

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

SISTEMA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y
MATERIAL DE RESIDUOS ORGÁNICOS PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL DEL
MUNICIPIO DE EBÉJICO

GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM



INSTITUTO DE QUÍMICA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

ANTIOQUIA
2023

ABREVIATURAS

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket (reactor de manto de lodo de flujo ascendente)

ORL: Organic Rate Load - Taza de carga orgánica

TRH: Tiempo de Retención Hidráulico

DQO: Demanda Química de Oxígeno

Hp : horse power potencia del equipo

Ph: fases de electricidad

pH: potencial de hidrogeniones.

Lts: litros

PSI (pounds per squared inch) o libras por pulgada cuadrada

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	5
2.1.	Captación y conducción	7
2.2.	Sistema de solubilización-hidrólisis	7
2.3.	Sistema de Bombeo I (bomba sumergible)	8
2.4.	Tanque Pulmón	8
2.5.	Sistema de bombeo II (bomba peristáltica)	8
2.6.	Reactor metanogénico primario	8
2.7.	Reactores Metanogénicos Secundarios	9
2.8.	Filtros de limpieza del biogás	9
2.9.	Almacenamiento del biogás	9
2.10.	Sistema de preimpulsión	9
2.11.	Tanque de almacenamiento de efluente estabilizado (tanque Biol)	10
3.	OPERACIÓN DE LA PLANTA	11
3.1.	Captación y conducción	11
3.2.	Sistema de Solubilización-Hidrólisis	11
3.3.	Sistema de Bombeo I (bomba sumergible)	11
3.4.	Tanque pulmón	11
3.5.	Sistema de Bombeo II (bomba peristáltica)	12
3.6.	Reactor metanogénico primario	12
3.7.	Reactores secundarios	13
3.8.	Filtros de limpieza del biogás	13
3.9.	Almacenamiento del Biogás	13
3.10.	Sistema de Pre-impulsión	13
3.11.	Tanque de Almacenamiento de Efluente Estabilizado (tanque Biol)	13
4.	MANTENIMIENTO DE LA PLANTA	14

4.1.	Captación y conducción	14
4.2.	Sistema de solubilización-hidrólisis	14
4.3.	Sistema de bombeo I (bomba sumergible)	14
4.4.	Tanque pulmón	14
4.5.	Sistema de bombeo II (bomba peristáltica)	14
4.6.	Reactor metanogénico primario	14
4.7.	Reactores Metanogénicos Secundarios	14
4.8.	Filtros de limpieza del biogás	15
4.9.	Almacenamiento del biogás	15
4.10.	Tanque de almacenamiento de efluente estabilizado (tanque Biol)	15
5.	CONTROL DE LA PLANTA	16
6.	PERSONAL	16
7.	RECOMENDACIONES DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO	16
7.1.	Riesgos laborales	17
7.2.	Peligros en la Salud Humana por Sustancias Químicas	17
7.3.	Elementos de Protección Personal para el Manejo del Biodigestor	19
8.	SOLUCIÓN DE PROBLEMAS	20

1. INTRODUCCIÓN

El propósito del siguiente documento es establecer pautas de operación y mantenimiento para el sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos generados en la planta de beneficio del municipio de Ebéjico en el departamento de Antioquia. El sistema de aprovechamiento genera biogás, abono sólido y abono líquido como coproductos.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

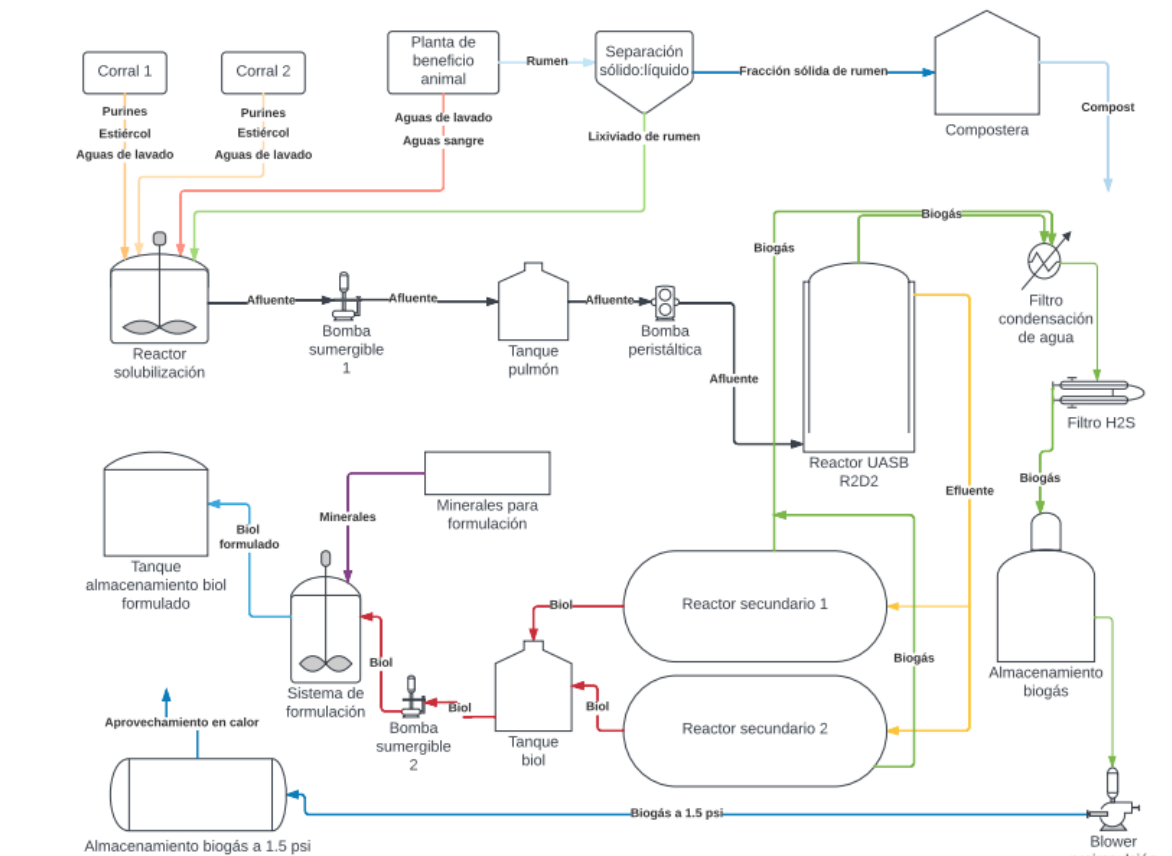
El sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos construido en la planta de beneficio animal del municipio de Ebéjico en el departamento de Antioquia se planteó a modo general como un sistema multietapa, basado en el proceso de digestión anaerobia.

Un proceso multietapa permite controlar la tasa de carga orgánica en los reactores metanogénicos, como también, desarrollar las diferentes etapas en módulos que facilitan la distribución del sistema.

El sistema de aprovechamiento se diseñó para realizar el aprovechamiento de 300 m³/mes de residuos orgánicos, a razón de 10 m³/día.

Estos residuos orgánicos corresponden a excretas porcícolas y bovinas de los corrales, percolado del rumen, aguas de lavado y aguas sangre, de la operación de la planta de beneficio animal.

A continuación, se presenta un esquema del sistema de aprovechamiento instalado en donde se pueden ver los diferentes flujos materiales, los equipos y procesos de la planta.



Cada elemento corresponde a un proceso en la planta.

En el siguiente listado se presentan los equipos del sistema o planta de aprovechamiento.

	ítem	Cantidad
1	Agitador mecánico Gas y Gas de 1 Hp 3ph con tablero de control para solubilización de minerales con capacidad de 1000 Litros	1
2	Agitador mecánico Gas y Gas de 5 Hp 3ph con tablero de control para solubilización de materia orgánica montado sobre pasarela de concreto.	1
3	Blower de pre impulsión de biogás SunSun de 750 Watts con tablero de control y tanque pulmón de 100 litros en acero inoxidable	1
4	Bomba peristáltica de desplazamiento positivo Gas y Gas - 10, con tablero de control y capacidad de alimentación de 300 Litros /hora	1

5	Bomba sumergible robusta Aqua Pak de 2 Hp monofásica con arrancador start - stop	2
6	Tanque horizontal de almacenamiento de biogás a baja presión en acero inoxidable y 30 m ³ de volumen total Gas y Gas.	1
7	Biodigestor tipo Taiwán horizontal de 120 m ³ de volumen total construido en geomembrana. Fabricante Geo Soluciones de Ingeniería S.A.S	2
8	Reactor metanogénico tipo UASB - R2D2 vertical en acero inoxidable con 30 m ³ de volumen de trabajo. Fabricante Gas y Gas.	1
9	Tanque cónico en polietileno de alta densidad de 5000 Litros Rotovel	8
10	Accesorios de PVC presión y tuberías	Varios
11	Accesorios eléctricos	Varios
12	Tanque de solubilización-hidrólisis, tanque rectangular en mampostería	1

A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de los componentes.

2.1. Captación y conducción

El sistema de captación y conducción consiste en una red de tuberías con un diámetro de 6 pulgadas instalada en la actual planta de beneficio del municipio de Ebéjico. Esta red se utiliza para conducir las excretas porcícolas y bovinas de los corrales, aguas de lavado y aguas sangre de la operación de la planta, y se conectó la salida del percolado del rumen que se genera en la planta.

El sistema también tiene una serie de cajas de inspección o control y un tanque donde confluyen las diferentes tuberías.

2.2. Sistema de solubilización-hidrólisis

El sistema de solubilización-hidrólisis es básicamente un tanque cúbico que tiene 20 m³ de volumen de trabajo en donde se mezclan y homogeneizan los flujos residuales.

Para la operación de solubilización-hidrólisis se cuenta con un sistema de agitación, que consiste en un agitador mecánico de 5 Hp @ 220V 3ph, el cual está montado sobre una pasarela de concreto.

Adicionalmente, se tiene un tablero de control para encendido y apagado automático.

2.3. Sistema de Bombeo I (bomba sumergible)

Consiste en un sistema de bombeo con una bomba sumergible robusta de 2HP, monofásica 220 V, que Incluye arrancador y flotador eléctrico para controlar el encendido y apagado mediante control de nivel.

Esta bomba y su sistema de control permite implementar una estrategia para regular la alimentación del tanque pulmón.

Adicionalmente, para el control del funcionamiento de la bomba sumergible se tiene un tablero de control para controlar el encendido y apagado.

2.4. Tanque Pulmón

Es un tanque cónico en polietileno de alta densidad de 5000 Litros. Este tanque recibe el material orgánico solubilizado e hidrolizado en la etapa anterior.

2.5. Sistema de bombeo II (bomba peristáltica)

A partir del tanque pulmón, mediante una bomba peristáltica, se hace un bombeo controlado al reactor metanogénico primario. Para este proceso se tiene una bomba peristáltica de desplazamiento positivo con capacidad de alimentación de 300 Litros /hora.

Adicionalmente, se cuenta con un tablero de control para el sistema de bombeo con control de encendido.

2.6. Reactor metanogénico primario

En este reactor se produce el biogás y el efluente líquido.

El reactor metanogénico primario es un reactor de segunda generación denominado UASB por sus siglas en inglés (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). El sistema instalado es un reactor UASB modificado, diseñado con geometría variable y 2 cuerpos con un volumen de trabajo de 30 m³.

La entrada del influente es por la parte inferior y la salida del efluente es por una tubería de 2 pulgadas instalada en el lateral que conecta con los reactores secundarios.

2.7. Reactores Metanogénicos Secundarios

Se dispone de dos sistemas metanogénicos secundarios que consisten en reactores cilíndricos tipo pistón, de dimensiones 2,8 m de diámetro x 16 m de longitud, en STD 1000 con 10 bridas de 2". Incluye: Sobre piso protector en Geotextil NT-2000, acoples para tuberías de 2", válvulas de aireación, empaque - (2 Unidades).

La planta se concibe como un sistema híbrido, pues estos reactores metanogénicos secundarios cumplen 2 funciones; terminar de estabilizar el efluente del reactor UASB (reactor principal) y complementar la producción y almacenamiento del biogás.

2.8. Filtros de limpieza del biogás

Se tiene un filtro para retención de ácido sulfhídrico H_2S y filtro de recuperación de agua (sistema condensador).

El filtro para retención de ácido sulfhídrico H_2S es un cartucho de PVC que contiene limadura de hierro en su interior.

El filtro de recuperación de agua está construido con tubería de PVC de diferentes diámetros, funciona como un sistema condensador y por la válvula inferior se puede retirar la humedad presente en el biogás.

2.9. Almacenamiento del biogás

El biogás producido en el sistema se dirige por medio de tubería PVC de 2 pulgadas y se almacena en un tanque horizontal de almacenamiento de biogás a baja presión en acero inoxidable que tiene 30 m³ de volumen total.

2.10. Sistema de preimpulsión

Se usa un pre-impulsor para darle presión al biogás almacenado y para conectar con las necesidades energéticas de la planta de sacrificio.

Este equipo es el encargado de tomar el biogás producido en el sistema de biodigestión que se encuentra a 18 mbar y llevarlo hasta 100 mbar, por medio del tanque pulmón y de la tubería que queda disponible para ser instalada cuando se defina el aprovechamiento térmico del biogás.

2.11. Tanque de almacenamiento de efluente estabilizado (tanque Biol)

Es un tanque cónico de 5000 litros Rotovel, para el almacenamiento de efluente estabilizado.

3. OPERACIÓN DE LA PLANTA

A continuación, se hace una descripción de las operaciones individuales discriminadas por componente del sistema.

3.1. Captación y conducción

La operación de este sistema coincide con las actividades de limpieza de corrales y la limpieza de la planta luego de las operaciones de sacrificio.

Eventualmente la red puede recibir las aguas lluvias que caen en los corrales expuestos. La red funciona por gravedad.

3.2. Sistema de Solubilización-Hidrólisis

Se tiene una pasarela para la inspección y el mantenimiento del sistema.

La operación está automatizada, sin embargo, es importante verificar que el funcionamiento esté acorde con la programación establecida.

3.3. Sistema de Bombeo I (bomba sumergible)

El bombeo se realiza de acuerdo a un programa de operación establecido a partir de los niveles medidos en el influente del sistema.

La operación está automatizada, sin embargo, es importante verificar el funcionamiento cuando se suba el nivel.

Las bombas nunca deben bombear aire, ya que están diseñadas para líquidos, permitir que se queden sin líquido recorta sustancialmente su vida útil.

Nunca permita que trabajen en seco y revise los sifones al ingreso de las bombas.

Para iniciar cualquier bombeo es fundamental garantizar que todas las válvulas en la tubería por las cuales circulará líquido estén abiertas con el fin de no afectar las bombas.

3.4. Tanque pulmón

El tanque tiene un flotador de control de nivel que activa el funcionamiento de la bomba sumergible instalada en el sistema de solubilización.

La operación está controlada por las bombas de entrada (bomba sumergible) y salida (bomba peristáltica).

Verificar que el tanque siempre tenga líquido.

En el caso de encontrar el tanque sin líquido se debe revisar la bomba sumergible.

3.5. Sistema de Bombeo II (bomba peristáltica)

El programa de operación se establece con la tasa de carga orgánica (ORL), calculada para el sistema de metanogénesis (reactor primario) de acuerdo a los tiempos de residencia hidráulica y el caudal de influente disponible.

El tablero de control de la bomba peristáltica se deja programado para que en modo automático esta prenda 15 minutos y apague 45 minutos, este ciclo se repetirá constantemente mientras el equipo se encuentre en modo automático.

Con esta programación este equipo alimentará controladamente durante 24 horas la materia orgánica soluble obtenida en la etapa anterior.

Las bombas nunca deben bombear aire, porque desestabilizan el sistema biológico al interior del reactor metanogénico.

Nunca permita que trabajen en seco y revise los sifones al ingreso de las bombas.

Para iniciar cualquier bombeo es fundamental garantizar que todas las válvulas en la tubería por las cuales circulará líquido estén abiertas con el fin de no afectar las bombas.

3.6. Reactor metanogénico primario

El sistema funciona de forma continua. El volumen de influente desplazará el mismo volumen al interior del reactor, generando una cantidad de efluente líquido que sale por el rebose lateral hacia el tanque de almacenamiento de efluente (volumen líquido que entra = volumen líquido que sale).

El efluente del reactor UASB se traslada mediante tuberías a dos reactores secundarios tipo pistón para su estabilización.

Se debe realizar un monitoreo trimestral de los puntos de muestreo para establecer el nivel de lodos en el reactor. Esta operación implica la apertura de las válvulas laterales y el punto inferior de descarga.

3.7. Reactores secundarios

El sistema de reactores secundarios funciona de forma continua. El volumen de influente, desplazará el mismo volumen al interior del reactor, generando una cantidad de efluente líquido que sale hacia el tanque de almacenamiento de efluente (volumen líquido que entra = volumen líquido que sale).

3.8. Filtros de limpieza del biogás

Este es un sistema que opera de manera continua.

El control de su funcionamiento se hace mediante la revisión periódica de la limadura de hierro en su interior.

Se debe garantizar la hermeticidad de los filtros, para hacer la inspección y comprobar esta hermeticidad se aplica agua jabonosa y se observa la posible aparición de burbujas para identificar posibles fugas de biogás.

3.9. Almacenamiento del Biogás

Las válvulas de salida de biogás siempre deben estar abiertas.

Se debe hacer inspección visual del sistema para identificar fracturas o cambios en la apariencia de sus partes.

3.10. Sistema de Pre-impulsión

Este equipo tiene un tablero de control.

El sistema está programado para regular la presión de carga y descarga del sistema. Se recomienda pedir asistencia para cualquier cambio en la programación del sistema.

3.11. Tanque de Almacenamiento de Efluente Estabilizado (tanque Biol)

Se debe programar el transporte y la logística para entregar a los cultivos efluente estabilizado (tanque Biol).

4. MANTENIMIENTO DE LA PLANTA

A continuación, se presentan las actividades de mantenimiento para cada etapa del proceso.

4.1. Captación y conducción

Revisar obstrucciones mediante inspección de las cajas de control.
Revisar niveles.

4.2. Sistema de solubilización-hidrólisis

Limpieza bimensual del tanque.
Lubricación de partes móviles.
Limpieza de conexiones eléctricas.

4.3. Sistema de bombeo I (bomba sumergible)

Realizar inspección visual de las bombas semanalmente.
Verifique el estado de las carcasas.

4.4. Tanque pulmón

Limpieza bimensual.
Revisión de obstrucciones.

4.5. Sistema de bombeo II (bomba peristáltica)

Realizar mantenimiento a las bombas semanalmente.
Verifique el estado de la manguera de la bomba peristáltica
Revisar el nivel de glicerina.
Se debe verificar que el nivel de glicerina esté en la marca que se encuentra en el lateral de la bomba.
Se debe verificar el color y la viscosidad de la glicerina.
Si la glicerina está oscura o si la viscosidad es alta se debe cambiar la glicerina.

4.6. Reactor metanogénico primario

Limpieza general con jabón suave.

4.7. Reactores Metanogénicos Secundarios

Inspección visual, revisar superficies externas y verificar que no tenga rotos

Revisar la conformación del perímetro, para evitar desmoronamientos.

4.8. Filtros de limpieza del biogás

El contenido de los filtros se debe revisar mensualmente, si presenta un color negro debe ser remplazada la limadura de hierro.

Es posible regenerar la limadura de hierro gastada dejándola expuesta al aire hasta que se oxide, tornándose del color característico del hierro oxidado,

El filtro de recuperación de agua debe ser drenado semanalmente.

4.9. Almacenamiento del biogás

Lavar con agua utilizando jabones suaves. No lavar con detergentes ni blanqueadores. Evitar contacto con disolventes.

No arrastrar durante su manipulación.

4.10. Tanque de almacenamiento de efluente estabilizado (tanque Biol)

Limpieza general con jabón suave.

5. CONTROL DE LA PLANTA

En principio se debe hacer una inspección general diaria, que consiste en verificar el adecuado funcionamiento de todos los componentes de la planta.

Para el funcionamiento adecuado del sistema, trimestralmente, se deben tomar muestras de la salida del tanque pulmón y salida de los reactores metanogénicos primario y secundarios, para analizar la carga orgánica (Demanda Química de Oxígeno DQO, sólidos volátiles SV, pH, ácidos grasos Volátiles y Alcalinidad), además de medir la producción de biogás y producción de lodos en el reactor metanogénico. Estas muestras deben ser enviadas a un laboratorio certificado.

Cualquier problema eléctrico debe ser reportado y se debe contratar un profesional idóneo para su reparación.

6. PERSONAL

El personal requerido para la operación del sistema debe poder cumplir con las siguientes funciones:

Coordinador

- Atender las eventualidades que puedan surgir en cuanto a operación del biodigestor, disponibilidad y calidad de materia prima.
- Supervisar periódicamente las condiciones de operación del sistema y el control a la generación de biogás.
- Coordinar asuntos técnicos, administrativos y logísticos.

Técnico operario

- Hacer la operación rutinaria del sistema bajo la supervisión del coordinador
- Llevar el registro de alimentación y producción del sistema.
- Reportar oportunamente al coordinador las eventualidades y posibles inconvenientes del sistema.

7. RECOMENDACIONES DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

El contacto frecuente con residuos orgánicos con los que se alimenta el sistema y los procesos de transformación de estos residuos en el sistema, hace necesario considerar algunos riesgos que van asociados a esta operación.

A continuación, se abordará primero un panorama general de los riesgos asociados al trabajo con biodigestores. Segundo, se hará referencia a los elementos de protección personal usados para este trabajo.

7.1. Riesgos laborales

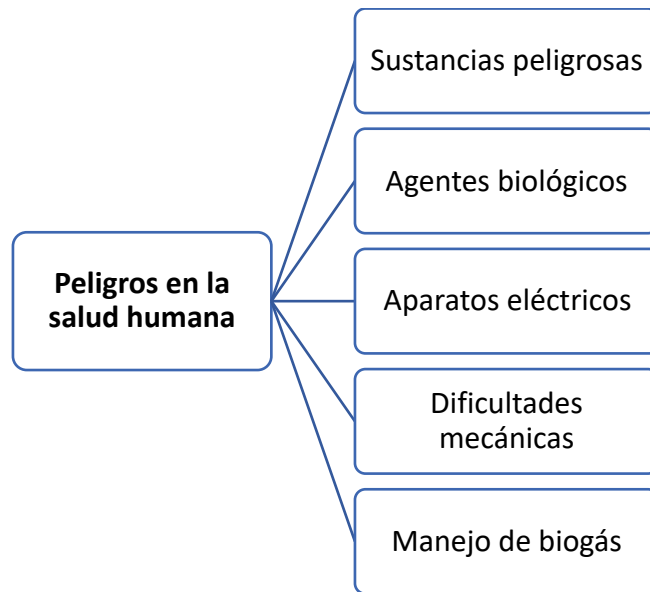
7.1.1 Riesgo fisicoquímico: Mediante el proceso de obtención de biogás se pueden tener una serie de riesgos como lo son: riesgo de asfixia y/o intoxicación por gases de fermentación/biogás en áreas de recepción de sustrato, liberación de gases altamente tóxicos y peligros que se producen durante la sustitución de los filtros de limadura de hierro.

7.1.2 Riesgo ergonómico: Este riesgo se genera debido a que la alimentación y funcionamiento del biodigestor requieren que el trabajador tenga una repetitiva que podría generar alteraciones en la salud del empleado. Para el sistema operacional es necesario realizar la carga de biomasa residual al equipo; para mitigar el riesgo ergonómico se debe atender a la recomendación que se da en el código del trabajo, específicamente, artículo 211-H “El peso máximo que los trabajadores pueden manipular manualmente es de 25 kilos. Se prohíbe manipulación manual de carga y descarga para mujeres embarazadas. Los menores de 18 años y mujeres no pueden llevar, transportar, cargar, arrastrar o empujar de manera manual, sin ayuda mecánica, cargas mayores a 20 kilos.”

Para minimizar la probabilidad de dichos riesgos laborales, es importante que el empleado porte con disciplina cada uno de los elementos de protección personal que se mencionarán a continuación. Adicionalmente, como control en la salud se le realizarán una serie de exámenes ocupacionales (iniciales, periódicos y de retiro), con el fin de evaluar su condición de salud, según corresponda a las políticas de la empresa.

7.2. Peligros en la Salud Humana por Sustancias Químicas

Los peligros para la salud que se derivan de las sustancias contenidas en el biogás también deben ser tenidos en cuenta, así mismo, en la operación del proceso se pueden dar diferentes procedimientos que representan riesgo de alterar la salud del empleado.



- **Sustancias peligrosas:** Estas pueden ser de tipo: “nocivo para la salud”, “tóxico”, “muy tóxico”, “corrosivo”, “sensibilizante” y “cancerígeno”. Algunas de estas características van de la mano de todo el procedimiento para la obtención del biogás, asociados a la materia prima que se utiliza para alimentar los reactores (biomasa en descomposición con alta carga orgánica y presencia de microorganismos patógenos). Dentro de estas sustancias peligrosas se pueden encontrar diferentes riesgos, como lo son:
 - Riesgo de asfixia y/o intoxicación por gases de fermentación/biogás en áreas de recepción de sustrato.
 - Peligros asociados al uso de aditivos y materiales auxiliares con propiedades peligrosas.
- **Agentes biológicos:** La carga microbiana contenida en el sustrato es muy alta, la inhalación de estos agentes biológicos a través del tracto respiratorio, el contacto mano-boca, el contacto piel/membranas mucosas, los cortes y las heridas profundas, puede causar diferentes alteraciones en la salud del empleado.
- **Peligros derivados de aparatos eléctricos:** Se debe tener un especial cuidado en el manejo de equipos que para su uso requieran electricidad, puesto que se podría presentarse una descarga eléctrica.
- **Peligros mecánicos:** Estos peligros no son especialmente generados por los equipos de molienda y transporte de sólidos, por lo tanto, se debe tener cuidado con impactos, contusiones, cortes, que puedan afectar la salud.

- **Peligros originados por el biogás:** La exposición constante de un empleado a los diferentes gases que componen el biogás puede generar una serie de complicaciones para la salud humana.
- **Peligros de explosión e incendio:** Cuando el biogás entra en contacto con el oxígeno del aire, se forma una atmósfera explosiva, que no es otra cosa que una atmósfera donde hay probabilidad de explosión. Para que una atmósfera sea explosiva, la concentración de biogás presente en dicha atmósfera debe ser significativa. De cualquier forma, el riesgo de incendio si permanece, y debe preverse, ya que puede darse por la presencia de chispas, rayos u otras fuentes cercanas de ignición.

7.3. Elementos de Protección Personal para el Manejo del Biodigestor

Botas pantaneras con punta de acero



Guantes de seguridad (dependiendo de la función)



Gafas de protección 3M REF 1712



Traje antifluido protección biológica



Protector auditivo



A continuación, se detalla el equipo de protección personal necesario y la función que cumple cada uno de ellos:

- *Calzado de Seguridad:* utilizado para evitar permeabilidad de químicos o aguas contaminadas, posibles caídas, golpes y otros riesgos. Sirve para la protección de pies y piernas.
- *Guantes de Seguridad:* protegen manos y antebrazos. En su preferencia se requieren guantes largos que amplifiquen la zona protegida.
- *Gafas de Seguridad:* utilizadas para proteger los ojos, deben poseer cubiertas laterales, evitando cualquier tipo de contacto al ojo ya sea de gases, líquido o material particulado.
- *Traje antifluido:* Vestimenta adecuada para evitar cualquier tipo de permeabilización de sustancia que puedan alterar la salud o comodidad del empleado.
- *Protección auditiva:* son equipos de protección individual que, gracias a sus propiedades para la atenuación del sonido, logran reducir los efectos que tiene el ruido en nuestra audición, ya que obstaculizan la trayectoria de las fuertes vibraciones hacia nuestro canal auditivo.

8. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

El laboratorio GIEM de la Universidad de Antioquia, está dispuesto a brindar asesorías en este tema para asegurar el adecuado funcionamiento de la planta. En caso de algún problema o duda comunicarse con el personal de la Universidad de Antioquia, en caso de alguna duda con la operación o mantenimiento de los equipos. Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM), teléfono 6042195609, serviciosgiem@udea.edu.co.