menor de 20 años se consideran parte de la operación y mantenimiento. Este supuesto permite la simplicidad y la normalización, sin embargo, un enfoque más detallado también será aceptable si los costos de reemplazo y reparación no están incluidos en la estimación de los costos anuales de operación y mantenimiento, así como el supuesto menos conservador de recuperación de capital de más de 10 en lugar de 20 años.

En general, los sistemas de digestión anaeróbica se financian con una combinación de capital derivado internamente y capital prestado, y, en algunos casos, también con participación en los gastos de asistencia, que podrá ser en forma de una subvención o un préstamo a una tasa de interés bajo del mercado. Uno de los objetivos de esta guía es establecer una base que permite la comparación de diferentes tipos de sistemas de digestión anaeróbica y de sistemas similares en diferentes ubicaciones geográficas. Por lo tanto, todas las determinaciones del costo de capital anual de cada sistema deben basarse en la "llave en mano", y no en el costo neto para el propietario.

Al calcular el costo anual de capital del sistema, se recomienda, de nuevo por la simplicidad, que la tasa de interés que se paga por el capital prestado también sea una tasa razonable de rendimiento al capital invertido derivado internamente. Otro mérito de este enfoque es que se evita una solicitud de información que el propietario de la red puede considerar información comercial confidencial. Por lo tanto, el costo anual del capital se calcula simplemente multiplicando el costo del sistema de llave en mano por el factor de recuperación de capital para una serie uniforme de pagos de más de 20 años, o 10 años si se desea, al tipo de interés que se paga por el capital prestado.

6.3.2 Costos de Mantenimiento y Operaciones anuales

Debido a una cantidad limitada de información de apoyo, uno de los aspectos más inciertos del análisis económico de los sistemas de digestión anaerobia ha sido la capacidad para estimar de

manera realista los costos de mantenimiento y operaciones anuales. Esta falta de información se debe, al menos en parte, a la imposibilidad de los propietarios de mantener un sistema de registro detallado de los costos de operación y mantenimiento durante las evaluaciones de desempeño anteriores. Sin embargo, no es realista suponer que el costo de operación y mantenimiento efectuados durante la evaluación del desempeño de 12 meses será representativo del costo de la operación media anual y el costo de mantenimiento, dado que los costos de mantenimiento tienden a aumentar con la edad del sistema y la mayoría de las evaluaciones de desempeño serán de sistemas relativamente nuevos. Por lo tanto, el supuesto estándar de que el costo operación media anual y el costo de mantenimiento serán del tres por ciento del costo de llave en mano deberá utilizarse hasta que una mejor información se encuentre disponible. Sin embargo, las necesidades de manejo y mano de obra para la operación rutinaria del sistema deben ser registradas e informadas como parte de todas las evaluaciones de desempeño en un esfuerzo por definir más claramente el coste de la operación y mantenimiento del sistema de biogás.

6.3.3 Otros Costos Anuales

La construcción de un sistema de digestión anaeróbica puede aumentar el valor estimado de una operación ganadera y, por consiguiente el aumento anual de los impuestos internos variables en cada país. También puede aumentar el costo anual del seguro sobre las estructuras y equipos y, posiblemente, el costo del seguro de responsabilidad civil. Además, otros costos pueden aumentar aparte de que costos nuevos pueden aparecer. Por ejemplo, el costo de la recolección de estiércol puede aumentar si aumenta la frecuencia de recolección. Además, un permiso de operación con una cuota anual puede ser requerido. La magnitud de estos aumentos debería determinarse y añadirse al capital anual estimado y a los costos de mantenimiento y operación para determinar el costo total anual de funcionamiento del sistema. Del mismo modo, otros costos anuales además de costos de operación y mantenimiento (por *ejemplo*, seguros, impuestos sobre bienes inmuebles, los salarios, prestaciones sociales, transporte, *etc*) serán asumidos por sistemas centralizados. Todos estos costos deben ser identificados e incluidos en los análisis económicos de los sistemas de digestión anaeróbica cuando sea posible, o su ausencia debe ser señalada.

6.3.4 Ingresos Anuales

Para algunos sistemas de digestión anaeróbica, la venta de créditos de carbono puede ser la única fuente de ingresos. Sin embargo, la electricidad generada será la principal fuente de ingresos para muchos sistemas, cuando sea económicamente atractivo reducir las compras de electricidad, y posiblemente vender electricidad a la empresa eléctrica local. Para sistemas con contratos de servicios públicos compra/venta, los ingresos anuales generados por el sistema será simplemente la suma de los pagos recibidos de la utilidad de cada año. La estimación de los ingresos anuales de la generación de electricidad para las operaciones de venta con superávit o con una red de medición de contratos de servicios públicos es más difícil debido al problema de poner un valor a la electricidad del biogás generado que se utiliza en el sitio.. Por lo tanto, reduciendo la cantidad de electricidad comprada, puede aumentar su costo por unidad. Además, el uso en el sitio de la electricidad generada por el biogás puede aumentar o disminuir los gastos de la demanda y puede dar lugar a la adición de un cargo de suministro base. Si no hay uso en el sitio de la electricidad generada del biogás, si se considera el supuesto que el valor promedio por Kwh. de la electricidad del biogás usada en el sitio es igual al costo promedio por Kwh. de electricidad adquirida del servicio público, podrá resultar en una sub. o sobreestimación de los ingresos anuales del uso de la electricidad generada del biogás en el sitio.

El enfoque recomendado para hacer frente a este problema es comparar el importe total de la energía comprada al servicio público local para los 12 meses anteriores a la puesta en marcha del sistema de digestión anaerobia con el monto total para los 12 meses siguientes a la evaluación del desempeño. La diferencia multiplicada por la tasa del servicio público durante la evaluación del desempeño, son los ingresos generados por el uso en el sitio. Sin embargo, si la explotación ganadera es una nueva operación, o hubo cambios significativos, tales como la expansión cuando comenzó la producción de biogás, el costo de la electricidad sin la producción de biogás debe ser estimado. Esto debe hacerse desde el máximo consumo de electricidad del biogás en el sitio y las compras al servicio público local, para los 12 meses de la evaluación del desempeño. En todos los casos, la validez de la estimación de producción debe ser confirmada por pruebas de que el período de la evaluación del desempeño es razonablemente similar a la temperatura ambiente.

Para sistemas combinados de calor y energía donde el calor residual del motor-generador, esta siendo recuperado para usos benéficos, los ingresos que son derivados de la utilización del calor residual se calculan en base al costo por unidad de energía para el combustible convencional que se sustituye y la energía de calor residual que se esta utilizando. El mismo criterio debe usarse cuando los ingresos estimados se derivan sólo del uso del biogás como combustible de caldera o de horno. Los costos de los combustibles convencionales más probables de ser sustituidos (gas licuado de petróleo o fuel oil) varían estacionalmente y por lo tanto el impacto de la variación estacional en el uso de biogás y su valor debe ser incorporado en las estimaciones de ingresos.

6.3.5 Ingresos Netos

Los ingresos netos de la actividad biogás se podrán determinar después de que los cálculos de los costos anuales totales y los ingresos anuales se han hecho previo al pago de impuestos. Un intento de estimación de ingresos netos después de los impuestos sobre la renta no debe hacerse porque los ingresos del sistema de biogás sólo serán un componente de los ingresos totales de la operación agropecuaria, que pueden variar considerablemente durante la vida útil del sistema de biogás. Además, se evitará el uso de la información confidencial de la empresa.

7.0 CARACTERIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS PROCESOS

En esta sección se presenta un resumen de la información de caracterización del funcionamiento de los procesos, incluidos los parámetros de estabilización de residuos, reducción de patógenos, la recogida de muestras, preservación de muestras, métodos analíticos, el tiempo de retención hidráulica, la temperatura y la presentación de informes.

7.1 Parámetros de estabilización de residuos

Las evaluaciones del Nivel IV del desempeño de sistemas de digestión anaerobia incluye la cuantificación del grado de estabilización de residuos realizada por el proceso de digestión anaerobia. Para digestores mixtos, flujo-pistón, y digestores de film adherido, el grado de estabilización de residuos debe basarse en las diferencias, estadísticamente significativas, entre las concentraciones medias de los afluentes y efluentes de

- Sólidos totales (ST),
- Sólidos Volátiles Totales (TVS),
- Demanda química de oxígeno (DQO), y
- Ácidos Volátiles Totales (TVA).

Además, es preciso demostrar que los cambios observados en las concentraciones de estos parámetros se deben a los procesos microbianos y no a la sedimentación de material particulado demostrando que no hay ninguna diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) entre los sólidos fijos de afluentes y efluentes y preferiblemente también las concentraciones de fósforo total (PT). Idealmente, los cambios en las concentraciones de los siguientes productos químicos se deben determinar, pero no es obligatorio:

- Nitrógeno total Kjeldahl (NTK),
- Nitrógeno orgánico (ON),
- Nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$)
- Fósforo total (TP), y
- Azufre Total (S).

Los valores promedios de pH del afluente y el efluente debe ser informado en conjunto con los parámetros mencionados anteriormente.

Para lagunas cubiertas, las diferencias entre las concentraciones de los afluentes y efluentes para aquellos parámetros presentes en ambas formas particulada y soluble (por *ejemplo*, TS, TVS y DQO) representan cambios debido a la combinación de procesos microbianos y de sedimentación y no son indicadores válidos del grado de estabilización de residuos alcanzado. Aunque estas diferencias tienen un valor para caracterizar el potencial de contaminación del agua de los efluentes y deben ser reportadas, la cuantificación del grado de estabilización de residuos debe estar basada en la diferencia entre los afluentes y efluentes de las concentraciones de ácidos volátiles totales TVA y la reducción de DQO estimado en base a la producción de metano.

Estequiométricamente, $0,3496 \text{ m}^3$ por kg de DQO destruidos ($5,60 \text{ ft}^3$ de metano es producido por lb de DQO destruida) en condiciones normales (0° C y 1 atm) (Madigan *et al.*, 1997). La cantidad de metano producido asumido por unidad DQO destruido bajo otras condiciones de la del estándar deben ajustarse a las condiciones reales utilizando la ley universal de los gases (Ver Metcalf and Eddy, Inc., 2003 y el apéndice B). Se recomienda que este método para calcular la

reducción de DQO se utilice también en las evaluaciones de otros tipos de digestores y se compare con las estimaciones basadas en la diferencias entre las concentraciones medias de los afluentes y efluentes (Véase el Apéndice A para una discusión sobre la construcción del balance de materiales).

Aunque la producción de metano también puede expresarse como una función de la destrucción de sólidos volátiles totales (TVS), la naturaleza de esta relación es variable dependiendo de la composición química de los TVS destruidos. La variación entre los diferentes tipos de estiércol en la composición química, así como el impacto de los diferentes programas de alimentación y posiblemente otras variables en los diferentes sectores de la agricultura animal, sugiere que no hay un solo, factor general de conversión aplicable como el DQO. Por ejemplo, el generalmente aceptado nivel posible de variación en la producción total de biogás durante la digestión anaerobia de los biosólidos de aguas residuales domésticas pueden variar desde 0,7492 a 1,124 m³ / kg sólidos volátiles totales (TVS) destruidos (12 a 18 m³ por libra de TVS destruido) (Metcalf and Eddy , Inc., 2003). Una base defendible para la estimación de la destrucción TVS durante la digestión anaeróbica de estiércol basada en la producción de metano en este momento parece estar ausente, pero pueden surgir en el futuro.

Por último, se recomienda que a largo plazo, estudios a escala batch se realicen a la temperatura de funcionamiento del digestor que está evaluándose para estimar la fracción fácilmente biodegradable y resistente de TVS. Tales estudios deben ser de no menos de 30 días y con la fracción refractaria en el infinito (TVS_{∞}/TVS_0) determinado por el trazado TVS_t/TVS_0 versus $(1/TVS_0 * t)$, donde t es igual a cero al comienzo de el estudio y determinando la intersección en el eje y mediante análisis de regresión lineal.

7.2 Reducción de Patógenos

Como mínimo, todas las demandas del potencial de reducción de patógenos, que también son opcionales, deben ser apoyadas por los resultados de los análisis de las muestras recogidas y analizadas de los afluentes y efluentes del digestor o laguna cubierta para los parámetros de estabilización de los residuos mencionados anteriormente. Los reclamos del potencial de reducción de patógenos podrán basarse únicamente en la reducción de las densidades de coliformes totales y los grupos de estreptococos fecales de los organismos indicadores, siempre que se explique claramente que las reducciones de estos grupos de microorganismos sólo son

indicativos del potencial de reducción de patógenos. Si la demostración de la reducción de un patógeno específico es deseada, se debe dar preferencia a *Mycobacterium avium paratuberculosis* en el estiércol de lácteos y *Salmonella spp* en cerdos y el estiércol de aves de corral.

7.3 Obtención de muestras

Dada la variabilidad inherente a los estiércoles animales, se debe tener cuidado para asegurar que todas las muestras de afluentes y efluentes recogidos para el análisis son representativas del caudal medio diario. Mientras que el enfoque más conveniente sería recoger muestras compuestas cada 24-horas, se reconoce que este enfoque general, es poco práctico para la recolección de muestras de estiércol de ganado. Por lo tanto, se recomiendan las siguientes alternativas.

1. Con estaciones de bombeo de afluentes y efluentes, una serie de al menos cinco muestras deben recogerse a diferentes profundidades cuando la estación de bombeo está a su máxima capacidad y luego combinarse en una muestra compuesta única. Cuando sea posible, el contenido de la estación de bombeo se debe mezclar antes de la recolección de la muestra.
2. Cuando las muestras deban ser recogidas por un flujo de corriente continua o periódica del afluente o efluente, una serie de al menos seis muestras se deben recoger en un período de no menos de una hora y combinarse en una muestra compuesta única.

Las muestras compuestas no deben ser de menos de 20 L y las sub-muestras retiradas para el análisis deben ser de no menos de 1L. Para asegurarse que las muestras recogidas son representativas, debe haber una revisión continua de los resultados analíticos para determinar si el grado de variabilidad es razonable o se requiere una modificación del protocolo de recolección.

Debido a la variabilidad inherente a lo largo del tiempo, todas las solicitudes con respecto a la estabilización de los residuos deben estar basadas en los resultados de los análisis de un mínimo

de 12 muestras mensuales de afluentes y efluentes, con la siguiente advertencia. Si el coeficiente de variación para las concentraciones de TS del afluente o efluente excede el 25 por ciento, o si hay más de una observación extrema determinada estadísticamente por ser un valor atípico, serán necesarias recolecciones de muestras y análisis más frecuentes, con al menos 24 semi-episodios de muestreo semi-mensuales recomendados.

Con la co-digestión de estiércol de ganado y otros residuos o combinación de otros desechos u materia prima, debe concebirse un plan de muestreo que caracterizara los afluentes y efluentes del digestor para delimitar con exactitud el grado de estabilización de residuos que se está realizando, así como la relación entre la estabilización de los residuos y la producción de biogás. Si el mismo residuo o la combinación de otros desechos u otra materia prima están siendo combinados con estiércol continuamente a un ritmo constante, una toma de muestras periódica como se describió anteriormente debería ser suficiente. Sin embargo, si diferentes residuos se combinan con estiércoles en diferentes momentos, o la co-digestión es intermitente, o ambos, la prueba adecuada debe ser siempre que las características físicas y químicas de los afluentes y efluentes de digestor reportados como valores medios sea representativa.

Un requisito adicional para todas las evaluaciones de desempeño de la co-digestión es que se mantenga un registro de todas las adiciones de otros desechos durante un período igual a por lo menos cinco tiempos de retención hidráulica HRTS, antes y con los 12 meses de duración de la evaluación del desempeño. Este registro debe ser incluido en el informe de la evaluación del desempeño e incluir como mínimo lo siguiente:

1. Tipo y fuente de los residuos (s) o de otras materias primas,
2. Fecha (s) de adición,
3. Volumen añadido, y
4. TS, TVS, DQO, y las concentraciones de TVA y de pH usando los mismos protocolos analíticos utilizados para determinar las características físicas y químicas de los afluentes del digestor

7.4 Preservación de la Muestra

Todas las muestras de afluentes y efluentes de un digestor anaerobio deben ser inmediatamente congeladas o refrigeradas después de la recolección y entregadas dentro de 24 horas para su análisis. Dada la alta concentración de materia orgánica, las submuestras no deben ser acidificadas para su conservación. Además, la necesidad de dividir las muestras y la introducción de otra fuente de variación posible es evitada.

7.5 Métodos de análisis

Sólo se utilizaran los métodos de análisis descrito en los Métodos de Análisis Químico del Agua y Residuos, EPA-600/4-79-020 (Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU., 1983) o Standard Methods para el examen de Agua y Aguas Residuales, 21^a edición (American Public Health Association, 2005) o sus equivalentes con el mismo grado de precisión y la exactitud. En particular los métodos de análisis no se han especificado, porque puede haber más de una opción adecuada para un parámetro. Un laboratorio de análisis con la certificación adecuada para realizar los análisis de aguas residuales y que tiene una garantía de calidad en curso o programa de control de calidad debe realizar todos los análisis de las muestras de los afluentes y efluentes. En caso de que se utilice un laboratorio de análisis sin la correspondiente certificación, como un laboratorio de investigación de la universidad, el laboratorio debe tener una garantía de calidad y programa de control de calidad que sea comparable a este tipo de programas necesarios para la certificación. El laboratorio utilizado debe tener experiencia previa en el análisis de muestras con altas concentraciones de sólidos, y duplicado, triplicado o preferentemente, los análisis de muestras individuales se deben realizar para todos los parámetros.

Las múltiples técnicas de fermentación de tubo descrita en la norma de Métodos para el examen de Agua y Aguas Residuales (American Public Health Association, 2005) deben ser utilizadas para estimar coliformes fecales, estreptococos fecales y *Salmonella spp.* Para la estimación de densidades de *M. avium paratuberculosis*, ya sea el NADC o el Método de Cornell (Stabel, 1997) es aceptable.

7.6 Tiempo de retención hidráulica y temperatura

Debido a que el grado de estabilización de los desechos puede variar con el TRH y el TRH real puede diferir del valor del diseño, la determinación del caudal de afluente y efluente de un

digestor real o laguna cubierta, para calcular el TRH real también es un requisito de esta guía. Debido a las diferencias entre los digestores, ninguna técnica de medición de flujo específico es obligatoria. Sin embargo, el método utilizado, así como los fundamentos del sistema, deben estar completamente descriptos en el informe de evaluación del desempeño.

Además, la temperatura de funcionamiento de un digestor o laguna cubierta debe determinarse y registrarse al menos en cada episodio de muestreo con la medición simultánea de las temperaturas de los afluentes y efluentes también es deseable. Por lo menos mensualmente, la exactitud de todos los termómetros y otros aparatos de medición de temperatura debe ser chequeada mediante un termómetro de precisión con la certificación atribuible al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) o una organización con normas similares. Para lagunas anaerobias cubiertas, la media de la temperatura ambiente diariamente a lo largo de la duración de la evaluación del funcionamiento también debe ser medida y registrada u obtenida de la más cercana estación de observación meteorológica oficial.

7.7 Informes

Todos los datos deben ser estadísticamente significativos, al menos en el nivel $P < 0,05$ mediante la prueba de t de Student (Snedecor y Cochran, 1980.). Cualquier sospecha de los valores extremos (outliers) en los conjuntos de datos deben ser probados en $P < 0,05$, utilizando el método de Dixon (Snedecor y Cochran, 1980). Para lagunas cubiertas, las reducciones de TVS y DQO tendrán que ser estimadas sobre la base de observar la producción de biogás. Todas las densidades de los organismos indicadores y patógenos deben notificarse y compararse estadísticamente en base a \log_{10} unidades formadoras de colonias (UFC) por cada 100 ml de base. Si se busca una reducción, debe ser también estadísticamente significativa, al menos en $P < 0,05$. Cuando se encuentran diferencias estadísticamente significativas, las estimaciones de los intervalos de confianza del 95 % deben ser notificadas.

8.0 **FORMATO DE INFORME**

Los informes de presentación de resultados de las evaluaciones de desempeño de los sistemas de digestión anaeróbica de estiércol del ganado deben contener lo siguiente:

- Resumen y conclusiones-un breve resumen de la evaluación de resultados y la presentación de las conclusiones principales.
- Introducción-La descripción de la ubicación de la evaluación y el sistema de biogás evaluado seguido por los objetivos de la evaluación.
- Métodos y Materiales-Una descripción de los métodos y materiales empleados en la evaluación.
- Síntesis de los resultados obtenidos.
- Debate, una discusión de los resultados obtenidos, especialmente con respecto a las similitudes y diferencias de los resultados reportados anteriormente.
- Referencias-Una lista de literatura citada, siguiendo el formato utilizado en este documento.
 - Apéndices -
 - 1Una copia del plan de QA / QC para el laboratorio que realiza los análisis de afluentes y efluentes del digestor, cuando proceda,
 - 2Un registro de las pruebas de precisión de los aparatos de medición utilizados,
 - 3Todos los datos recogidos en forma de tabla.

REFERENCES

- American Public Health Association. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition. A.D. Eaton, L.S. Clesceri, E.W. Rice, and A.E. Greenberg (Eds). American Public Health Association, Washington, DC.
- ASTM International. 2009. Standard Test Method for Analysis of Natural Gas by Gas Chromatography, ASTM D 1945-03. In: Book of Standards Vol. 5.06. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM International. 2009. Standard Test Method for Determination of Sulfur Compounds in Natural Gas and Gaseous Fuels by Gas Chromatography and Chemiluminescence, ASTM D 5504-01. In: Book of Standards Vol. 5.06. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- California Climate Action Registry. 2008. Livestock Project Reporting Protocol, Version 2.1. California Climate Action Registry, Los Angeles, California.
- Grant, E.L., W.G. Ireson, and R.S. Leavenworth. 1976. Principles of Engineering Economy, 6th Ed. John Wiley and Sons, New York, New York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, S. Eggleston, C. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds). Institute of Global Strategies, Japan.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko, and J. Parker. 1997. Brock Biology of Microorganisms, 8th Ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers, 8th Ed. 1976. T. Baumeister, E. Avallone, and T. Baumeiset III (eds). McGraw-Hill Book Company, New York, New York.
- Martin, J.H., Jr. 2007. A Protocol for Quantifying and Reporting the Performance of Anaerobic Digestion Systems for Livestock Manures. In: Proceedings of the American Society of Agricultural and Biological Engineers International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.
- Metcalf and Eddy, Inc. 2003. Wastewater Engineering, Treatment, and Reuse, 4th Ed. Revised by G. Tchobanoglas, F.L. Burton, and H.D. Stensel. McGraw-Hill, New York, New York.
- Methane to Markets Partnership. 2008. *Methane to Markets Partnership Factsheet*. Available online at: http://www.methanetomarkets.org/m2m2009/documents/partnership_fs_eng.pdf
- Regional Greenhouse Gas Initiative, Inc. 2007. Regional Greenhouse Gas Initiative, Draft Model Rule. Regional Greenhouse Gas Initiative, Inc., New York, New York.
- Snedecor, G.W., and W.G. Cochran. 1980. Statistical Methods, 7th Ed. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.

- Stabel, J.R. 1997. An Improved Method for Cultivation of *Mycobacterium paratuberculosis* from Bovine Fecal Samples and Comparison with Three Other Methods. J. Veterinary Diagnostic Investigations, 9:375-380.
- United Nations Framework Convention on Climate Change/Clean Development Mechanism. No date. Tool to Determine Project Emissions from Flaring Gases Containing Methane, v1. EB 28 Meeting Report, Annex13. (Available at: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mecanismos/clean_development_mechanism/items/2718.php)
- United Nations Framework Convention on Climate Change/Clean Development Mechanism. 2008. Tool to Calculate Project or Leakage CO₂ Emissions from Fossil Fuel Combustion, v2. EB 41 Meeting Report, Annex11. (Available at: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mecanismos/clean_development_mechanism/items/2718.php)
- U.S. Environmental Protection Agency. 1983. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. EPA-600/4-79-020. Environmental Monitoring and Support Laboratory, Cincinnati, Ohio. (Available at <http://nepis.epa.gov/titleORD.htm> or from the National Technical Information Service—Publication No. PB84-128677)

APÉNDICE A**Balance de masa**

Un balance de masa (o inventario) es una contabilidad simple, de cualquier materia en un sistema, que puede ser una sola unidad, una colección de unidades, o un sistema entero y en general, puede establecerse como:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Entradas (entradas por la frontera del sistema)} + \\
 & \textit{Generación (producida en el sistema)} - \\
 & \textit{Salidas (salidas a través de la frontera del sistema)} - \\
 & \textit{El consumo (consumo en el sistema)} = \\
 & \textit{Acumulación (acumulación dentro de los límites del sistema)}
 \end{aligned}
 \tag{A-1}$$

Si no hay una generación o consumo dentro de los límites del sistema, como es el caso de los sólidos fijos (FS) y fósforo total (PT) en un reactor de digestión anaerobia, la ecuación A-1 se reduce a:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Entradas (entra por la frontera del sistema)} - \\
 & \textit{Salidas (salidas a través de la frontera del sistema)} = \\
 & \textit{Acumulación (acumulación dentro de los límites del sistema)}
 \end{aligned}
 \tag{A-2}$$

En el análisis del estiércol del ganado y el tratamiento de otros residuos o los procesos de estabilización, por lo general se supone que no se produce ninguna acumulación de una sustancia debido a la sedimentación, si la entrada de FS, y preferiblemente también PT, es igual a la de salida. Por lo tanto, cualquier diferencia entre la entrada y salida debe ser debido a la generación o el consumo y la ecuación A-1 se reduce a:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Entradas (entra por la frontera del sistema)} + \\
 & \textit{Generación (producida dentro del sistema)} = \\
 & \textit{Salidas (salidas a través de la frontera del sistema)} - \\
 & \textit{El consumo (consumo en el sistema)} +
 \end{aligned}
 \tag{A-3}$$

Si la generación es nula o insignificante en comparación con el consumo, la ecuación A-3 se reduce a:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Entradas (entra por la frontera del sistema)} - \\
 & \textit{Salidas (a través de la frontera del sistema)} = \\
 & \textit{El consumo (consumo en el sistema)}
 \end{aligned}
 \tag{A-4}$$

Y el tratamiento o la eficiencia de estabilización se calculan como sigue:

$$\begin{aligned}
 & \textit{El tratamiento o la eficiencia de estabilización, \%} = \\
 & \textit{(Consumo / entrada) * 100}
 \end{aligned}
 \tag{A-5}$$

La base de los balances de masa para el continuo estado de equilibrio de procesos como la digestión anaeróbica es por lo general las tasas de flujo de masa (por *ejemplo*, kg / hr). Sin embargo, los balances de materiales para estimar la eficiencia de tratamiento o de estabilización también puede construirse utilizando concentraciones (por *ejemplo*, mg / l) cuando las tasas de flujo volumétrico (por *ejemplo*, L por hora) son iguales. Aunque, hay una reducción en el volumen durante la digestión anaerobia, debido a la saturación del biogás que sale del reactor con vapor de agua, la reducción en el volumen es insignificante y puede ser ignorada.

Para la estimación de la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) en lagunas cubiertas basada en la producción de metano en condiciones normales, la relación es:

$$DQO_{reducción}, \text{ kg/unidad de tiempo} = (\text{Producción de, } CH_4 \text{ m}^3 / \text{unidad de tiempo}) / (A-6a)$$

(0.3496 m³ CH₄/kg DQO_{destruida})

$$DQO_{reducción}, \text{ lb/unidad de tiempo} = (\text{Producción de, } CH_4 \text{ ft}^3 / \text{unidad de tiempo}) / (A-6b)$$

(5.60 ft³ CH₄/lb DQO_{destruida})

Para las condiciones no estándares, la ecuación universal de los gases se deben utilizar para determinar el volumen ocupado por un mol de metano y el equivalente de metano de DQO convertida en condiciones anaeróbicas asumiendo 64 g DQO por mol de metano.

APÉNDICE B**La Producción de Biogás**

Para determinar la producción de biogás se debe utilizar bajo condiciones de operación del digestor fundada en la destrucción DQO basada en la estimación estequiométrica de que 5,60 ft³ de metano son producidos por kg de DQO destruida (0,3496 m³ por kg DQO destruida) en condiciones normales (0 ° C y 1 atm) o corregir la temperatura o presión compensada de la medición de la producción de biogás a las condiciones estándar, la siguiente relación (la ley general de los gases).

$$V_2 = V_1 * (T_2/T_1) * (P_1/P_2) \quad (B-1)$$

Donde: V_1 = volumen del gas (m³) a la temperatura T_1 (°K) y presión P_1 (mm Hg)
 V_2 = volumen del gas (m³) a la temperatura T_2 (°K) y presión P_2 (mm Hg)