

**PROPUESTA PARA REACTIVAR Y MEJORAR EL SISTEMA
BIODIGESTOR DEL PARQUE “MUNDO AVENTURA”**

**ANGIE KATHERINE CALDERON SANCHEZ
DIEGO ANDRES PIRATOVA**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2017**

**PROPUESTA PARA REACTIVAR Y MEJORAR EL SISTEMA
BIODIGESTOR DEL PARQUE “MUNDO AVENTURA”**

**ANGIE KATHERINE CALDERON SANCHEZ
DIEGO ANDRES PIRATOVA**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Director
CAMILO ALBERTO TORRES PARRA
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2017**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., Noviembre de 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	13
1.1. ANTECEDENTES.....	13
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. Descripción del problema.	15
1.2.2. Formulación del problema.	18
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. Objetivo general.	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	19
1.5. DELIMITACION	21
1.6. MARCO REFERENCIAL	21
1.6.1. Marco teórico.....	21
1.6.2. Marco conceptual.	31
1.6.3. Marco legal.....	34
2. METODOLOGÍA.....	36
2.1. METODOLOGIA A DESARROLLAR	37
2.1.1. Objetivo 1:	37
2.1.2. Objetivo 2:	38
2.1.3. Objetivo 3:	38
2.1.4. Objetivo 4:	39
2.2. PROCEDIMIENTO	39
2.2.1. Situación actual del parque Mundo Aventura.	39
2.2.2. Configuración geométrica de la estructura.	47

2.2.2.1.	Ubicación.	47
2.2.2.2.	Tipo de modelo.....	49
2.2.2.3.	Temperatura y tiempo de retención.....	49
2.2.2.4.	Proceso de recolección.	49
2.2.2.5.	Proceso de digestión.....	49
2.2.2.6.	Cámara de fermentación.....	49
2.2.2.7.	Dimensiones estructurales.	51
2.2.3.	Análisis y diseño estructural del sistema de biodigestor.....	55
2.2.4.	Costos, beneficios y limitaciones de la implementación del sistema	59
2.2.4.1.	Costos.	59
2.2.4.2.	Beneficios.....	65
2.2.4.3.	Limitaciones.	66
2.2.5.	Variables.....	66
2.2.6.	Población.....	67
2.2.7.	Fuentes.....	67
2.2.7.1.	Primarias.	67
2.2.7.2.	Secundarias.	67
2.2.8.	Instrumento.....	67
3.	RESULTADOS	68
3.1.	RESULTADOS ANALISIS ESTRUCTURAL	69
3.2.	RESULTADOS RED DE DISTRIBUCION	74
3.3.	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	75
4.	CONCLUSIONES.....	77

5. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Demanda de energía primaria mundial entre 1971 y 2008 expresada en unidades de energía llamadas Mtoe por sus siglas en inglés Million of tonne of oil equivalent. (Nota: 1 toe = 10 millones de calorías).....	16
Figura 2. Esquema del proceso de fermentación continua	23
Figura 3. Esquema del proceso de fermentación por lotes	25
Figura 4. Componente de un biodigestor	28
Figura 5. Tipos de biodigestores según su forma y frecuencia de carga	29
Figura 6. Parque Mundo Aventura	40
Figura 7. La Granja del Parque Mundo Aventura.....	41
Figura 8. Compost producido en La Granja del Parque Mundo Aventura...	42
Figura 9. Cocheras del Parque Mundo Aventura	42
Figura 10. Cámara de recolección del Biodigestor del Parque Mundo Aventura	43
Figura 11. Tubería de entrada de materia orgánica hacia el biodigestor y cámara de desagüe	43
Figura 12. Ubicación actual del biodigestor	44
Figura 13. Biodigestor del Parque Mundo Aventura	45
Figura 14. Representación gráfica del Biodigestor actual del Parque Mundo Aventura según ficha técnica del fabricante	46
Figura 15. Reactor del Biodigestor del Parque Mundo Aventura	46
Figura 16. Localización del Biodigestor del Parque Mundo Aventura	48
Figura 17. Modelo propuesto de Biodigestor para el Parque Mundo Aventura	51
Figura 18. Diseño estructural del Biodigestor	52
Figura 19. Corte Cámara de recolección	53

Figura 20. Corte Cámara de digestión	54
Figura 21. Corte Cámara del biodigestor	54
Figura 22. Corte Cámara de descarga.....	55
Figura 23. Modelamiento de la estructura 3-D en SAP-2000.....	56
Figura 24. Presión Lateral del Suelo sobre la estructura (EH), SAP 2000..	57
Figura 25. Sobre carga del Suelo sobre la estructura (ES), SAP 2000.....	57
Figura 26. Presión de Lodo sobre la estructura (WA), SAP 2000	58
Figura 27. Refuerzo planta de muros.....	58
Figura 28. Esfuerzos Placa de Fondo, Momento dirección 1	69
Figura 29. Esfuerzos Placa de Fondo, Momento dirección 2.....	69
Figura 30. Esfuerzos Placa de Fondo, Cortante dirección 1-3.....	70
Figura 31. Esfuerzos Placa de Fondo, Cortante dirección 2-3.....	70
Figura 32. Esfuerzos Muros, Momento dirección 1	71
Figura 33. Esfuerzos Muros, Momento dirección 2.....	72
Figura 34. Esfuerzos Muros, Cortante dirección 1-3.....	72
Figura 35. Esfuerzos Muros, Cortante dirección 1-3.....	73
Figura 36. Desplazamientos dirección (x)	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del Biogás	22
Tabla 2. Características de los principales biodigestores	31
Tabla 3. Valores para el volumen de concreto estructural	60
Tabla 4. Valores para el volumen de concreto pobre.....	60
Tabla 5. Costo total Concreto estructural.....	61
Tabla 6. Costo total Concreto de limpieza o pobre	61
Tabla 7. Cantidad de Acero Requerido.....	62
Tabla 8. Costo total de Acero.....	63
Tabla 9. Costo total red de distribución.....	64
Tabla 10. Costo de materiales General	65
Tabla 11. Resumen de Esfuerzos Placa de fondo	71
Tabla 12. Resumen de Esfuerzos Muros.....	73
Tabla 13. Valor de desplazamientos x, y	74

INTRODUCCIÓN

El gas natural, cuyo componente es el metano es uno de los recursos más utilizados hoy en día. Dentro de sus usos se destaca el consumo doméstico como combustible para la calefacción y para la cocina. A nivel industrial, es utilizado para la producción de hidrógeno, metanol, ácido acético y anhídrido acético. Las principales fuentes de emisión del gas metano se encuentran en lugares donde hay combustible fósil; en los pantanos; en los estiércoles tanto humanos como de animales y en la descomposición de residuos orgánicos.

Para contribuir con el buen uso de este recurso, se han desarrollado estudios en los cuales se plantean sistemas alternativos para la producción y uso de gas metano. Unos son diseñados para satisfacer necesidades específicas de una comunidad. Otros manejan presupuestos muy altos cuya implementación se torna muy difícil de concretar. Este proyecto nace bajo la necesidad de crear mecanismos que permitan mejorar los sistemas biodigestores actuales, teniendo como referencia las experiencias de otros autores en este campo.

El tema de investigación presentado en este estudio corresponde a la formulación de una propuesta para reactivar y mejorar el biodigestor del parque “Mundo Aventura” en cuanto a infraestructura y producción de biogás. De la misma manera, con éste proyecto se busca aprovechar de forma más eficiente los residuos de estiércol producto de los animales del corral y generar energía renovable que disminuya la contaminación del medio ambiente. Proporcionando así, un adecuado uso al recurso y una disminución de los gastos generados por dicho consumo. Éste proyecto plantea entonces, cuatro aspectos principales: a) la evaluación de situación actual que tiene el parque Mundo Aventura para el manejo de los residuos de estiércol producto de los animales del corral, b) el diseño de un modelo para la mejora del sistema actual para optimizar el aprovechamiento de los residuos de estiércol producto de los animales del corral, c) la evaluación de producción de gas metano de acuerdo a la cantidad de estiércol recogido y d) la estimación del presupuesto para la construcción del sistema planteado.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó en primer lugar una revisión de estudios previos sobre sistemas de aprovechamiento de los residuos de estiércol producto de los animales del corral para la generación de gas metano a través de la construcción de biodigestores. De la misma manera, se investigó sobre la teoría relacionada con la temática de investigación, así como sobre las diferentes metodologías para la construcción de este tipo de sistemas. A la par con lo anterior, se realizó una visita de campo al parque Mundo Aventura, con el ánimo de identificar la situación actual del parque en cuanto al manejo de los residuos de estiércol producto de los animales del corral, así como las características del biodigestor existente. Con esta información, se diseñó una propuesta de un sistema de mejoramiento del biodigestor del parque Mundo Aventura.

Como resultado final de esta investigación se construyó propuesta de un sistema de mejoramiento del biodigestor del parque Mundo Aventura. Los datos obtenidos arrojan que bajo el sistema propuesto se logra alcanzar la utilización de 40% de la capacidad libre del biodigestor con el uso de los residuos de estiércol producidos por los animales de cuatro patas dentro de la granja del parque Mundo Aventura. Sin embargo, el modelo propuesto tiene la capacidad de recibir 75% de la capacidad libre del digestor con de los residuos de estiércol producto de los animales del corral. Donde se estaría utilizando al 100% la capacidad libre del modelo de geomembrana propuesto.

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

A continuación, se presenta una descripción de los antecedentes relacionados con el tema central de este estudio.

Un caso exitoso del uso de biodigestores es Bolivia. Entre octubre de 2005 y 2010, la Cooperación Técnica Alemana – GTZ desarrolló un proyecto para la construcción de biodigestores familiares en la región de Palca del departamento de La Paz, a más de 4.200 m sobre el nivel del mar, con el cual, más de 1.000 familias se vieron beneficiadas. Esto se hizo dentro del Programa de Desarrollo Agropecuario Sostenible (PROAGRO) a través del Componente Acceso a Servicios Energéticos y tuvo como objetivo hacer de los biodigestores familiares una herramienta más dentro de los usos productivos de las familias del área rural de Bolivia, donde el conocimiento sea transferido de campesino a campesino, sin dependencia exterior¹.

Como resultados de este proyecto, se construyó un biodigestor que produce gas suficiente para cocinar 4-5 horas al día, alimentado con 20 kg de estiércol fresco y 60 litros de agua diariamente; produce además 80 litros de fertilizante al día. Así mismo, se construyó una guía de diseño y manual de instalación de biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para el trópico, valle y altiplano. Este es, a la fecha, el biodigestor más alto del mundo en funcionamiento².

Otro caso importante a destacar es el de la planta de tratamiento de Aguas Claras, en el municipio de Bello, Antioquia. A partir del tratamiento de los lodos resultantes de las aguas fecales, se construyeron 3 tanques de biogás con una capacidad neta de almacenamiento de 6000 m³ cada uno. Actualmente, los gasómetros generaran un 30% de la energía eléctrica que

¹ HERRERO, Jaime. Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para el trópico, valle y altiplano. La Paz, Bolivia: Cooperación Técnica Alemana – GTZ. 2010.

² *Ibíd.*

necesitará la planta para funcionar³.

En el parque nacional de la cultura agropecuaria PANACA, ubicado en el municipio de Quimbaya, Quindío, existe un biodigestor para el tratamiento de las aguas residuales de la estación porcicultura cuyo fin de disminuir la carga orgánica contaminante del lugar. De este proceso se obtiene gas natural utilizado en la calefacción de lechones y abono orgánico utilizado en los cultivos y jardines del parque⁴.

Otro trabajo a destacar es el Pérez⁵. Este estudio tuvo como objetivo diseñar un biodigestor que cumpliera con las necesidades energéticas de los pequeños ganaderos y lecheros presentes en las zonas rurales del sur de Chile y que se convirtiera en una técnica económicamente viable. Dentro de los resultados obtenidos se muestra que con un mínimo de 20 animales es posible generar energía eléctrica del orden de 4,4 [kWH] y ser aprovechada a través de un generador eléctrico alimentado con biogás. Así mismo se observa que este proyecto permite recuperar la inversión al cabo de 3 años.

Jiménez⁶, realizó un programa sobre el manejo de impactos ambientales de la granja porcícola Monterrey del corregimiento de Arabia, Municipio de Pereira. Dentro de los resultados se encontró que la mejor alternativa para el manejo de los impactos ambientales identificados es el biodigestor plástico para el tratamiento de las aguas residuales de los corrales de cría. Con la implementación de este se obtuvo beneficios adicionales en la presión sobre los recursos (caso calentamiento lechones), contaminación del suelo por efecto de la mala disposición de aguas residuales y a la par en el problema de la generación de olores por estas aguas.

³ RANGEL, Samuel. Tanques de almacenamiento de Biogás (gasómetros). En: Otra Mirada. Abril, 2007. Vol.1, no. 11, p. 3.

⁴ CRUZ, Diana. Estrategia de educación ambiental para el Parque Nacional de la Cultura Agropecuaria – PANACA S.A. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. 2011.

⁵ PÉREZ, Javier. Estudio y diseño de un biodigestor para la aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile. 2010.

⁶ JIMÉNEZ, Diana. Programa de manejo de impactos ambientales en la granja porcícola Monterrey. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. 2010.

De los antecedentes presentados se puede observar que el biodigestor es una herramienta que puede minimizar los impactos ambientales producidos por el mal manejo de la materia orgánica y generar su aprovechamiento en energías limpias y renovables. Por tal razón, es de vital importancia que le biodigestor del parque Mundo Aventura entre en funcionamiento nuevamente para ayudar al manejo de los residuos orgánicos producidos por los animales de la granja.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Descripción del problema.

Los grandes cambios demográficos y el creciente aumento en el tamaño de la población son un factor que afecta seriamente a la producción y uso de la energía en el planeta. El aumento del consumo energético, junto con las emisiones de gases de efecto invernadero son una de las mayores causas del cambio climático que se vive en la actualidad.

La transformación, el transporte y el uso final de la energía, tanto en la industria como en los hogares y medios de transporte, son el origen de la mayoría de las emisiones causadas por el hombre de CO₂. Esto genera importantes impactos medioambientales tales como: emisiones atmosféricas y contaminación de aguas y suelos gracias a la explotación de los yacimientos; las mareas negras, producto del proceso de transporte y distribución de la energía para su consumo; formación de CO₂, principal gas de efecto invernadero, y a la emisión de otros gases y partículas contaminantes que afectan la salud, generados por el abastecimiento energético, a partir de las energías fósiles⁷.

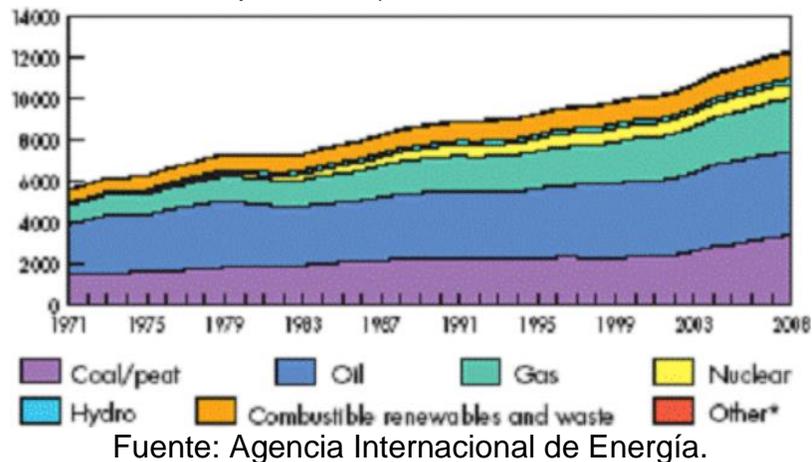
Otro factor importante a tener en cuenta es el estilo de vida que llevan la mayoría de seres humanos hoy en día: *“Gracias a la energía es posible tener un estilo de vida que sería imposible disfrutar si no dispusiésemos de ella”*⁸. El aumento en el uso de los aparatos electrónicos es cada vez mayor y la falta de educación sobre el uso estos son también causas del incremento de

⁷ ECOINTELIGENCIA. Consecuencias de un consumo energético insostenible [en línea]. Bogotá: RES [citado 6 OCTUBRE, 2017]. Disponible en Internet: <https://www.ecointeligencia.com/2013/04/consecuencias-consumo-energetico-insostenible/>

⁸ Ibíd.

la demanda energética en las últimas décadas⁹. Según un informe de la Agencia Internacional de Energía, en el 2008 el consumo superó el doble del correspondiente a los primeros años de los setenta. Este incremento hizo que la producción de los combustibles fósiles no cesara, y fuera superior a la de otras fuentes como la nuclear y la hidroeléctrica. Estos resultados han conducido a que en la actualidad el uso del recurso fósil llegue a ser algo más del 80 % del consumo mundial total¹⁰.

Figura 1. Demanda de energía primaria mundial entre 1971 y 2008 expresada en unidades de energía llamadas Mtoe por sus siglas en inglés Million of tonne of oil equivalent. (Nota: 1 toe = 10 millones de calorías)



Para el caso de Colombia, en abril de 2017 se presentó un incremento en consumo residencial y pequeños negocios de 3.32%. Así mismo, la demanda dentro del mercado de industria y comercio creció un 1,23%¹¹. Según la Unidad de Planeación Minero Energética o UPME, para el 2030 se estima que la demanda de energía eléctrica tenga un crecimiento promedio de

⁹ ATREYA, B; LAHIRY, D; GIL, J. Educación ambiental: modulo para la formación de profesores y supervisores en servicio para las escuelas primarias. Nueva Delhi, India: Unesco-PNUMA Programa Internacional de Educación Ambiental. 1989.

¹⁰ PASQUEVICH, Daniel. La creciente demanda mundial de energía frente a los riesgos ambientales. Buenos Aires, Argentina: Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, Comisión Nacional de Energía Atómica. 2013.

¹¹ PORTAFOLIO. Consumo de energía retomó su crecimiento. En: Portafolio. Bogotá, Colombia. 15 de Mayo de 2017.

2.99%¹².

Según el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), la proporción de orgánicos sobre los residuos sólidos urbanos alcanza el 55% de la producción per cápita (ppc)¹³. El no tratar éstos residuos de forma adecuada puede generar altas cargas contaminantes. Así mismo, en el caso de Bogotá, la vida útil de los rellenos sanitarios es cada vez más corta debido a la gran cantidad de desechos que genera la ciudad diariamente. Por lo tanto, los sitios para la disposición de los residuos orgánicos es cada vez menor¹⁴.

Dentro de la problemática del presente trabajo también se destaca la situación actual del parque Mundo Aventura en cuanto al manejo de los residuos de estiércol producto de los animales del corral y al mantenimiento de los animales, específicamente de los cerdos. Este establecimiento tiene una granja auto sostenible conformada con aproximadamente 70 animales. Así mismo, el parque cuenta con biodigestor que transforman el excremento producido por las especies, en gas metano, el cual es aprovechado y utilizado en la calefacción de lechones, abono en zonas vegetales del parque y en la cocina del mismo. Sin embargo, no todos los residuos de estiércol producto de los animales del corral son utilizados con este fin.

Hoy en día el parque Mundo Aventura genera 900 kg/día de materia orgánica producto de los residuos de estiércol producidos por los animales del corral, de los cuales solo se usa el 40%, desaprovechándose el 60%. Esto debido a que el actual biodigestor tiene una capacidad de almacenar y procesar 4.5 kg al día toneladas al día, cantidad inferior a la que genera el parque, lo cual lo hace ineficiente.

Otra situación es que en la actualidad el biodigestor no se encuentra en funcionamiento. Esto representa un grave problema para el parque. Por un

¹² UPME. Proyección de Regional de Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima en Colombia. Bogotá, Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética. 2016.

¹³ JARAMILLO, Gladys; ZAPATA, Liliana. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. 2008.

¹⁴ SEMANA. El incierto futuro de las basuras de Bogotá. En: Semana Sostenible. Bogotá, Colombia. 16 de Marzo de 2017.

lado, tanto los residuos sólidos, como el estiércol generado por los animales de la granja no se están procesando y en ocasiones quedan acumulados, convirtiéndose en un foco de infección, olores y moscas, que, si no se trata adecuadamente, puede convertirse en una problemática ambiental. En la actualidad, sólo una parte del estiércol producido por los animales es utilizada para compost, el cual, al cabo de tres meses es utilizado como abono orgánico en la huerta.

1.2.2. Formulación del problema.

¿A través de la reactivación y el mejoramiento del sistema biodigestor del parque Mundo Aventura se puede explotar en su totalidad los residuos de estiércol producto de los animales del corral y contribuir así a la solución de la problemática en estudio?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general.

Diseñar una propuesta para la puesta en funcionamiento del biodigestor del parque “Mundo Aventura”, con el fin de optimizar la recolección, uso y aprovechamiento de los residuos de estiércol producto de los animales de corral.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Analizar la situación actual que tiene el biodigestor del parque Mundo Aventura para el manejo de los residuos de estiércol producto de los animales de corral e identificar si es posible su reactivación y puesta en funcionamiento.
- Determinar la configuración geométrica de la estructura propuesta para la reactivación y funcionamiento del biodigestor.
- Desarrollar el análisis y diseño estructural del sistema de biodigestor propuesto para el parque Mundo Aventura como una alternativa para optimizar el aprovechamiento de los residuos de estiércol producto de los animales de corral.

- Estimar los costos, beneficios y limitaciones de la implementación de un sistema de mejoramiento del biodigestor actual del parque Mundo Aventura.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente América Latina y el Caribe están enfrentando una serie de cambios en el sector energético¹⁵. Los países de la región han visto la necesidad de buscar nuevas alternativas de generación de energía para mitigar los problemas ambientales producto del uso de energías destructivas del medio ambiente y de la intervención del hombre para la satisfacción de sus necesidades y aspiraciones¹⁶.

Debido a esto, los países están enfrentando desafíos para aumentar su eficiencia energética y la proporción de energía renovable de forma segura e ininterrumpida. Esto va de la mano de una ética ambiental que lleve a la toma de consciencia de las limitaciones, de las capacidades de carga de los recursos ambientales, y de los medios de contrarrestar las tendencias destructivas del medio ambiente¹⁷.

En Colombia, hoy en día el 70% de la energía generada proviene de las hidroeléctricas. Sin embargo, debido a los fenómenos climáticos propios de la región, este porcentaje no siempre es el mismo, por lo que depender de esta fuente se ha convertido en un riesgo nacional¹⁸.

Según datos de Ser Colombia, que agrupa a más de 23 compañías trabajando en las energías renovables, el 93% de la explotación y producción

¹⁵ PAREDES Juan; RAMIREZ John. Energías renovables variables y su contribución a la seguridad energética: complementariedad en Colombia. Bogotá, Colombia: Banco Interamericano de Desarrollo BID. 2017.

¹⁶ ATREYA, B; LAHIRY, D; GIL, J. Educación ambiental: modulo para la formación de profesores y supervisores en servicio para las escuelas primarias. Nueva Delhi, India: Unesco-PNUMA Programa Internacional de Educación Ambiental. 1989.

¹⁷ *Ibíd.*

¹⁸ PORTAFOLIO. Energías renovables, la apuesta que debe hacer el país. En: Portafolio. Bogotá, Colombia. 5 de Diciembre de 2016.

energética proviene de recursos de origen fósil, el 4% de hidroenergía y el 2% de biomasa y residuos (biogás)¹⁹. Debido a esto, resulta necesario complementar la generación de energía con alternativas independientes para cubrir la demanda.

Dentro de estas alternativas se encuentran los biodigestores, sistemas generadores de energía (biogás) a partir del tratamiento de residuos orgánicos, que puede ser utilizada para cocinar, para generar calefacción, entre otros. Los biodigestores se emplean en muchos países en vías de desarrollo²⁰.

Actualmente, el parque Mundo Aventura cuenta con un biodigestor que no se encuentra en funcionamiento y su capacidad es reducida, lo cual ha generado pérdidas de aproximadamente el 60% de la materia orgánica recolectada mensualmente. Debido a esto, desde la gerencia del parque surge la necesidad de plantear un modelo para reactivar y optimizar el funcionamiento del biodigestor.

Debido a lo mencionado anteriormente y las problemáticas expuestas en torno a la situación actual del parque Mundo Aventura sobre el funcionamiento del actual biodigestor y en aras de contribuir desde la academia para dar una solución a estas problemáticas, surge la necesidad de construir una propuesta de un sistema de mejoramiento del biodigestor del parque Mundo Aventura, con el fin de suplir las necesidades esenciales de aprovechar los residuos de estiércol producto de los animales del corral, de generar calefacción en las cocheras y de obtención de energía.

Por medio de esta investigación se busca contribuir y dar solución a la problemática del manejo y aprovechamiento de los residuos de estiércol producto de los animales del corral del parque Mundo Aventura a través de un biodigestor, así como, generar un impacto ambiental positivo. Así mismo, este proyecto beneficiará al parque Mundo Aventura, ayudándole en la crianza y manutención de los cerdos y mejorando el proceso de manejo de los residuos de estiércol producido por los animales del corral.

¹⁹ *Ibíd.*

²⁰ UPME. Colombia apuesta por los biodigestores para generar biogás en las áreas rurales. Bogotá, Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética. 2017.

1.5. DELIMITACION

El alcance de este trabajo va hasta el planteamiento de un modelo para reactivar y mejorar el biodigestor existente en el parque Mundo Aventura. La construcción e implementación del sistema será de tema de otra investigación.

1.6. MARCO REFERENCIAL

1.6.1. Marco teórico.

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que habitan en el estiércol, material vegetativo, residuos orgánicos, lodos, entre otros, para transformarlos en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción, iluminación e incluso como generadores de electricidad²¹.

Esta investigación se enfoca principalmente hacia biodigestores alimentados por estiércol y residuos orgánicos. Para su correcto funcionamiento, los biodigestores deben estar a una temperatura controlada y deben ser cargados periódicamente con la materia fresca mezclada con agua.

Proceso de digestión

La digestión para degradar los residuos orgánicos y/o producir biogás en un proceso microbiano, por lo que necesita condiciones ambientales propicias y un manejo adecuado para que funcione eficientemente el sistema, desde que se carga el digestor hasta la producción del gas y salida del efluente.

La biodigestión es la fermentación realizada por bacterias anaeróbicas sobre la materia orgánica compuesta de un 80% de excretas²². Los productos

²¹ HERRERO, Jaime. Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para el trópico, valle y altiplano. La Paz, Bolivia: Cooperación Técnica Alemana – GTZ. 2010.

²² BOTERO, Raúl; PRESTON Thomas. Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. San José, Costa Rica: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. 1987.

obtenidos de este proceso son el gas (biogás) y el fertilizante orgánico. El biogás contiene otros gases en su composición como son dióxido de carbono (20-40%), nitrógeno molecular (2-3%) y sulfhídrico (0,5-2%), siendo el metano el más abundante con un 60-80%²³. En la Tabla 1 se puede observar la composición química del Biogás.

Tabla 1. Composición química del Biogás

COMPONENTES	FÓRMULA QUÍMICA	PORCENTAJE
Metano	CH ₄	60-70
Gas carbónico	CO ₂	30-40
Hidrógeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Fuente: BOTERO, Raúl; PRESTON Thomas. Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. San José, Costa Rica: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. 1987.

La biodigestión tiene como ventajas²⁴:

- Proporcionar combustible para suplir las principales necesidades energéticas rurales.
- Reducir la contaminación ambiental al convertir los residuos orgánicos, los cuales generan microorganismos patógenos, larvas e insectos, en residuos útiles.
- Producir abono orgánico (bioabono), con un contenido mineral útil para los suelos, los cultivos y para el desarrollo del fitoplancton y del zooplancton.
- Producir fertilizantes residuales libre de microorganismos, huevos parásitos y plantas indeseables.

La biodigestión puede producirse por diversas maneras:

²³ COFUPRO. Manual para la construcción y puesta en marcha de biodigestores [en línea]. México: COFUPRO [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-fpchiuhua/pdf/manual_biodigestores.pdf>

²⁴ BOTERO, Raúl; PRESTON Thomas. Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. San José, Costa Rica: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. 1987.

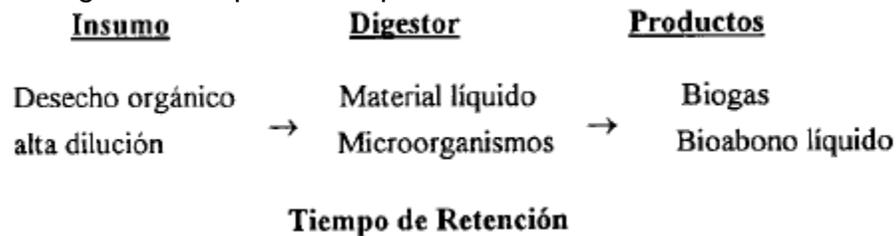
- Por la forma de alimentación:

✓ Fermentación continua:

Cuando la fermentación en el digestor es un proceso ininterrumpido. El efluente que descarga es igual al material que entra y la producción de gas es uniforme en el tiempo. El digestor se carga diaria o cada dos días adicionando nuevas cantidades de lodos frescos²⁵.

La característica más importante es la alta dilución de la carga, de 3 a 5 veces agua/excreta y además su manejo es relativamente fácil, debido al manejo hidráulico del sistema, que puede llegar a no requerir mano de obra en la operación si las condiciones topográficas son favorables²⁶.

Figura 2. Esquema del proceso de fermentación continúa



Fuente: Ibíd.

Estos tipos de biodigestores se usan principalmente para el tratamiento de aguas residuales y su infraestructura es de tipo industrial.

✓ Fermentación semicontinua:

Cuando la primera carga que se introduce, consta de gran cantidad de materiales. A medida que va disminuyendo gradualmente el rendimiento del gas se agregan nuevas materias primas y se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad²⁷.

²⁵ GUEVARA, Antonio. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 1996.

²⁶ Ibíd.

²⁷ Ibíd.

El sustrato a degradar ocupa el 80% del volumen en el digestor, mientras que el resto de volumen (20%) es reservado para realizar cargas continuas diarias o intermedias. Esta operación tiene las ventajas que incrementa la calidad del bioabono debido a la adición continua de materia rica en nutrientes.

Debido a que el suministro de lodos frescos no es constante, el proceso se hace bastante largo. Por esta razón en la práctica se acelera mediante la utilización y el control de factores favorables²⁸.

Este tipo de digestor es el más usado en el medio rural para uso doméstico. Presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 a 1 volumen de gas por volumen de digestor, y aún más²⁹.

✓ Fermentación discontinua o batch:

Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible³⁰. Se construye a base de tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. La producción de biogás en este tipo de digestores es de 0,5 a 1,0 m³ biogás/m³ digestor.

Este sistema se usa especialmente cuando se tiene la materia a procesar de forma intermitente. Requiere de una batería de digestores que se cargan a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante. Este tipo de digestor es útil a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas.

✓ Fermentación por lotes:

²⁸ Ibíd.

²⁹ SOLUCIONES PRÁCTICAS ITDG. Ficha técnica Biodigestores [en línea]. Lima: SOLUCIONES PRÁCTICAS [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/604/5258 >

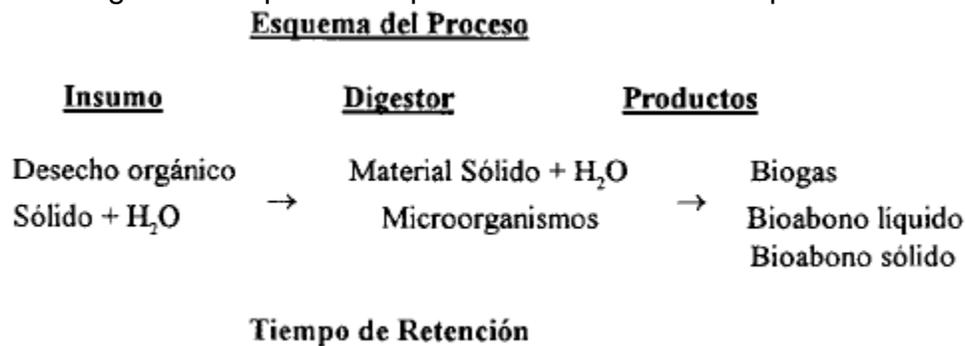
³⁰ Ibíd.

Los digestores se cargan con material en un solo lote. Cuando el rendimiento de gas decae a un nivel bajo después de un periodo de fermentación, se vacían los digestores por completo y se alimenta de nuevo.

El material de carga se caracteriza, por una alta concentración de sólidos, el cual debe ser adecuadamente inoculado, sobre todo cuando se fermentan materiales vegetales.

Este proceso tiene como ventajas operativas que una vez iniciado, llega al final sin contratiempos, necesitando mano de obra solo al momento de la carga y la descarga. Así mismo, produce gran cantidad de gas por unidad de volumen y un bioabono de buena calidad.

Figura 3. Esquema del proceso de fermentación por lotes



Fuente: Ibíd.

- Por la temperatura

La temperatura determina la formación de gas en un tiempo determinado, a menor temperatura mayor tiempo de retención, pudiendo inhibir la formación del gas³¹.

- ✓ Fermentación termofílica:

³¹ GUEVARA, Antonio. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 1996.

Necesita una temperatura de 51 – 55 °C. Se caracteriza por una digestión rápida, alto rendimiento de gas y un corto tiempo de retención. Tiene buenas características de desinfección.

✓ Fermentación mesofílica:

Necesita una temperatura de 28 -35 °C. La descomposición de la carga es más lenta que el anterior con menos consumo de energía.

✓ Fermentación a temperatura ambiente:

La producción del gas varía de una estación a otra dependiendo de la temperatura atmosférica. Tiene la ventaja de que sus estructuras son simples y de baja inversión.

- Por el número de etapas

✓ Fermentación en una sola etapa:

Cuando la digestión se realiza en un solo depósito de fermentación. Su estructura es simple, de fácil operación y bajo costo. Se usa mucho en las zonas naturales.

✓ Fermentación en dos o más etapas:

La digestión ocurre en dos o más depósitos de fermentación. El material de la carga primero se degrada y produce gas en la primera etapa; luego el efluente de la primera etapa sufre un nuevo proceso de digestión en la segunda etapa. Con este principio se pueden construir digestores de 3 o etapas. Los digestores de etapas múltiples se caracterizan por un largo periodo de retención, buena descomposición de la materia orgánica y una alta inversión³².

Tipos de digestores

Para que se cumpla la digestión anaeróbica es muy importante mantener la suficiente cantidad de lodos activados dentro del reactor. De esta forma se garantiza que las bacterias que existan en ellos contribuyan al proceso de fermentación y degradación de la materia orgánica. Dependiendo de la forma de contacto entre el material o sustrato fermentante y la población bacteriana

³² Ibíd.

dentro del reactor, los digestores anaeróbicos pueden clasificarse en dos tipos³³:

- Digestor de mezcla completa:

En aquel en el que el sustrato y los microorganismos encargados de su degradación forman una sola unidad, dentro del cuerpo del digestor.

- Reactores de filtro anaeróbico:

Este tipo de biodigestor ha sido el más usado a nivel rural. Está compuesto por un filtro anaeróbico donde el agua residual al entrar en el digestor pasa a través de una cama de soporte de material poroso inerte, que contiene grava, rocas, carbón activado y ladrillos triturados. Tiene la característica de aumentar el tiempo de residencia de los microorganismos en su interior, ya que contiene una matriz que posee una mayor superficie de contacto.

Con estos procesos de biomasa retenida, se consiguen tiempos de retención de sólidos entre 10 y 100 veces mayor que en los digestores convencionales de mezcla completa. Con lo cual se obtienen tiempos hidráulicos de retención inferiores y permiten un incremento en la cantidad o volumen de carga a degradar³⁴.

Componentes de los biodigestores

El biodigestor está compuesto por las siguientes partes:

- Tubo de entrada de materia orgánica
- Cámara de fermentación o cuerpo del digestor
- Cámara de depósito de gas
- Cámara de salida de materia estabilizado o fermentada
- Conducto de gas, lleva el gas para ser usado
- Tapa hermética
- Regulador de presión

³³ *Ibíd.*

³⁴ *Ibíd.*

Figura 4. Componente de un biodigestor



Fuente: VIDAL, Laura. Qué es un biodigestor y cómo implementarlo en casa [en línea]. Bogotá: La Bioguía [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < <http://www.labioguia.com/notas/biodigestores> >

Clasificación de los digestores rurales

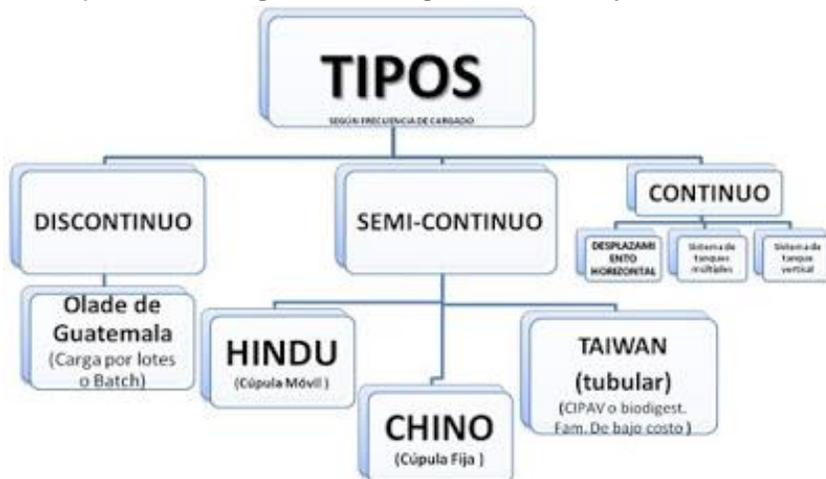
Los biodigestores rurales pueden clasificarse según su forma y estructura. Según su almacenamiento del gas: de cúpula fija, cúpula móvil, con depósito flotante o de presión constante, con gasómetro de caucho o material de plástico en forma de bolsa. También según su forma geométrica: con cámara vertical cilíndrica, cámara esférica, cámara ovalada, cámara rectangular o cámara cuadrada. Por lo materiales de construcción: ladrillo, mampostería, hormigón, hormigón armado o plástico. Según su posición respecto a la superficie terrestre: superficiales, semienterrados, subterráneos³⁵.

Modelo de digestores

Los modelos de los biodigestores según su forma y frecuencia de carga se observan en la Figura 5.

³⁵ GUEVARA, Antonio. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 1996.

Figura 5. Tipos de biodigestores según su forma y frecuencia de carga



Fuente: ARAUZ, Jeremías; ULRICH, Pablo. Biodigestores. Río Negro, Argentina: Universidad de Río Negro. 2015

A continuación se describen cada uno de ellos³⁶.

- **Modelo chino:** Forma parte de los biodigestores semi continuos. Este modelo está muy difundido en china, es un digestor de cúpula fija en forma cilíndrica, enterrados con cámaras de hidropresión. La estructura puede ser de hormigón, de ladrillos, bloques y adobes, se le puede adicionar el gasómetro. Este digestor por estar enterrado favorece el proceso fermentativo, con poca influencia por los cambios de temperatura, la desventaja que presenta es que la presión del gas es variable dependiente del volumen acumulado.
- **Modelo indio o hindú:** También es del tipo semi continuo. es originario de la india y se ha difundido porque mantiene una presión de trabajo constante, generalmente son verticales, con el gasómetro de acero incorporado lo cual incrementa su costo, se le llama digestor de cúpula móvil, la estructura se construye de bloques y concreto, son digestores de alimentación continua, se construyen generalmente enterrados quedando la cúpula sin gas en un nivel cercano a la superficie del terreno.
- **Modelos horizontales:** Este es del tipo continuo. Son digestores horizontales cuando estos no profundizan en el suelo, son de forma rectangular, aunque pueden ser cuadrados, se caracterizan por ser en su mayoría de concreto

³⁶ Ibíd.

armado debido a las presiones que están sometidos. Su uso es generalmente para el saneamiento de descargas cloacales, ya que su conformación alargada garantiza que el efluente al salir del cuerpo del digestor, debido al flujo pistón y al tiempo de retención sean debidamente degradados.

Estos digestores llevan generalmente en la parte superior una pequeña cúpula metálica desmontable que sirve de boca de visita. La presión se controla por el sello del agua, además requieren gasómetro adicional debido a la poca capacidad de almacenamiento de la cúpula y el cuerpo del digestor³⁷.

- Modelo Olade de Guatemala: Es del tipo batch o discontinuo. Tiene un solo orificio para la carga y descarga. La duración de la fermentación varía entre 2 a 4 meses, dependiendo del clima ya que la temperatura afecta directamente la velocidad de reacción dentro del reactor³⁸. Como este sistema de biodigestor tiene a la materia de principio a fin confinada, no hay sostenibilidad en la producción de biogás.

Existen otro tipo de biodigestores también usados a nivel rural:

- Modelos plásticos tubulares y rectangulares: También conocido como Taiwán o Salchicha. Se caracteriza por tener una estructura flexible construida a base de polietileno. En este digestor, el gas se acumula en la parte superior de la bolsa-reactor, parcialmente llena con materia orgánica en fermentación³⁹. La bolsa puede de polietileno o una geomembrana de PVC.
- Modelo Xochicalli: forma parte del tipo de biodigestores horizontales debido a su poca profundidad con respecto al suelo. Tiene tres partes fundamentales: Cámara de carga, cámara de fermentación y cámara de descarga⁴⁰. Su forma es trapecial y casi siempre es construido con concreto

³⁷ *Ibíd.*

³⁸ ARAUZ, Jeremías; ULRICH, Pablo. Biodigestores. Río Negro, Argentina: Universidad de Río Negro. 2015.

³⁹ *Ibíd.*

⁴⁰ ROJAS, Juan Carlos. Plantas de digestión anaeróbica y producción de biogás en el ámbito doméstico, rural o en general de micro aplicaciones con énfasis para comunidades altas andinas. Mérida, Venezuela: Seminario internacional sobre el uso de energías renovables. 2003.

armado. La producción de gas es continua, pero poca y requiere un gasómetro aparte para su almacenamiento. No requiere casi mantenimiento y su materia prima pueden ser efluentes domésticos⁴¹.

En la tabla 2 se muestra un resumen de los biodigestores mencionados anteriormente.

Tabla 2. Características de los principales biodigestores

CARÁCTERÍSTICAS	CHINO	HINDÚ	HORIZONTAL	OLADE
Sistema de Digestión	Batch y de mezcla	Desplazamiento vertical	Desplazamiento horizontal	Batch
Características de diseño	Circular, pequeño, achatado	Cilindro, Vertical, Tanque de gas	Horizontal, Diferentes secciones, Cúpula Fila	Cilindro, Vertical, Tanque de gas flotante
Substratos	Residuos orgánicos, excreta humana	Estiércol	Estiércol	Residuos agrícolas/ estiércol
Tiempo de Retención	45-90	30-60	30-60	120
Producción de biogás (m³ biogás/m³ digester)	0.1-0.4	0.4-0.6	0.8-1.0	0.5-1.0

Fuente: Ibíd.

1.6.2. Marco conceptual.

- Biodigestor
Estructura hermética en donde se lleva a cabo el proceso fermentativo anaerobio de degradación de los sustratos orgánicos⁴²
- Biodigestión
Es la fermentación realizada por bacterias anaeróbicas sobre la materia orgánica compuesta por un 80% de excretas⁴³.

⁴¹ GUDIÉL, María; MARTÍNEZ, Manuel. Diseño de un biodigestor para una granja autosustentable. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 2005.

⁴² Ibíd.

⁴³ GUEVARA, Antonio. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 1996.

- **Biodigestión anaerobia**
Proceso de la mineralización de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, obteniéndose subproductos sólido, líquido y gas⁴⁴.
- **Biogás**
Gas combustible producto de la digestión anaerobia formada por Metano (CH₄) y Dióxido de Carbono (CO₂) en proporciones variables⁴⁵. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable⁴⁶.
- **Bioabono**
Fertilizantes orgánicos sólido y líquido proveniente de la degradación anaerobia de los desechos sólidos agropecuarios⁴⁷.
- **Biomasa**
Suma de toda la materia orgánica disponible que puede usarse como medio para la obtención de energía⁴⁸.
- **Efluente**
Líquido que sale de un proceso productivo contaminado y debe tratarse⁴⁹.

⁴⁴ GUDIÉL, María; MARTÍNEZ, Manuel. Diseño de un biodigestor para una granja autosustentable. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 2005.

⁴⁵ *Ibíd.*

⁴⁶ FAO. Manual de Biogás. Santiago de Chile, Chile: Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011

⁴⁷ GUDIÉL, María; MARTÍNEZ, Manuel. Diseño de un biodigestor para una granja autosustentable. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 2005.

⁴⁸ *Ibíd.*

⁴⁹ *Ibíd.*

- **Gasómetro**
Estructura hermética que permite almacenar el biogás generado de la biodigestión anaerobia de la muestra orgánica⁵⁰.
- **Compost**
Material orgánico estabilizado con propiedades fertilizantes y acondicionadoras de suelos⁵¹.
- **Tiempo de retención hidráulica (TRH)**
El tiempo en que la carga (masa de líquido y sólido) va a estar dentro del sistema para su degradación⁵².
- **Materia Orgánica:** hace referencia a los residuos de estiércol producto de los animales de granja.
- **Tiempo de retención de sólidos (TRS)**
El tiempo de retención adecuado requerido para una digestión efectiva⁵³.
- **Energías limpias**
También conocidas como energías renovables o sostenibles porque se pueden producir a partir de fuentes que no se agotan, tales como represas de agua, rayos del sol, biogás y otras biomásas, entre otros⁵⁴.
- **Eficiencia Energética**
Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de

⁵⁰ Ibíd.

⁵¹ Ibíd.

⁵² Ibíd.

⁵³ FAO. Manual de Biogás. Santiago de Chile, Chile: Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011

⁵⁴ HESPERIAN. Energía limpia [en línea]. Madrid: Guía comunitaria para la salud ambiental [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgeh_2011/es_cgeh_2011_cap23.pdf>

buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles⁵⁵.

- Fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER)
Son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares⁵⁶.

1.6.3. Marco legal.

Sobre el manejo de residuos sólidos en Colombia, está el Decreto 1505 de 2003, el cual trata sobre el aprovechamiento en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Lo define como:

Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos⁵⁷.

También se destacan las leyes 09 de 1979, 142 de 1994, 430 de 1998, el Documento Conpes 2750 de 1994, los decretos 2462 de 1989 y 605 de 1996, varias resoluciones y el Decreto 2981 de 2013 expedido por el actual Gobierno en el cual se promueve la formulación de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

En cuanto al uso de energías limpias o renovables, en el 2014 se aprobó la Ley 1715 para promover las energías no convencionales en el país, pero solo hasta marzo del 2016, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (Creg) la

⁵⁵ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1715. (13, mayo 2014). Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá, 2003. p. 1.

⁵⁶ *Ibíd.*, p. 5.

⁵⁷ COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPUBLICA. Decreto 1005. (6, junio 2003). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Bogotá, 2014. p. 4.

reglamentó y estableció que industrias de diversos sectores que producen su propia energía puedan vender sus excedentes a precio de bolsa, que sube en épocas de sequía⁵⁸.

En el capítulo IV de esta ley, se menciona todo lo concerniente al desarrollo y promoción de las FNCER, en donde se incentiva la producción de energía proveniente de las biomásas. Así mismo, en el artículo 17 se menciona la necesidad de establecer planes de que fomenten el aprovechamiento energético de biomasa agrícola y evitar el abandono, la quema incontrolada en la explotación o el vertimiento de los residuos agrícolas.

⁵⁸ PORTAFOLIO. Energías renovables, la apuesta que debe hacer el país. En: Portafolio. Bogotá, Colombia. 5 de diciembre de 2016.

2. METODOLOGÍA

El diseño de esta investigación es de tipo mixto, exploratorio, descriptivo e interpretativo. Los estudios exploratorios son aquellos que se investigan por primera vez o han sido muy pocos investigados, por lo cual permiten identificar una problemática y dejar las bases para la formulación de nuevas investigaciones⁵⁹. Los estudios descriptivos se caracterizan por la delimitación de los hechos que conforman el problema de investigación. De acuerdo con una de las funciones principales de la investigación descriptiva es la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y describir detalladamente las partes, categorías o clases de dicho objeto⁶⁰.

El desarrollo de esta investigación se sustenta en el biodigestor tubular o Taiwán con geomembrana, debido a la facilidad en la construcción e implementación, a los bajos costos y a la necesidad pedagógica del parque de que este sea superficial. Así como en los estudios realizados por otros autores, tanto a nivel nacional como internacional, sobre el uso de biodigestores, identificando, depurando y analizando las características que puedan servir como insumo para la construcción de un modelo de mejoramiento del biodigestor del parque Mundo Aventura.

Este estudio se realizó en varias etapas. En primer lugar, se hizo una revisión de la información actual sobre los biodigestores, los tipos y su construcción, enfatizando en los sistemas de uso rural y doméstico incluyendo normatividad y recomendaciones.

Así mismo, se identificaron diferentes metodologías para la implementación de estos sistemas. Seguido a esto, se realizó una visita de campo al Parque Mundo Aventura con el objetivo de conocer la situación actual del biodigestor presente en dicho establecimiento. Así mismo, se realizó una entrevista a la gerente del parque y con ello se identificó la forma como se maneja los residuos de estiércol producto de los animales del corral.

⁵⁹ Méndez, C. Metodología: Diseño y Desarrollo del proceso de investigación. Bogotá: McGraw-Hill. 2001.

⁶⁰ Bernal, C. Metodología de la Investigación. México: Pearson. 2006.

Para la elaboración de la propuesta se tuvo en cuenta los diferentes tipos de biodigestores rurales y se analizaron parámetros como el método de construcción, tipo de reactor, capacidad de manejo de los residuos de estiércol producto de los animales del corral, la entrada de los productos, su dimensionamiento, aprovechamiento energético y el costo de su implementación, basándose en el marco referencial mencionado en el apartado anterior. Se eligió el parque Mundo Aventura de la ciudad de Bogotá. Se identificó que actualmente el biodigestor no se encuentra en uso y que el manejo de los residuos de estiércol producto de los animales de corral no es eficiente.

A la par con esto, se identificaron los materiales requeridos para la puesta en funcionamiento del biodigestor del parque Mundo Aventura. Una vez obtenidos los datos necesarios para el cálculo de la infraestructura, se determinó los materiales más óptimos para su construcción y se procedió al diseño del sistema siguiendo la metodología propuesta para el biodigestor tipo tubular o Taiwán con geomembrana.

Con la información recogida en las etapas anteriores, se realizó un cuadro de cantidades de obra y costos que se obtendría con este sistema si se llegara a implementar. Finalmente se consolidó un documento con la propuesta de reactivación y mejoramiento del sistema biodigestor del parque Mundo Aventura.

2.1. METODOLOGIA A DESARROLLAR

2.1.1. Objetivo 1:

Analizar la situación actual que tiene el biodigestor del parque Mundo Aventura para el manejo de los residuos de estiércol producto de los animales de corral e identificar si es posible su reactivación y puesta en funcionamiento.

Para el desarrollo del objetivo 1 se realizaron visitas de campo, donde se tuvo el total apoyo de los trabajadores del sitio. Adicionalmente se realizaron entrevistas con la gerente general del parque, quien es la encargada de la granja del mismo; durante las visitas se realizó la observación del terreno, y se identificó la problemática existente en el parque, la cual justifica el

desarrollo del presente proyecto.

Posteriormente se realizó el levantamiento del terreno disponible para la localización de la estructura del biodigestor. Finalmente, se realizó el registro fotográfico de la situación actual del biodigestor existente y se identificó la red de conducción para el biogás que se encuentra presente en el parque.

2.1.2. Objetivo 2:

Determinar la configuración geométrica de la estructura propuesta para la reactivación y funcionamiento del biodigestor.

Para el desarrollo de este objetivo, en primer lugar, se estudió la posibilidad de re potencializar el biodigestor actual; Sin embargo, debido al uso incorrecto del mismo y a la falta de un mantenimiento adecuado, dicho biodigestor se averió, imposibilitando de esta manera su uso para futuros desarrollos.

Debido a lo anteriormente mencionado, se decidió hacer una propuesta para el desarrollo y construcción de un nuevo biodigestor que reemplace el existente. Por lo tanto, se realizó una investigación para identificar el tipo de biodigestor más adecuado para utilizar en el sitio de estudio. Acto seguido se procedió a determinar la geometría de la estructura teniendo en cuenta el terreno disponible para la localización de la misma, y de acuerdo con estos datos se determinaron las dimensiones más adecuadas para cada una de las cámaras que componen la estructura.

De acuerdo con la geometría propuesta y en relación con la cantidad de estiércol producido diariamente por los animales del parque, se verifico que la capacidad de las cámaras sea adecuada para lograr la máxima eficiencia del biodigestor.

2.1.3. Objetivo 3:

Desarrollar el análisis y diseño estructural del sistema de biodigestor propuesto para el parque Mundo Aventura como una alternativa para optimizar el aprovechamiento de los residuos de estiércol producto de los animales de corral.

De acuerdo con las dimensiones propuestas para cada cámara que compone la estructura del biodigestor, se realizó el análisis estructural de la misma con ayuda del programa de elementos finitos - SAP2000, del cual se obtuvieron los valores de reacciones, esfuerzos y el comportamiento global de la estructura, evaluando las cargas que actuarían sobre la misma de acuerdo con las indicaciones de la normatividad vigente (en este caso específico se utilizó la Norma Colombiana de diseño de puentes LRFD – CCP-14).

Con los resultados obtenidos del análisis, se determinó el material a utilizar (se escogió concreto reforzado) y se realizó el diseño de la estructura del biodigestor, determinando de esta forma la cuantía de refuerzo para cada uno de los puntos de la estructura propuesta. De igual forma, teniendo en cuenta las dimensiones del terreno y la localización del biodigestor, se realizó el diseño de la red de distribución que va desde el punto de salida del biogás, hasta la cochera de los cerdos teniendo en cuenta la norma NTC 2505 de instalaciones para suministro de gas combustible.

2.1.4. Objetivo 4:

Estimar los costos, beneficios y limitaciones de la implementación de un sistema de mejoramiento del biodigestor del parque Mundo Aventura.

Teniendo en cuenta las dimensiones propuestas para las cámaras que componen el biodigestor, se determina la cantidad de materiales de construcción necesarios para llevar a cabo dicha estructura, se identifica la cantidad de tubería y accesorios necesarios para realiza la respectiva red de distribución del biogás obtenido por el proceso del biodigestor. Según lo anterior se realiza la estimación de costos en material y mano de obra requeridos para tal fin.

2.2. PROCEDIMIENTO

2.2.1. Situación actual del parque Mundo Aventura.

El parque Mundo Aventura está catalogado como el parque de atracciones número uno de Colombia por número de visitantes. Recientemente fue

premiado con el premio Rosa de los Vientos otorgada por la asociación colombiana de periodistas y escritores de turismo ACOPET⁶¹.

Se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, localidad de Kennedy, al costado oriental de la Avenida Boyacá, entre la Avenida Primero de Mayo y la Avenida de las Américas, junto al Centro Comercial Plaza de las Américas y el Estadio Metropolitano de Techo. Abarca un espacio de 13 hectáreas.

Mundo Aventura fue construido gracias al aporte de la Cámara de Comercio de Bogotá para todos los habitantes de la capital y sus turistas. Desde que el parque abrió sus puertas en enero de 1998 hasta la fecha, más de 15 millones de personas han podido disfrutar del parque Mundo Aventura y sus atracciones⁶².

Figura 6. Parque Mundo Aventura



Fuente: Ibíd.

Dentro de sus atracciones está La Granja. Este es un espacio pedagógico donde grandes y pequeños pueden interactuar con animales, aprender sobre agricultura urbana, reciclaje, energías renovables y medio ambiente.

⁶¹ MUNDO AVENTURA. Sobre Nosotros [en línea]. Bogotá: Mundo Aventura [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < <http://www.mundoaventura.com.co/sobre-nosotros/> >

⁶² Ibíd.

Figura 7. La Granja del Parque Mundo Aventura



Fuente: Ibíd.

Para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos de estiércol producto de los animales del corral del parque, así como para la generación de energías limpias y renovables, se construyó un biodigestor en La Granja. Sin embargo, este lleva 7 años sin funcionamiento.

El estiércol que actualmente se genera en el parque es utilizado únicamente en el compostaje. La recolección se realiza manualmente con carretillas. El material orgánico recogido se dispone en un tanque de recolección y se deja fermentando 8 días para luego ser llevado al lugar de compost donde se almacena aproximadamente por 3 meses. Luego de este tiempo el material es utilizado como método de abono en la huerta. Sin embargo, la cantidad de estiércol recogida a diario no se puede almacenar totalmente en este tanque. La materia sobrante es depositada en el pastal de los caballos hasta que sea posible su evacuación para el compost. Esto puede tardar semanas.

Figura 8. Compost producido en La Granja del Parque Mundo Aventura



Fuente: Los Autores

El biodigestor funcionaba únicamente con la recolección del estiércol de los cerdos, desaprovechándose el resto de material orgánico producido en el parque. El proceso se realizaba manualmente. Así mismo, no tuvo mucha organización ya que a la fecha no se tiene registro del control del peso y de la cantidad de los residuos de estiércol producto de los animales del corral recolectada. Primero se recogía la materia orgánica en una caneca, luego se le agregaba agua sin ninguna medida específica y luego se realizaba la mezcla para llevarla a la tubería de entrada del biodigestor. A continuación, se observan las cocheras y el biodigestor del parque Mundo Aventura.

Figura 9. Cocheras del Parque Mundo Aventura



Fuente: Los Autores

Figura 10. Cámara de recolección del Biodigestor del Parque Mundo Aventura



Cámara de recolección

Fuente: Los Autores

Figura 11. Tubería de entrada de materia orgánica hacia el biodigestor y cámara de desagüe



Fuente: Los Autores

Figura 12. Ubicación actual del biodigestor



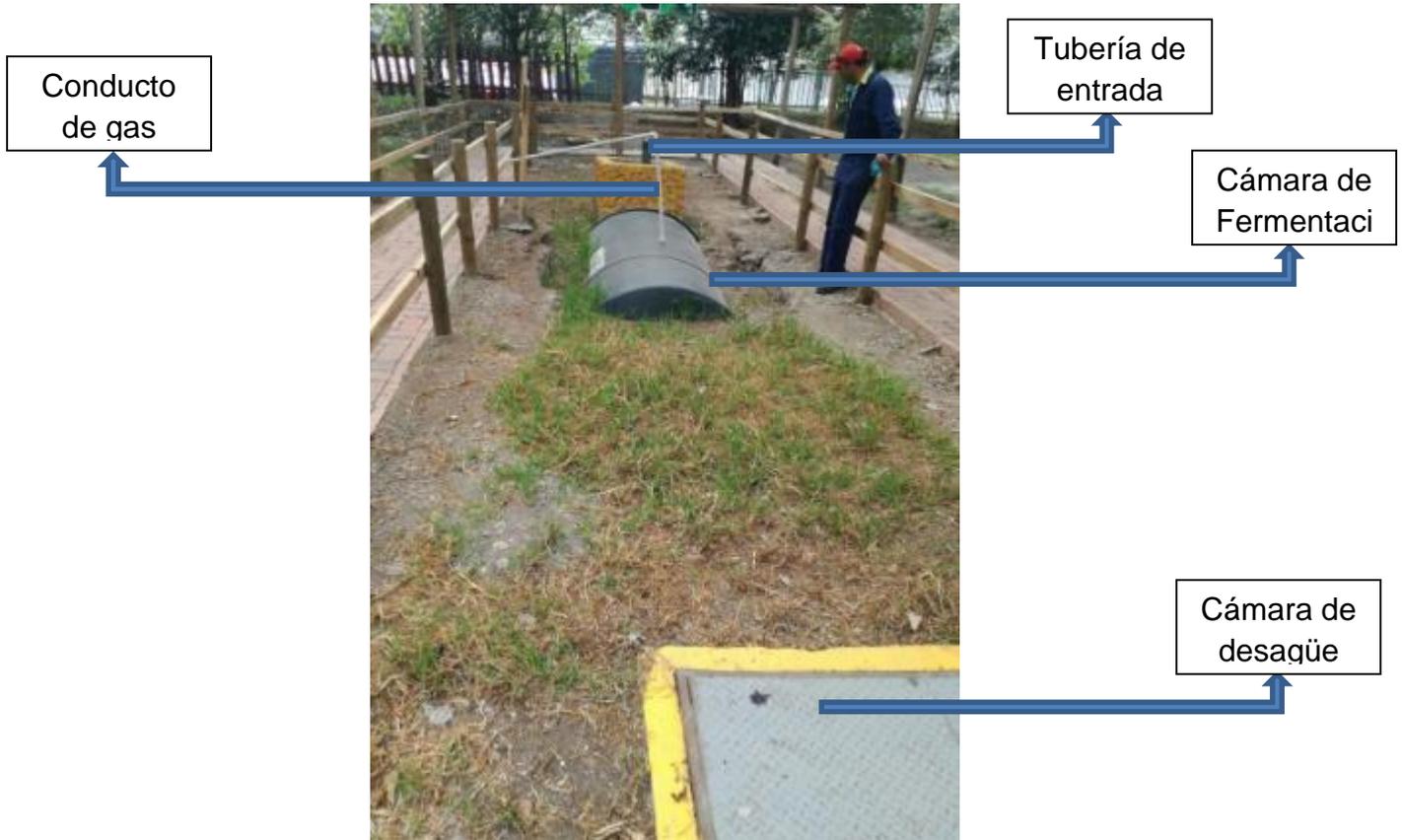
Fuente: Los Autores

Por otro lado, según una entrevista realizada a la gerente del parque, la reproducción y mantenimiento de los animales porcinos se está viendo afectada, porque ya no se cuenta con un sistema de calefacción que proporcione la temperatura apropiada para su manutención.

La temperatura ambiente del parque es muy fría y estos animales necesitan un ambiente entre 35 y 40°C para su bienestar.

Esto ha llevado a que los lechones contraigan enfermedades respiratorias con mayor frecuencia, e incluso, ha causado la muerte de algunos, especialmente, de los recién nacidos. Ante esta situación, la gerencia ha optado por detener las reproducciones y se ha visto en la obligación de comprarlas y dejarlas en crecimiento y engorde para su venta, pero esto genera costos adicionales que afectan la economía del parque.

Figura 13. Biodigestor del Parque Mundo Aventura



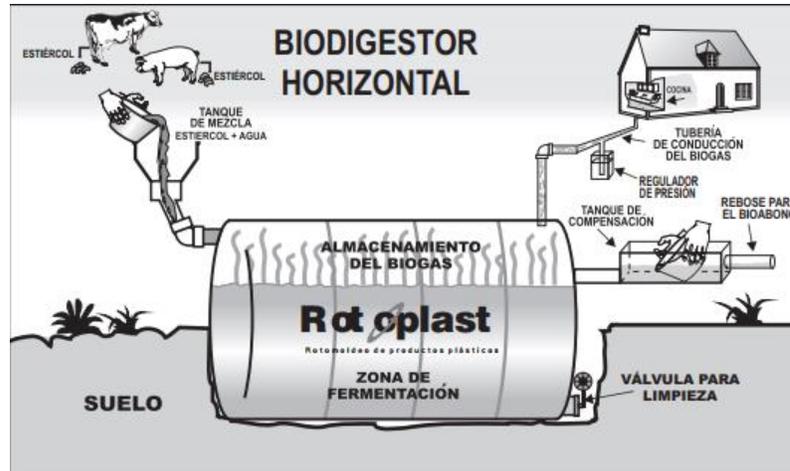
Fuente: Los Autores

Este biodigestor es horizontal tubular de polietileno plástico marca Rotoplast, con una capacidad de 4000 litros o 4.0 m^3 , con capacidad real a trabajar de 3.0 m^3 dado que solo se puede llenar hasta el 75%. Mide 1.58 m de altura y 2.4 m de longitud. En la figura 13 se puede observar que está compuesto por un tubo de entrada de materia orgánica, una cámara de recolección, una cámara de desagüe, una cámara de fermentación y un conducto de gas que transporta el gas para ser usado.

Se puede clasificar como un biodigestor de fermentación continua ya que se carga diariamente adicionando nuevas cantidades de lodos frescos; de fermentación a temperatura ambiente puesto que está a la intemperie y su producción del gas varía dependiendo de la temperatura; fermentación en una sola etapa ya que la digestión se realiza en un solo depósito de fermentación y su estructura es simple.

Digestor de mezcla completa puesto que el sustrato y los microorganismos encargados de su degradación se encuentran formando una sola unidad, dentro del cuerpo del digestor, originándose la fermentación de la materia orgánica.

Figura 14. Representación gráfica del Biodigestor actual del Parque Mundo Aventura según ficha técnica del fabricante



Fuente: ROTOPLAST. Biodigestor [en línea]. Bogotá: Rotoplast [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: <http://www.rotoplast.com.co/biodigestor/>

Figura 15. Reactor del Biodigestor del Parque Mundo Aventura

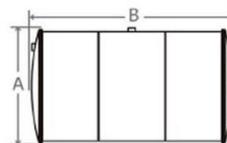


Imagen ilustrativa

Capacidades y medidas

Capacidad nominal (Litros)	Medida (cm).	
	A	B
4.500	168	254
7.000	168	365
10.000	168	475
12.000	168	585
14.000	168	695
16.000	168	807
18.000	168	917
20.000	168	1.027

Capacidades y medidas aproximadas



Fuente: Ibíd.

2.2.2. Configuración geométrica de la estructura.

Para el diseño del sistema, se analizó antes de todo la posibilidad de utilizar el biodigestor existente. Sin embargo, se llegó a la conclusión que no era viable por varias razones. En primer lugar, la cámara de fermentación es un tanque hermético de polietileno plástico que está un 80% enterrado; esto no es eficiente porque imposibilita la verificación del estado interno del tanque y su posible mantenimiento. En segundo lugar, el biodigestor lleva aproximadamente 7 años sin funcionamiento y nunca se le realizó un control de limpieza. Y por último, la capacidad es insuficiente dado que actualmente se requiere una capacidad de al menos 7.5 m³ disponibles.

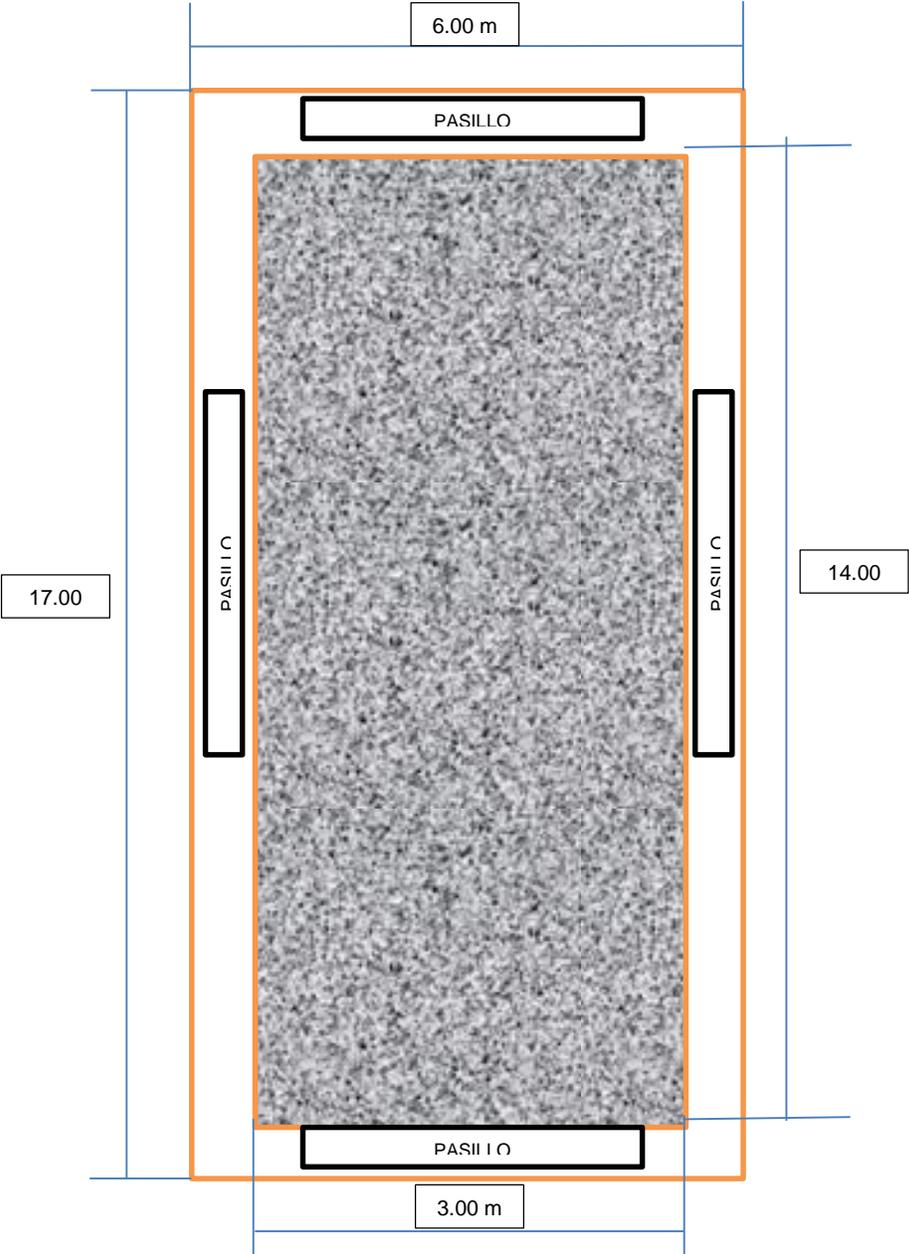
Por lo anterior no se puede garantizar que el tanque esté en condiciones adecuadas para su reutilización. Adicional a esto, el parque no conoce hasta qué punto estuvo lleno el tanque y no hay posibilidad de saber si internamente aún existe material de carga. Así mismo, la cámara de desagüe está totalmente tapada con barro, raíces de material vegetal, insectos y su estado se ve deplorable.

Otro factor que se tuvo en cuenta fue la posibilidad de utilizar la cantidad total de materia orgánica producida en el parque. Se encontró que no era factible debido a que el espacio disponible para la disposición del mismo es muy limitado, por lo cual se consideró tratar solamente la materia orgánica de animales de cuatro patas, los cuales generan un estiércol rico en bacterias metalúrgicas para la mejor producción de biogás. La materia del resto de animales se dejará para el compost dado que no se puede dejar este tipo de fertilizantes para la huerta. Los animales involucrados son: 10 cerdos, 10 caballos, 2 ponys, 1 burro, 4 vacas, 5 terneros y 3 búfalos. La cantidad total de materia orgánica recogida de estos animales aproximadamente 900 kg al día. Sin embargo, el biodigestor tiene capacidad para tratar los residuos de estiércol producidos por el resto de animales de la granja.

2.2.2.1. Ubicación.

Teniendo en cuenta el diseño del sistema y la construcción del actual biodigestor, y dado que no hay más opciones de reubicación ya que todas las parcelas de La Granja esta distribuidas y ocupadas, se seleccionó como lugar de instalación una zona a 5m de la cochera. De esta manera, no se afecta ningún espacio del parque. En la figura 16 se observa la localización del biodigestor.

Figura 16. Localización del Biodigestor del Parque Mundo Aventura



Fuente: Los Autores

2.2.2.2. Tipo de modelo.

Debe ser un diseño con enfoque pedagógico ya que la finalidad es mostrarles a los visitantes el proceso de transformación de la materia orgánica en energía eléctrica. Por lo tanto, el modelo debe ser semienterrado o superficial para que el cuerpo del biodigestor sea visible. Este corresponde a un biodigestor tubular en geomembrana. En el anexo 1 se muestra el plano geométrico del sistema.

2.2.2.3. Temperatura y tiempo de retención.

El tiempo de retención debe ser de 15 a 20 días para la producción del gas dado que la temperatura ambiente del sitio varía entre los 18 a 24°C.

2.2.2.4. Proceso de recolección.

El proceso de recolección de la materia orgánica debe realizarse manualmente utilizando carretillas, lo cual no es difícil teniendo en cuenta la cercanía del biodigestor. La cámara de recolección debe cargarse una vez al día con este material.

2.2.2.5. Proceso de digestión.

El proceso de digestión será con fermentación continua dado que la alimentación del material orgánico es constante y se puede aprovechar la biomasa diariamente. Cabe mencionar que el parque requiere contar con un ambiente con calefacción adecuada para los cerdos, por lo menos entre las 6:00 pm y 6:00 am, horas en las cuales se registra temperaturas muy bajas. Lo ideal sería mantener la cochera con 24 horas de calefacción.

2.2.2.6. Cámara de fermentación.

Una problemática que tienen las cámaras de fermentación tubulares de polietileno es que tienen un alto riesgo de romperse si no existe un manejo adecuado en el momento de realizar la instalación. Así mismo, este tipo de cámaras normalmente se conforma por dos o tres bolsas que deben ser alisadas manualmente una entre la otra para evitar pliegues, lo cual puede resultar ineficiente. Adicional a esto, se debe construir también manualmente

la boca de salida del gas, el cuerpo del digestor y la unión al final de cada extremo para unión con la tubería, lo cual puede generar un mal funcionamiento del biodigestor. Esto implica la compra de materiales extras para adaptar una red a la válvula de salida del gas, tales como empaques, adaptadores, acoples, entre otros, lo cual, puede genera un costo adicional en la instalación.

Debido a lo anterior de define lo siguiente:

- La cámara de fermentación será un tanque prefabricado en Geomembrana con base en cloruro de plivinilo (p.v.c) flexible con forma tubular. Este material tiene excelentes propiedades mecánicas que garantizan gran elongación, resistencia a tensión y punzonamiento. Permite definir una longitud exacta.
- La fermentación se realiza en una sola etapa ya que se contará con un solo cuerpo de digestión.
- Esta geomembrana prefabricada garantiza que al momento de ser dispuesta en la fosa de no corra el riesgo de fisurarse provocando el deterioro de la misma y su mal funcionamiento por perdida de gas. Una ventaja de ser prefabricada es que ya viene con los acoples a tubería y con la válvula de salida superior lo cual disminuye el costo y problemas en el proceso de instalación, a diferencia de la bolsa de polietileno.
- El digestor será dispuesto al 75 % fase liquida parte inferior de la geomembrana y 25% concentración del gas.

Teniendo en cuenta el terreno disponible para la disposición de esta estructura se define un digestor con capacidad de 10 m³, el cual tiene un diámetro de 1.22 m y una longitud aproximada de 8.6 m; el calibre de la membrana será elegida por la gerencia de la granja ya que esto depende del presupuesto que se tenga⁶³.

En la Figura 17 se puede observar los componentes del modelo propuesto. El N° 1 corresponde al cuerpo fabricado en Geomembrana especialmente formulada para soportar presiones y ataque químico. El N° 2 es el acople a la tubería que permite la instalación de los ductos de entrada y salida. Y el N° 3 es la válvula de salida del biogás.

⁶³ GEOMEMBRANAS. Ficha técnica [en línea]. Bogotá: Biodigestor [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < <https://www.geomembranas.com.co> >

Figura 17. Modelo propuesto de Biodigestor para el Parque Mundo Aventura



Fuente: Ibíd.

Como ventajas adicionales de este tipo de geomembrana es que es bajo costo; estructura flexible; fácil construcción, instalación y con un mínimo mantenimiento; obtención de energía y calefacción; remplazo de combustible; ventaja con respecto al costo de los fertilizantes; y desaparición de olores.

2.2.2.7. Dimensiones estructurales.

Para el diseño estructural se propone un diseño en concreto reforzado para darle mayor estabilidad a la estructura flexible. Se define realizar la estructura monolítica semi-enterrada dejando a la vista 0.20 m para que los visitantes del parque puedan apreciar el contorno de las cámaras que componen la estructura. El costo del mismo es mayor al de realizar una excavación simple y dejar la fosa simplemente a la intemperie. Sin embargo, puede tener como beneficios:

- Mayor estabilidad al suelo y a la estructura flexible.
- Mantiene control de la capa vegetal para evitar el ingreso de raíces de árboles o vegetales que puedan provocar la rotura de la geomembrana.
- Se puede tener un control de temperatura y humedad.

Teniendo en cuenta que la producción de estiércol diario en el parque es aproximadamente 900 kg/día lo que corresponde aproximadamente a 4 m³ de materia orgánica por lo cual se requiere que la cámara de fermentación tenga una capacidad mínima de 4 m³ o 4.000 litros libres disponibles.

Para esta cantidad de residuos de estiércol producto de los animales del

corral se propone utilizar la geomembrana con capacidad de 10 m³ o 10.000 litros, lo que equivale a una capacidad real disponible de 7.5m³ o 7500 litros puesto que solo se puede llenar la cámara fermentación con lodo un 75% y el 25% restante es para la producción de gas:

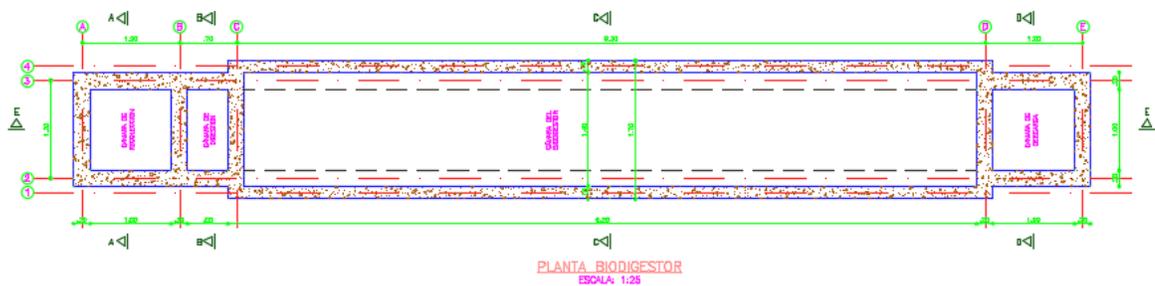
$$\frac{10 \text{ metros cúbicos}}{x} \frac{100\% \text{ de capacidad}}{75\%} \approx \text{cap. disponible } 7.5 \text{ metros cúbicos} - 7500 \text{ litros}$$

Lo anterior muestra que el biodigestor es óptimo ya que no trabajaría al 100% de su capacidad libre disponible. Si la granja llegará a tener más producción de materia orgánica, el biodigestor seguiría siendo eficiente ya que tiene un margen de 3.5 m³.

En el Anexo 1 se muestra el plano estructural del sistema. El diseño estructural de las 4 cámaras se realizará en una estructura monolítica en concreto con refuerzo estructural de acero la cual comparte paredes divisorias. Los materiales de construcción son los siguientes:

- Concreto de F`c 28 Mpa para placa y muros
- Concreto de F`c 14 Mpa concreto de limpieza
- Peso específico del concreto 24 kn/ m3
- Relación agua cemento ≤ 0.45
- Acero Fy 420 Mpa
- Módulo de Elasticidad 20636 Mpa

Figura 18. Diseño estructural del Biodigestor

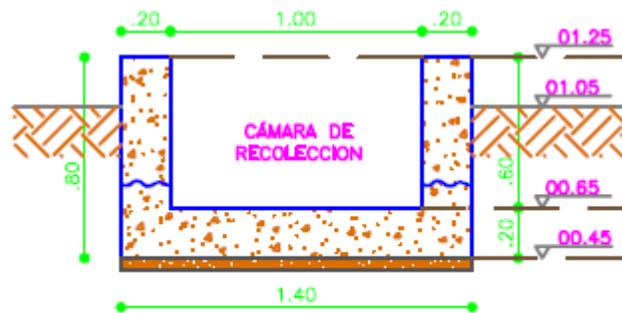


Fuente: Los Autores

Para el diseño se requiere tener las siguientes cámaras:

- Cámara de recolección:** tanque de mezcla en el cual se realizará el proceso de generación de lodo mediante la mezcla de material orgánico con agua con la relación 1 estiércol: 4 agua. Este se define geométricamente cuadrado con paredes de espesor superior 0.20 m, como se indica en el corte presentado en la Figura 19. Las dimensiones son: Alto: 0.6 m Ancho 1.00 m Largo: 1.00 m. El muro trasero deberá tener una abertura para tubería de ½" agua potable la cual conducirá el agua para la mezcla de la materia orgánica. El muro delantero deberá tener una abertura para tubería de 4" sanitaria para transportar la mezcla de agua y materia orgánica a la cámara de digestión.

Figura 19. Corte Cámara de recolección

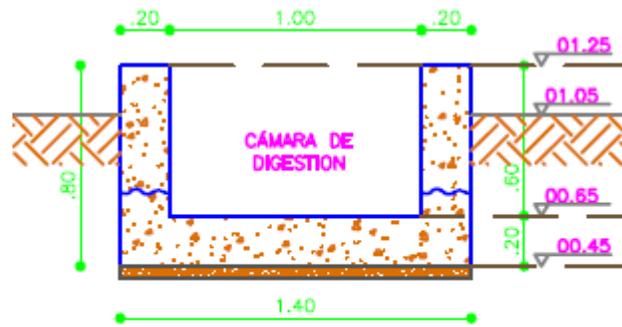


CORTE A-A
ESCALA: 1:25

Fuente: Los Autores

- Cámara de Digestión:** tanque que transporta la mezcla de estiércol con agua totalmente líquida al cuerpo del biodigestor. Se define geométricamente cuadrado con paredes de espesor superior 0.20 m, como se indica en el corte presentado en la Figura 20. Tiene dimensiones de: Alto: 0.6 m Ancho 1.00 m Largo: 0.5 m. El muro trasero deberá tener una abertura para tubería de 4" sanitaria por la cual se recibirá la mezcla de agua y materia orgánica que llega de la cámara de recolección. El muro delantero deberá tener una abertura para tubería de 4" sanitaria que conducirá la mezcla de agua y materia orgánica completamente líquida a la cámara del biodigestor.

Figura 20. Corte Cámara de digestión



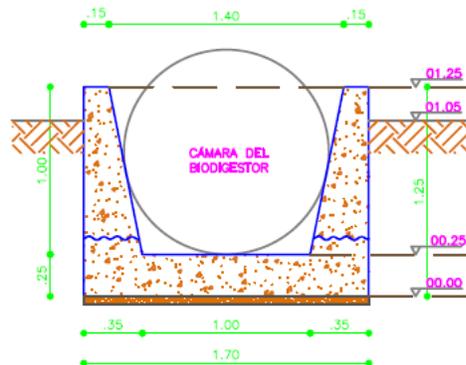
CORTE B-B

ESCALA: 1:25

Fuente: Los Autores

- Cámara del Biodigestor:** cámara disponible para el biodigestor de geomembrana. Se define geoméricamente trapezoidal con paredes de espesor superior 0.15 m, espesor placa inferior vertical 0.25 horizontal 0.35 como se indica en el corte presentado. Tiene una capacidad de: Alto: 1.00 m, Ancho 1.00 m y Largo: 9.00 m. El muro trasero deberá tener una abertura para tubería de 4" sanitaria por la cual se recibirá la mezcla de agua y materia orgánica que llega al cuerpo del biodigestor de geomembrana El muro delantero deberá tener una abertura para tubería de 4" sanitaria que conducirá el residuo líquido de la materia orgánica ya descompuesta a la cámara de descarga.

Figura 21. Corte Cámara del biodigestor



CORTE C-C

ESCALA: 1:25

Fuente: Los Autores

- **Cámara de descarga:** tanque por el cual el biodigestor vierte todo el material ya descompuesto para ser usado como abono para la tierra. Se define geométricamente cuadrado con paredes de espesor superior 0.20 m, como se indica en el corte presentado en la Figura 22. Sus dimensiones son: Alto: 0.6 m, Ancho 1.00 m y Largo: 1.00 m. El muro trasero deberá tener una abertura para tubería de 4" sanitaria que recibirá el residuo líquido de la materia orgánica ya descompuesta para ser dispuesta como abono.

Figura 22. Corte Cámara de descarga



Fuente: Los Autores

2.2.3. Análisis y diseño estructural del sistema de biodigestor

Para la construcción del sistema se siguió la metodología propuesta por la GTZ⁶⁴, la literatura mencionada en el anteriormente, la norma colombiana de diseño de puentes LRFD – CCP – 14⁶⁵ para los criterios de diseño estructural y la Norma Técnica Colombiana NTC2505 para los criterios de la red de distribución. La descripción de cada proceso se muestra a continuación:

Para los criterios de diseño estructural se tomó como guía la NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES LRFD – CCP – 14 dirigida a

⁶⁴ HERRERO, Jaime. Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para el trópico, valle y altiplano. La Paz, Bolivia: Cooperación Técnica Alemana – GTZ. 2010.

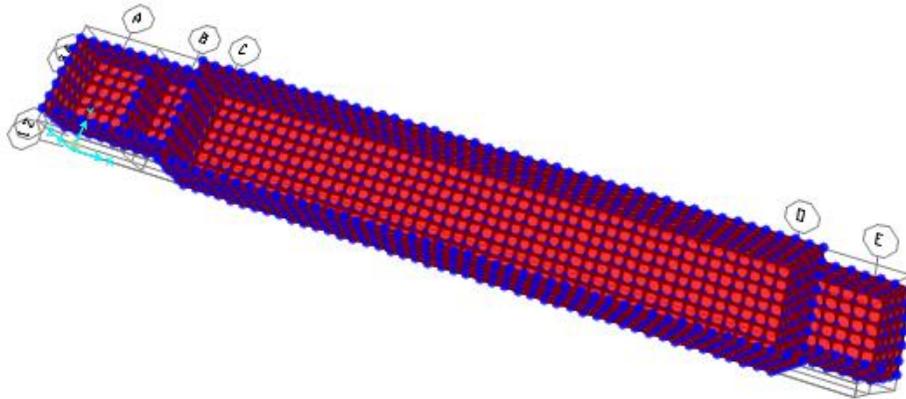
⁶⁵ INVIAS. Norma colombiana de diseño de puentes LRFD – CCP – 14 [en línea]. Bogotá: INVIAS [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: <<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>>

construcciones en concreto de tanques en este caso y los parámetros de análisis dinámico de la microzonificación sísmica de Bogotá, con el objetivo de cargar estructuras en concreto y tener en cuenta cargas hidrodinámicas, sobrecarga y cargas hidráulicas del agua, lo cual no está considerado en la NSR-10 puesto que va enfocado en su mayoría a edificaciones. Para el modelamiento de cargas se utilizó el programa de diseño SAP-2000 para evidenciar las posibles deformaciones que puede sufrir la estructura, teniendo en cuenta que esta es completamente rígida, unida y en concreto reforzado.

Para el modelamiento de la estructura en SAP-2000 se tienen en cuenta las siguientes cargas

- DC: Carga Muerta
- EH: Empuje del suelo
- EQ: Carga Sísmica
- ES: Sobre carga del suelo
- WA: Carga hidráulica

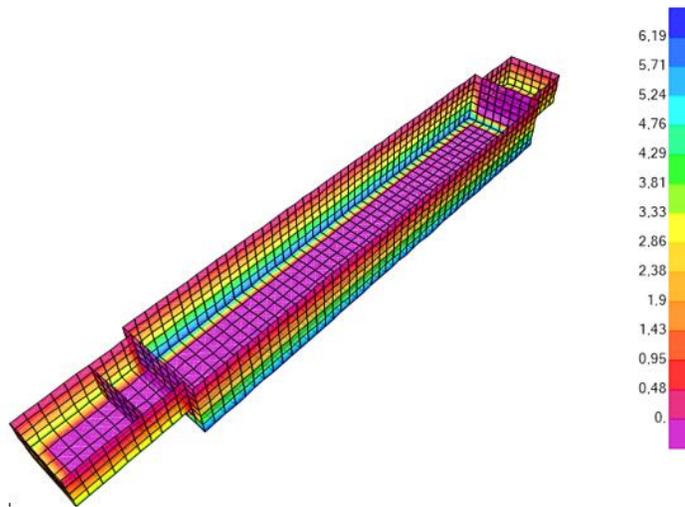
Figura 23. Modelamiento de la estructura 3-D en SAP-2000



Fuente: Los Autores

En la figura 24 se muestra la presión lateral del suelo (EH) donde se evidencia que para los muros de la estructura la presión varía entre 0 kN/m^2 y 5 kN/m^2 aproximadamente.

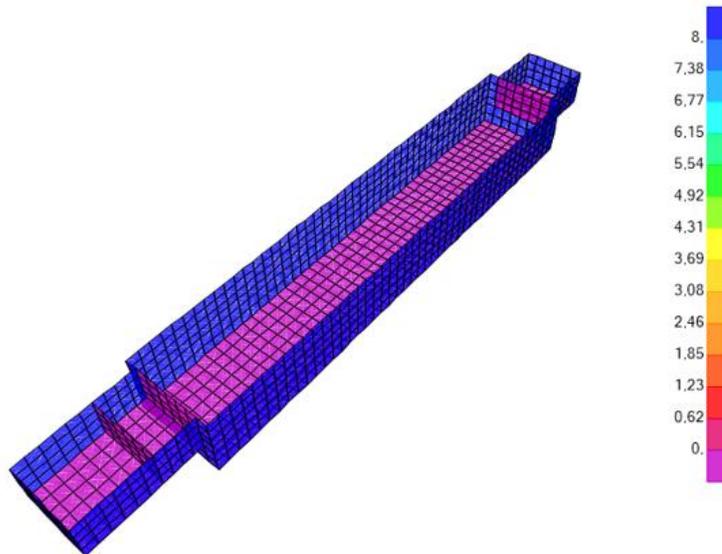
Figura 24. Presión Lateral del Suelo sobre la estructura (EH), SAP 2000



Fuente: Los Autores

En la figura 25 se muestra la sobrecarga del suelo (ES) sobre los muros, la cual se estimó en un valor constante de 7.30 kN/m^2 aproximadamente.

Figura 25. Sobre carga del Suelo sobre la estructura (ES), SAP 2000

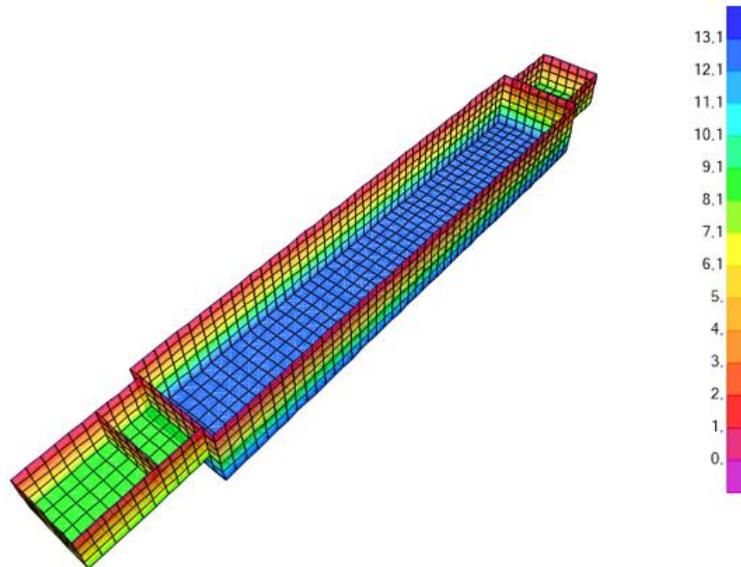


Fuente: Los Autores

En la figura 26 se muestra la presión de lodo haciendo referencia a la mezcla de estiércol más agua, la cual se trabajó como una carga hidrostática (WA)

para los muros de la estructura, para la cual la presión varía entre 0 kN/m² y 13.1 kN/m² aproximadamente.

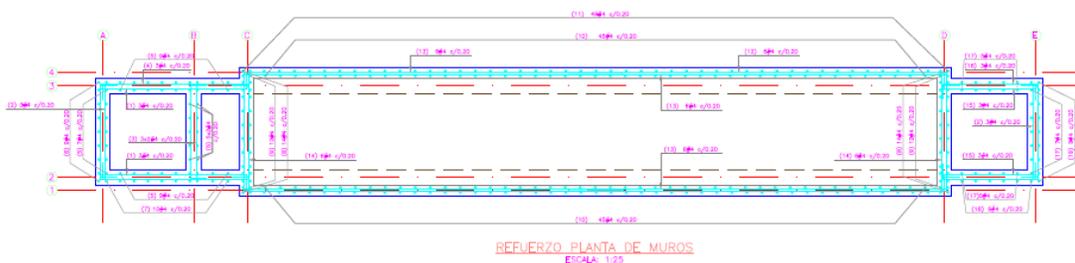
Figura 26. Presión de Lodo sobre la estructura (WA), SAP 2000



Fuente: Los Autores

Según el análisis obtenido de SAP-2000, y de acuerdo con las dimensiones propuestas para la estructura monolítica presentada, se determina el acero de refuerzo necesario para tener una estructura resistente a los diferentes eventos y cargas aplicadas en el modelo SAP2000. En el Anexo 2 se muestra el plano estructural del acero de refuerzo del sistema.

Figura 27. Refuerzo planta de muros



Fuente: Los Autores

En resumen, el sistema propuesto tiene lo siguiente:

- Se tiene refuerzo de acero N° 4 cada 0.20 m por toda la estructura.

- En el corte EE; se evidencia en la placa, malla inferior un traslapo 0.70 m en el tramo CD.
- Para todos los refuerzos de los muros se requiere un gancho de 0.20 m para cada uno, tal como se observa en los planos estructurales.
- La longitud total de la cámara del biodigestor será de 9 m dejando un borde libre en cada extremo de 0.2 m para fácil instalación de las tuberías que conectan cada cámara. Se propone utilizar tuberías p.v.c sanitaria de 4 pulgadas de diámetro de aproximadamente 0.20 a 0.25 m entre cada muro de las cajillas para la conducción de lodo de materia orgánica más agua.
- El parque ya tiene la conducción para la tubería de agua potable, No hay inconveniente con el techado porque el parque ya lo tiene.
- La geomembrana atrapa la temperatura del ambiente. Esto garantiza que la geomembrana absorba la temperatura cuando esta se incrementa. A mayor temperatura, menor tiempo de retención.
- Ya se cuenta con el cercamiento del biodigestor respetando el pasillo de 1.5 m para los visitantes.
- La estructura estará a 0.20 m superficial para que los visitantes del parque puedan observar su funcionamiento.
- La carga del viento no se tiene en cuenta ya que el 80% de la estructura está enterrada. La carga debido a la temperatura no se tiene en cuenta ya que Bogotá no tiene temperaturas extremas.
- No se realiza dimensionamiento de la tapa de la cámara de descarga con el fin de que los visitantes del parque puedan observar la transformación de la mezcla de materia orgánica más agua y de color café oscuro a un líquido color tierra y sin olor.
- Se propone realizar la instalación de escaleras de gato para fácil acceso a las cámaras en polipropileno ver anexo 3
- Se propone realizar el recubrimiento de superficies con pintura acrílica para su protección. Detalle en el anexo 3

2.2.4. Costos, beneficios y limitaciones de la implementación del sistema

2.2.4.1. Costos.

Para realizar la estimación de los costos del sistema propuesto, se tuvieron en cuenta principalmente las dimensiones de cada cámara que compone la estructura del biodigestor, inicialmente se realiza el cálculo de áreas de cada cámara según cortes y ejes los cuales se pueden evidenciar en el plano

geométrico (anexo 1) del presente documento. Seguido de tener el área de cada cámara se puede realizar el cálculo de volumen requerido para la placa y muros de la estructura.

Según lo descrito anteriormente se presenta en la tabla 3 los valores totales del concreto estructural requerido para la construcción de la estructura del biodigestor que se definió de 28 Mpa. Y en la tabla 4 se presenta el volumen de concreto de limpieza o pobre que se definió de 14 Mpa, propuesto en el sistema para la primera base de la placa de la estructura el cual evitara que el concreto estructural sufra un ataque de sulfatos.

Tabla 3. Valores para el volumen de concreto estructural

VOLUMEN DE CONCRETO ESTRUCTURAL EN PLACA			
Corte	Área (m2)	Longitud (m)	Volumen (m3)
A-A	0,518	1,0	0,518
B-B	0,518	0,5	0,259
C-C	0,925	9,0	8,325
D-D	0,518	1,0	0,518
Vol. Total			9,62

VOLUMEN DE CONCRETO ESTRUCTURAL EN MUROS			
EJE	Área (m2)	Espesor (m)	Volumen (m3)
A	1,12	0,2	0,224
B	1,12	0,2	0,224
C	2,13	0,2	0,426
D	2,13	0,2	0,426
E	1,12	0,2	0,224
Vol. Total			1,5240

Vol. Total Requerido para la estructura (m3)	11,1440
Peso Total de la estructura (Ton)	26,7456

Fuente: Los Autores

Tabla 4. Valores para el volumen de concreto pobre

VOLUMEN DE CONCRETO POBRE EN PLACA			
Corte	Área (m2)	Espesor (m)	Volumen (m3)
A-D	20,32	0,05	1,016
Vol. Total			1,016

Peso Total de la estructura (Ton)	2,4384
--	---------------

Fuente: Los Autores

Teniendo definida el volumen requerido de concreto para cada placa y muros se realizan las tablas de costo de materiales de construcción para cada caso, en la tabla 5 se presenta el costo total para concreto estructural de 28 Mpa con el proveedor tremix y en la tabla 6 se presenta el costo total para concreto de limpieza de 14 Mpa con el mismo proveedor, sin embargo si se llega a dar el proceso constructivo de la estructura, las directivas del parque pueden realizar cambio de proveedor de concreto si así lo considera.

Tabla 5. Costo total Concreto estructural

				REVISIÓN: 00	
				PAGINA: 1 de 5	
Nombre del Proyecto:		Reestructuración biodigestor Parque Mundo Aventura			
ÍTEM:		Cantidades concreto 28 Mpa			
Nombre del Proponente:		Angie Calderón / Diego Piratova	Cantidad (m3)	11,1443	
Revisó:			Fecha de elaboración:	18 de octubre de 2017	
PRESUPUESTO RESUMEN					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1	MATERIALES				
1.1	Concreto Tremix 28 Mpa (placa)	m3	9,62	\$ 279.789	\$ 2.691.570
1.2	Concreto Tremix 28 Mpa (muros)	m3	1,524	\$ 279.789	\$ 426.398
			SUBTOTAL		\$ 3.117.969
			IVA	19%	\$ 592.414
			TOTAL		\$ 3.710.383

Fuente: Los Autores

Tabla 6. Costo total Concreto de limpieza o pobre

				REVISIÓN: 00	
				PAGINA: 2 de 5	
Nombre del Proyecto:		Reestructuración biodigestor Parque Mundo Aventura			
ÍTEM:		Cantidades concreto 14 Mpa			
Nombre del Proponente:		Angie Calderón / Diego Piratova	Cantidad (m3)	1,016	
Revisó:			Fecha de elaboración:	18 de octubre de 2017	
PRESUPUESTO RESUMEN					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1	MATERIALES				
1.1	Concreto Tremix 14 Mpa (placa)	m3	1,016	\$ 264.610	\$ 268.844
			SUBTOTAL		\$ 268.844
			IVA	19%	\$ 51.080
			TOTAL		\$ 319.924

Fuente: Los Autores

Según se muestra en las tablas anteriores en costo total en material de concreto para la estructura del biodigestor es de \$ 4.030.307 pesos.

De igual forma según los datos obtenidos en el programa modelando la estructura SAP-2000 y según las deformaciones como se mencionó anteriormente se realiza cuadro de cantidades y costo para el acero de refuerzo el cual se definió en capítulos anteriores como acero numero 4 o de ½". En la tabla 7 se evidencia la cantidad de acero total requerido para la estructura propuesta identificado según tipo el cual se puede identificar en el plano estructural (anexo 2) y en la tabla 8 se muestra el costo total de la misma con el proveedor Almanza realizando el cuadro de costos como si se solicitara el acero figurado, de igual forma en el momento de la construcción del sistema la gerencia del parque puede cambiar de distribuidor si así lo desea.

Tabla 7. Cantidad de Acero Requerido

CANTIDAD TOTAL DE ACERO NECESARIO PARA LA ESTRUCTURA DE BIODIGESTOR					
TIPO	VARILLA #	LONGITUD (m)	CANTIDAD (UN)	LONGITUD TOTAL EN METROS DIAMETRO (1/2")	PESO TOTAL DE ACERO (KILO)
1	4	2,40	6	14,40	14,40
2	4	1,70	3	5,10	5,10
3	4	1,60	6	9,60	9,60
4	4	5,70	3	17,10	17,10
5	4	1,10	35	38,50	38,50
6	4	3,10	9	27,90	27,90
7	4	3,10	10	31,00	31,00
8	4	6,40	28	179,20	179,20
9	4	1,60	24	38,40	38,40
10	4	1,60	90	144,00	144,00
11	4	4,30	49	210,70	210,70
12	4	11,60	12	139,20	139,20
13	4	9,80	12	117,60	117,60
14	4	2,00	12	24,00	24,00
15	4	1,50	6	9,00	9,00
16	4	4,20	3	12,60	12,60
17	4	1,10	17	18,70	18,70
18	4	3,10	6	18,60	18,60
19	4	2,40	9	21,60	21,60
20	4	2,40	9	21,60	21,60
21	4	1,70	13	22,10	22,10
22	4	1,70	9	15,30	15,30
23	4	2,00	49	98,00	98,00
24	4	9,70	9	87,30	87,30
TOTAL			429,00	1321,50	1321,50

Fuente: Los Autores

Tabla 8. Costo total de Acero

				REVISIÓN: 00	
				PAGINA: 3 de 5	
Nombre del Proyecto:		Reestructuración biodigestor Parque Mundo Aventura			
ÍTEM:		Cantidades Acero			
Nombre del Proponente:		Angie Calderón / Diego Piratova	Cantidad (kl)	1321,50	
Revisó:			Fecha de elaboración:	18 de octubre de 2017	
PRESUPUESTO RESUMEN					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1	MATERIALES				
1.1	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 1	KL	14,40	\$ 1.800,00	\$ 25.920
1.2	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 2	KL	5,10	\$ 1.800,00	\$ 9.180
1.3	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 3	KL	9,60	\$ 1.800,00	\$ 17.280
1.4	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 4	KL	17,10	\$ 1.800,00	\$ 30.780
1.5	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 5	KL	38,50	\$ 1.800,00	\$ 69.300
1.6	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 6	KL	27,90	\$ 1.800,00	\$ 50.220
1.7	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 7	KL	31,00	\$ 1.800,00	\$ 55.800
1.8	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 8	KL	179,20	\$ 1.800,00	\$ 322.560
1.9	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 9	KL	38,40	\$ 1.800,00	\$ 69.120
1.10	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 10	KL	144,00	\$ 1.800,00	\$ 259.200
1.11	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 11	KL	210,70	\$ 1.800,00	\$ 379.260
1.12	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 12	KL	139,20	\$ 1.800,00	\$ 250.560
1.13	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 13	KL	117,60	\$ 1.800,00	\$ 211.680
1.14	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 14	KL	24,00	\$ 1.800,00	\$ 43.200
1.15	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 15	KL	9,00	\$ 1.800,00	\$ 16.200
1.16	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 16	KL	12,60	\$ 1.800,00	\$ 22.680
1.17	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 17	KL	18,70	\$ 1.800,00	\$ 33.660
1.18	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 18	KL	18,60	\$ 1.800,00	\$ 33.480
1.19	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 19	KL	21,60	\$ 1.800,00	\$ 38.880
1.20	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 20	KL	21,60	\$ 1.800,00	\$ 38.880
1.21	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 21	KL	22,10	\$ 1.800,00	\$ 39.780
1.22	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 22	KL	15,30	\$ 1.800,00	\$ 27.540
1.23	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 23	KL	98,00	\$ 1.800,00	\$ 176.400
1.24	ACERO FIGURADO 1/2" TIPO 24	KL	87,30	\$ 1.800,00	\$ 157.140
			SUBTOTAL		\$ 2.378.700
			IVA	19%	\$ 451.953
			TOTAL		\$ 2.830.653

Fuente: Los Autores

Según se muestra en las tablas anteriores en costo total en material de acero para la estructura del biodigestor es de \$ 2.830.653 pesos.

Como se mencionó en capítulos anteriores es necesaria la implementación de la red de distribución de biogás hacia la cochera de los cerdos para

proporcionar la calefacción requerida por el sitio, según lo descrito anteriormente se presenta la tabla 8 donde se muestra el material requerido para dicha red desde la salida del biodigestor en geomembrana contemplando su costo, hasta los quemadores que proporcionarían la calefacción con el mismo biogás a los lechones, la red de distribución se puede apreciar en el plano de la red de distribución (anexo 4)

Tabla 9. Costo total red de distribución

				REVISIÓN: 00	
				PAGINA: 4 de 5	
Nombre del Proyecto:		Reestructuración biodigestor Parque Mundo Aventura			
ÍTEM:		Red de distribución - biogás			
Nombre del Proponente:		Angie Calderón / Diego Piratova			
Revisó:				Fecha de elaboración:	18 de octubre de 2017
PRESUPUESTO RESUMEN					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1	MATERIALES				
1.1	Tubería PVC 1/2" pulgada x 6 m	ud	8	\$ 25.656	\$ 192.420
1.2	Codo P.V.C 1/2" 90 grados	ud	10	\$ 696	\$ 6.960
1.3	Válvula universal roscada 1/2"	ud	7	\$ 26.027	\$ 182.189
1.4	Tees Schedule 40 PVC 1/2"	ud	5	\$ 918	\$ 4.590
1.5	Tubo gas galvanizado 1/2" X 6m	ud	2	\$ 46.120	\$ 92.240
1.6	Tees roscada 1/2"	ud	2	\$ 2.079	\$ 4.158
1.7	Adaptador macho CU 1/2"	ud	6	\$ 2.095	\$ 12.570
1.8	Adaptador macho P.V.C 1/2"	ud	2	\$ 480	\$ 960
1.9	Limpiador removedor X 56 gr	ud	1	\$ 5.036	\$ 5.036
1.10	Soldadura liquida	ud	1	\$ 6.263	\$ 6.263
1.11	Cinta sellante Premium para roscas	ud	3	\$ 4.250	\$ 12.750
1.12	Abrazaderas 1/2"	ud	20	\$ 250	\$ 5.000
1.13	Quemadores	ud	5	\$ 160.000	\$ 800.000
1,14	Biodigestor tipo membrana	ud	1	\$ 1.180.000	\$ 1.180.000
TOTAL					\$ 2.505.136
				SUBTOTAL	\$ 2.505.136
				IVA 19%	\$ 475.976
				TOTAL	\$ 2.981.112

Fuente: Los Autores

Como se pudo evidenciar anteriormente se realiza un detalle en cantidad y costo de los materiales de construcción necesarios para realizar el proceso constructivo del sistema de biodigestor que se propone, en la tabla 10 se presenta en general el costo de materiales del proyecto el cual tiene un costo total de \$ 9.842.072.00 pesos, si se llegara a construir el modelo propuesto.

Tabla 10. Costo de materiales General

				REVISIÓN: 00	
				PAGINA: 5 de 5	
Nombre del Proyecto:		Reestructuración biodigestor Parque Mundo Aventura			
ÍTEM:		Costo total materiales			
Nombre del Proponente:	Angie Calderón / Diego Piratova	Cantidad			
Revisó:		Fecha de elaboración:	18 de octubre de 2017		
PRESUPUESTO RESUMEN					
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL	
1.1	Concreto Tremix 28 Mpa	1,00	\$ 3.117.968,62	\$ 3.117.969	
1.2	Concreto Tremix 14 Mpa	1,00	\$ 268.843,76	\$ 268.844	
1.3	Acero Figurado 1/2"	1,00	\$ 2.378.700,00	\$ 2.378.700	
1.4	Red de distribución	1,00	\$ 2.505.136,00	\$ 2.505.136	
		SUBTOTAL		\$ 8.270.648	
		IVA	19%	\$ 1.571.423	
		TOTAL		\$ 9.842.072	

Fuente: Los Autores

2.2.4.2. Beneficios.

Según el diseño de la estructura en concreto reforzado, se presenta un modelo de biodigestor en estructura resistente a variables de carga y posibles eventos naturales, la cual según se demuestra en el modelo SAP-2000 no sufre mayores deformaciones lo cual la hace estable y eficiente.

Con el biodigestor propuesto en geomembrana se garantiza una cámara de digestión resistente al punzonamiento, mayor capacidad de almacenamiento de lodo cumpliendo el objetivo de lograr el aprovechamiento total de la materia orgánica de animales de corral.

El parque obtendrá el mejor fertilizante para abono en sus hectáreas, producto de la descomposición del lodo, lo cual garantiza una mayor producción de vegetales cultivados en el terreno del parque, y ya que es un parque ecológico con propósito pedagógico obtendrá un sistema de generación de calefacción alternativa a partir de los residuos orgánicos del propio sitio el cual podrá ser expuesto a los visitantes del parque.

El parque obtendrá biogás destinado a la calefacción de las cocheras de cerdos, aumentando la reproducción y la ganancia de peso de estos animales, la conducción se propone mediante una red de distribución de bajo costo, el cual podrá ser utilizado en los horarios que la granja lo requiere de una forma manual, mediante la apertura de válvulas.

Se evidencia la utilización adecuada y amigable con el medio ambiente en el tratamiento de residuos orgánicos disminuyendo considerablemente las emisiones de CO₂ producto Del estiércol de los animales de corral.

2.2.4.3. Limitaciones.

De acuerdo al estudio realizado inicialmente del sitio caso estudio, se presenta una limitación con la ubicación de la estructura del biodigestor, dado que existe una única ubicación para disponer la misma por razones explicadas en apartados anteriores.

El costo de la estructura de biodigestor es mayor a la que se tiene actualmente, dado que se está presentando un modelo estructural en concreto reforzado el cual cumple con la normatividad colombiana vigente y es una estructura que no tienen actualmente.

El presupuesto para llevar a cabo esta estructura de biodigestor debe estar aprobada por CORPARQUES, y se realizara con fondos disponibles para la activación de los sistemas de energía que tiene actualmente el parque y que no están en funcionamiento como el biodigestor, para lo cual se debe contar con un tiempo aproximadamente de 6 meses para la aprobación del presupuesto lo cual afecta el cuadro de costos presentado por posibles variaciones.

2.2.5. Variables.

Las variables que se analizaron en esta investigación fueron la cantidad de residuos de estiércol producto de los animales del corral (kg) que maneja diariamente el parque, capacidad mínima de la cámara de fermentación (litros), producción de gas del biodigestor (m³). Y la relación costo-beneficio en la implementación del diseño propuesto en el proyecto para parque Mundo Aventura.

2.2.6. Población

Según los objetivos de esta investigación se determinaron como población objetivo los residentes, trabajadores y visitantes del parque Mundo Aventura. También se considera como población objetivo las entidades encargadas de la gestión y aprovechamiento de los residuos sólidos y materia orgánica como el Ministerio de Medio Ambiente, y las entidades relacionadas con el uso de energías limpias como la Comisión de Regulación de Energía y Gas.

2.2.7. Fuentes.

2.2.7.1. Primarias.

Para esta investigación las fuentes primarias las constituyen los trabajadores del parque Mundo Aventura.

2.2.7.2. Secundarias.

De acuerdo a lo anterior las fuentes secundarias utilizadas para el desarrollo de esta investigación son todas las fuentes bibliográficas, referencias y bases de datos consultadas.

2.2.8. Instrumento.

En esta investigación se trabajó con la observación como instrumento para la recolección de datos en la visita de campo, así como con la entrevista realizada a la gerencia del parque Mundo Aventura. La ficha técnica de estas se muestra en el Anexo 5.

3. RESULTADOS

Para la elaboración de la propuesta se tuvo en cuenta la metodología trabajada en el capítulo anterior, así como, los diferentes tipos de biodigestores rurales, el área a utilizar, los componentes del sistema y el costo de estos. Se eligió el biodigestor tipo tubular o Taiwán con geomembrana.

Los datos obtenidos arrojan que bajo el sistema propuesto se logra alcanzar la utilización de la capacidad libre del biodigestor al 40% del llenado con la mezcla de relación 4:1 agua: residuos producidos por los animales de cuatro patas dentro de la granja del parque Mundo Aventura. Sin embargo, el modelo propuesto tiene la capacidad de recibir hasta el 75% de lodo teniendo un funcionamiento del biodigestor al 100% del espacio libre para la fermentación de los residuos de estiércol producto de los animales del corral, ya que como se ha mencionado el 25% restante debe ser espacio libre para la generación del biogás.

Los costos de implementación del sistema están dentro del presupuesto que el parque tiene para la puesta en marcha del biodigestor. Según el estudio realizado se encontró que el biodigestor actual si puede reactivarse, reemplazando algunas partes como el reactor (geomembrana) y la red de conducción del Biogás y generando la nueva estructura de las cámaras que componen la estructura del biodigestor, propuesta en concreto reforzado. Es importante mencionar, que mucha de la infraestructura que ya existe, puede ser reutilizable, lo cual minimiza los costos.

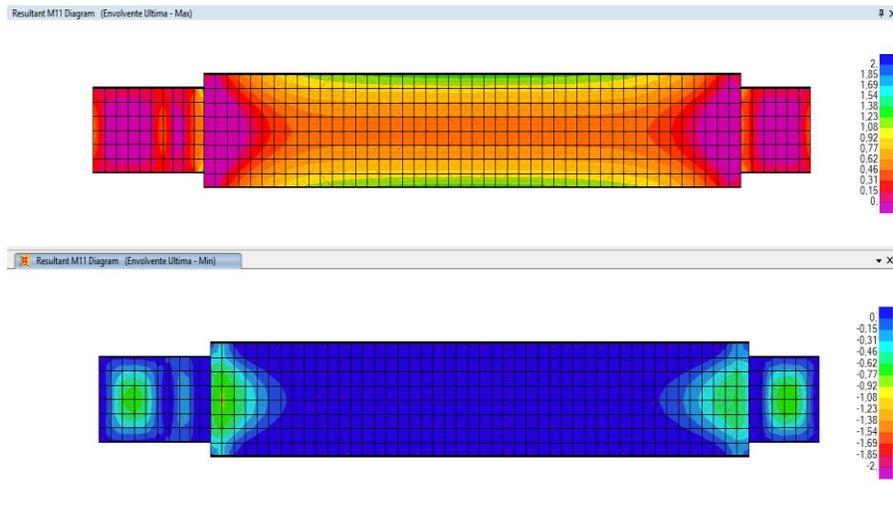
Así mismo, se encontró que la utilización de un biodigestor para el tratamiento de los residuos de estiércol producto de los animales del corral puede ser una opción viable para el aprovechamiento de la materia orgánica producida por los animales de la granja y su utilización como una fuente generadora de biogás y de energías limpias.

Según SAP-2000 se puede identificar que la estructura no sufre mayores deformaciones como se demuestra gráficamente a continuación, sin embargo, en las uniones se propone mayor cantidad de refuerzo ya que en esos cortes sufre en más magnitud la estructura.

3.1. RESULTADOS ANALISIS ESTRUCTURAL

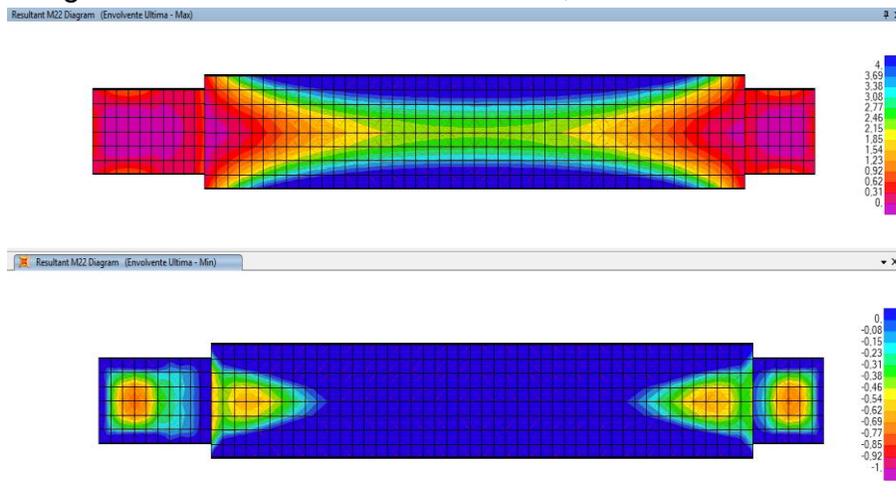
De acuerdo a modelamiento en SAP 2000 se evalúan los momentos y cortantes que presenta la estructura en la placa de fondo, muros y los posibles desplazamientos si se encuentra frente algún evento sísmico. En la figura 28 se muestran los momentos en dirección 1 de los esfuerzos en la placa de fondo, en la figura 29 se muestran los momentos en dirección 2 de los esfuerzos en la placa de fondo.

Figura 28. Esfuerzos Placa de Fondo, Momento dirección 1



Fuente: Los Autores

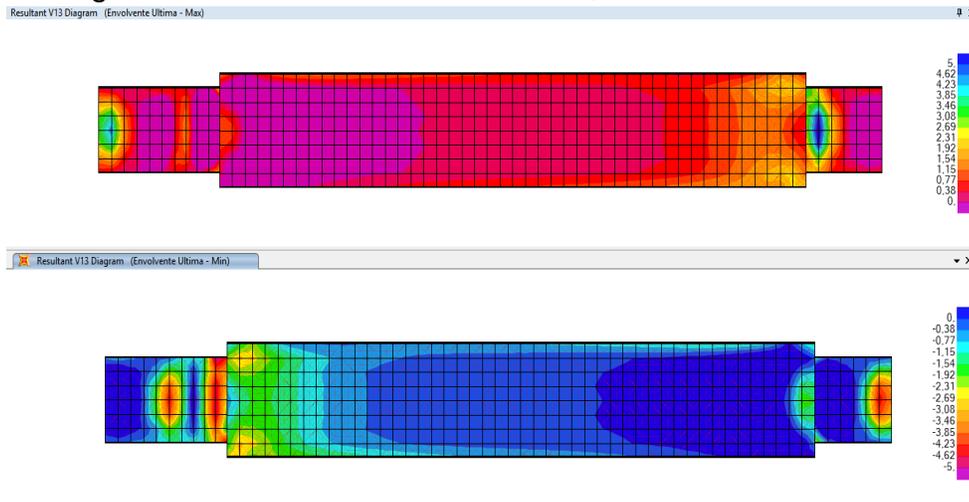
Figura 29. Esfuerzos Placa de Fondo, Momento dirección 2



Fuente: Los Autores

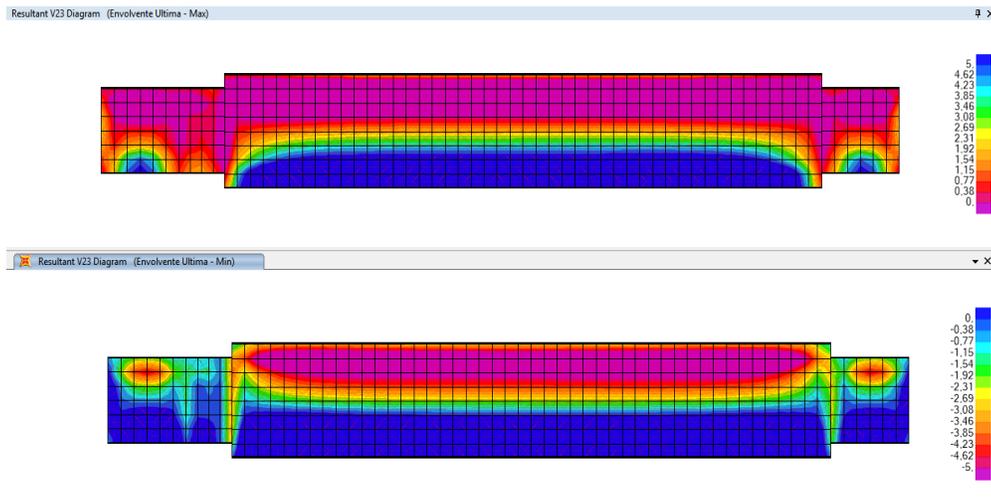
En la figura 30 se muestran los cortantes en dirección 1-3 de los esfuerzos en la placa de fondo, en la figura 31 se muestran los momentos en dirección 2-3 de los esfuerzos en la placa de fondo

Figura 30. Esfuerzos Placa de Fondo, Cortante dirección 1-3



Fuente: Los Autores

Figura 31. Esfuerzos Placa de Fondo, Cortante dirección 2-3



Fuente: Los Autores

Como análisis final de la estructura se presenta en a tabla 11 un resumen de datos obtenidos para la placa de fondo

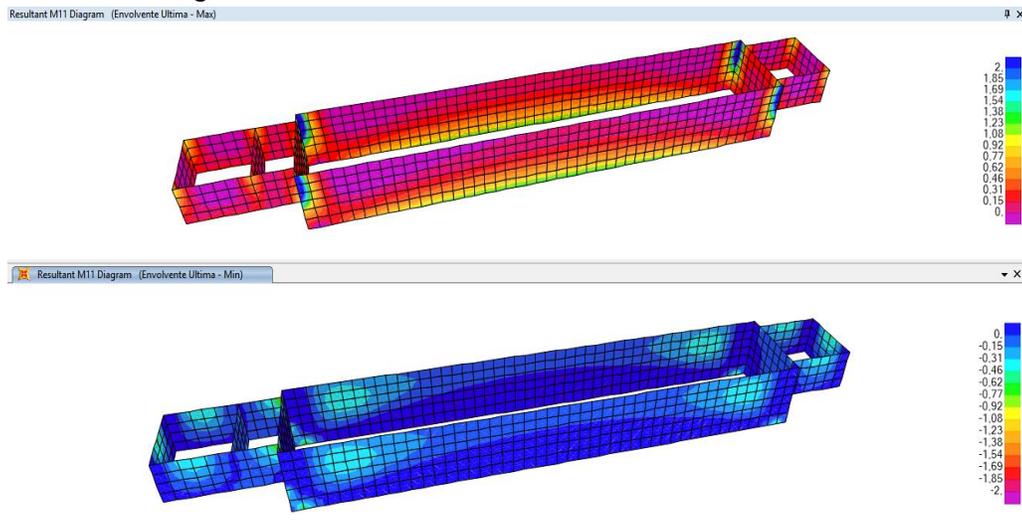
Tabla 11. Resumen de Esfuerzos Placa de fondo

Esfuerzo	Maximo	Mínimo
M1-1	1.38	-1.32
M2-2	4.32	-1.12
V1-3	4.45	-4.78
V2-3	7.53	-7.32

Fuente: Los Autores

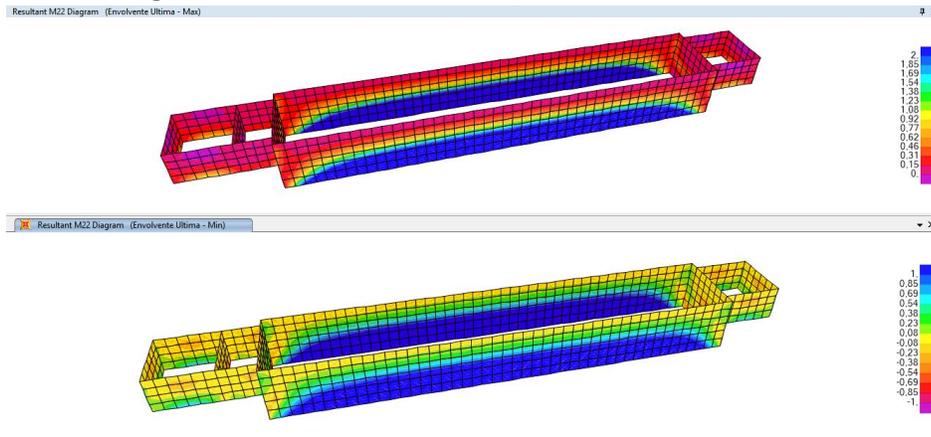
En la figura 32 se muestran los momentos en dirección 1 de los esfuerzos de los muros, y en la figura 33 se muestran los momentos en dirección 2 de los esfuerzos en los muros.

Figura 32. Esfuerzos Muros, Momento dirección 1



Fuente: Los Autores

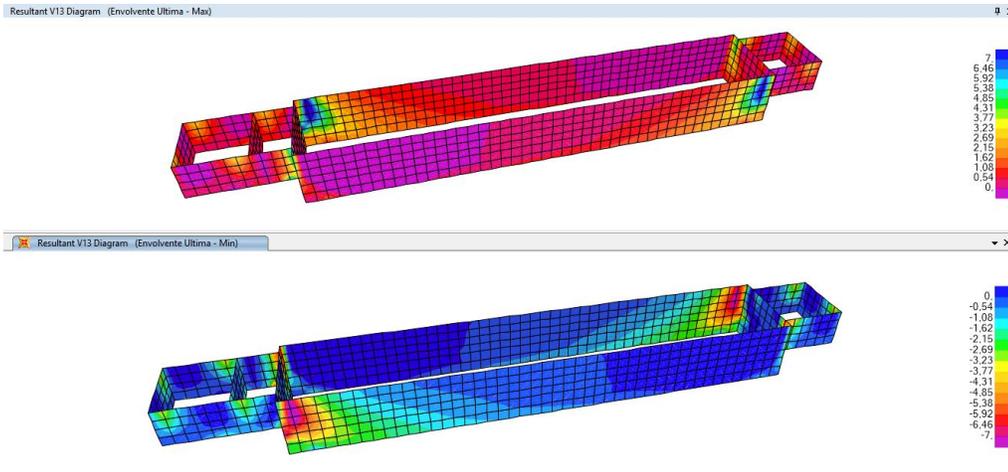
Figura 33. Esfuerzos Muros, Momento dirección 2



Fuente: Los Autores

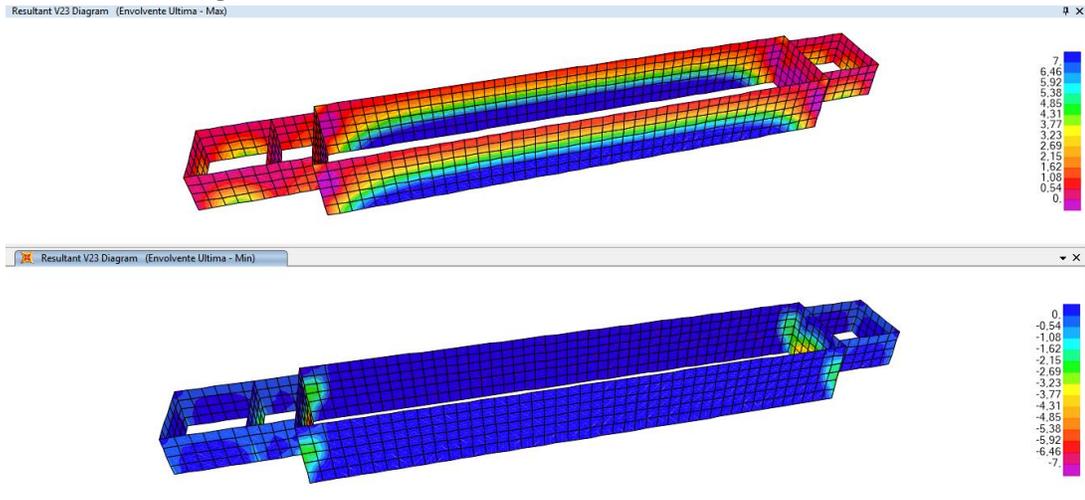
En la figura 34 se muestran los cortantes en dirección 1-3 de los esfuerzos de los muros, en la figura 35 se muestran los momentos en dirección 2-3 de los esfuerzos en los muros

Figura 34. Esfuerzos Muros, Cortante dirección 1-3



Fuente: Los Autores

Figura 35. Esfuerzos Muros, Cortante dirección 1-3



Fuente: Los Autores

Como análisis final de la estructura se presenta en a tabla 12 un resumen de datos obtenidos para los esfuerzos en los muros.

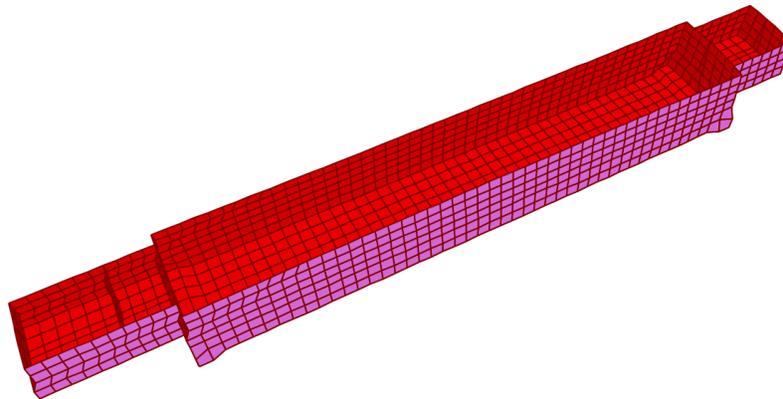
Tabla 12. Resumen de Esfuerzos Muros

Esfuerzo	Maximo	Mínimo
M1-1	2.53	-0.72
M2-2	5.17	-0.64
V1-3	7.83	-7.16
V2-3	9.43	-6.36

Fuente: Los Autores

En la figura 36 se muestran los desplazamientos en dirección x que sufriría la estructura, y en la tabla 13 se muestra un resumen de desplazamientos en dirección (x) y (y).

Figura 36. Desplazamientos dirección (x)



Fuente: Los Autores

Tabla 13. Valor de desplazamientos x, y

Dirección	Valor desplazamiento (mm)
X	3.5
Y	5.1

Fuente: Los Autores

3.2. RESULTADOS RED DE DISTRIBUCION

El trazado de la red de gas por donde va a circular el gas producido por el biodigestor se puede evidenciar en el plano de red de distribución (Anexo 4) está basado en la Norma Técnica Colombiana NTC 2505 **INSTALACIONES PARA SUMINISTRO DE GAS COMBUSTIBLE DESTINADAS A USOS RESIDENCIALES Y COMERCIALES.**

Se tienen en cuenta los accesorios adecuados para empalme, cambios de dirección, nivel, ramificaciones.

Para el diseño de la red de gas se contemplan aspectos básicos referentes al ítem 3.1 de la NTC 2505, la cual indica que se debe tener en cuenta el gas suministrado y la demanda máxima que garantiza el cumplimiento de los parámetros de funcionamiento.

Al ser una red corta no se contemplan parámetros tales como caídas de presión.

De acuerdo con la norma todos los materiales y equipos empleados en la construcción de las instalaciones deben cumplir con las normas del capítulo 4 de la NTC2505. Las tuberías plásticas deben cumplir con los parámetros de la norma NTC 1746.

Las tuberías para la conducción de gas se proponen en acero galvanizado, una tubería rígida y con un mínimo de cedula de 40, cumple con normas como la ANSI/ASME B36.10 – NTC 3470 – ASTM A106, los accesorios utilizados permiten el suministro de gas en condiciones de hermeticidad, y son compatibles con el tipo de tubería utilizada.

Las válvulas de corte se proponen de cierre rápido con giro de un cuarto de vuelta.

Como la tubería en gran parte se encuentra a la vista, se garantiza la seguridad, alineamiento y estabilidad por medio de mecanismos de amarre. (Abrazaderas). Esta red se encuentra aislada de conducciones de vapor, aguas calientes y eléctricas y la tubería propuesta cuenta con resistencia a la acción del gas y del medio exterior. Las válvulas de corte se encuentran ubicadas de acuerdo a la norma, en la acometida, y para cada punto de salida de la instalación.

3.3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Para el mantenimiento del sistema de geomembrana se debe evacuar por lo menos una quinta parte del contenido del biodigestor cada 2 o 3 años para evitar la acumulación de sólidos.

Se debe verificar que las cámaras de la estructura no tengan dispuestos objetos punzantes que pueda afectar la geomembrana, por lo cual se debe realizar la inspección diaria de las cámaras de recolección, fermentación y desagüe.

Con la producción de biol (fertilizante) el cual estará disponible en la cámara de desagüe es necesario que se esté evacuando este líquido para evitar acumulación del mismo y posible vertimiento del líquido fuera de la cámara de desagüe.

La trampa de presión siempre debe estar con la tubería sumergida 5cm de agua, esto para chequear que la presión dentro de la geomembrana es óptima, por lo cual el personal encargado del mantenimiento de la estructura debe verificar este nivel del agua diariamente.

La trampa de ácido sulfúrico se debe estar verificando por medio del tapón de inspección que la red de distribución deberá tener, por lo que el personal de mantenimiento debe verificar el estado de la viruta o esponjilla dentro de la tubería lo cual funciona como trampa, si el material está desgastado deberá cambiarse por uno nuevo.

4. CONCLUSIONES

Mediante la aplicación de la metodología planteada, se pudo construir una propuesta para reactivar el biodigestor existente en la granja del parque Mundo Aventura y resolver así el problema de generación de calefacción en los corrales de los lechones para garantizar su mantenimiento y supervivencia, así como, para mejorar el tratamiento de la materia orgánica del lugar.

Cada vez más es indispensable crear programas específicos con el fin mitigar los impactos por la mala gestión de los residuos sólidos y la materia orgánica. A nivel nacional se reconoce la necesidad de disponer de buena información sobre la generación de energías renovables que satisfagan las necesidades de los seres humanos.

El mejoramiento del biodigestor puede ser una solución para aprovechar los residuos de estiércol producto de los animales del corral, incluyendo no sólo la de los cerdos, sino de todos los animales de la granja del parque Mundo Aventura. De la misma forma, se lograría el objetivo de producir energía eléctrica renovable a través del aprovechamiento y adecuado uso de la materia orgánica promoviendo en los visitantes una pedagogía amigable con el medio ambiente y generando consciencia del beneficio del uso de energías limpias a partir del tratamiento de los residuos de estiércol producto de los animales del corral.

La fermentación anaeróbica es un proceso que puede usarse como una fuente de energía renovable e inagotable, obtenida a partir de los residuos de estiércol producto de los animales del corral, generando así un ciclo continuo de producción de combustible y abono amigable con el medio ambiente.

La principal ventaja del biodigestor es su compromiso con el medio ambiente y la producción del biogás que permitirá suplir algunas de las necesidades energéticas de la granja.

5. RECOMENDACIONES

- Se debe poner concreto pobre o de limpieza de 5 cm de espesor en toda la base de la estructura para evitar tener contacto directo con el suelo.
- Se recomienda que la estructura no quede en contacto con el nivel freático para evitar contacto con el agua.
- Se recomienda vaciar el biodigestor completamente cada dos años para evitar natas producidas por los residuos sólidos de la materia orgánica.
- Se recomienda todos los días hacer un recorrido alrededor del sistema para mirar que no haya fugas del biogás. Si se llegase a presentar, se recomienda pegar caucho en el lugar de la fisura con pegante de p.v.c.
- Se recomienda revisar la tubería y conexiones, que no estén tapadas ni que tengan fugas.
- Se recomienda tener una trampa de presión y una de ácido sulfhídrico. La primera es importante porque indica que la presión dentro del biodigestor está estable⁶⁶.
- Se debe verificar que en la cámara de recolección la materia orgánica no tenga palos, astillas, piedras que puedan perforar al biodigestor. Se recomienda un tapón de limpieza de 4 pulgadas.
- Se recomienda realizar la construcción de la estructura iniciando por la placa de fondo luego de 8 días iniciar la construcción de los muros
- Se recomienda curado permanente de la estructura durante los primeros 14 días.

⁶⁶ La tubería debe estar sumergida 5 cm, lo cual indica que la presión tiene 5 mca.

BIBLIOGRAFÍA

HERRERO, Jaime. Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para el trópico, valle y altiplano. La Paz, Bolivia: Cooperación Técnica Alemana – GTZ. 2010.

RANGEL, Samuel. Tanques de almacenamiento de Biogás (gasómetros). En: Otra Mirada. Abril, 2007. Vol.1, no. 11, p. 3.

CRUZ, Diana. Estrategia de educación ambiental para el Parque Nacional de la Cultura Agropecuaria – PANACA S.A. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. 2011.

PÉREZ, Javier. Estudio y diseño de un biodigestor para la aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile. 2010.

JIMÉNEZ, Diana. Programa de manejo de impactos ambientales en la granja porcícola Monterrey. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. 2010.

ECOINTELIGENCIA. Consecuencias de un consumo energético insostenible [en línea]. Bogotá: RES [citado 6 OCTUBRE, 2017]. Disponible en Internet: <https://www.ecointeligencia.com/2013/04/consecuencias-consumo-energetico-insostenible/>

ATREYA, B; LAHIRY, D; GIL, J. Educación ambiental: modulo para la formación de profesores y supervisores en servicio para las escuelas primarias. Nueva Delhi, India: Unesco-PNUMA Programa Internacional de Educación Ambiental. 1989.

PASQUEVICH, Daniel. La creciente demanda mundial de energía frente a los riesgos ambientales. Buenos Aires, Argentina: Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, Comisión Nacional de Energía Atómica. 2013.

PORTAFOLIO. Consumo de energía retomó su crecimiento. En: Portafolio. Bogotá, Colombia. 15 de mayo de 2017.

UPME. Proyección de Regional de Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima en Colombia. Bogotá, Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética. 2016.

DOMINGUEZ, Juan Carlos. Cerdos: ideales para fincas de clima medio. En: El Tiempo. Bogotá, Colombia. 15 de agosto de 1998.

PAREDES Juan; RAMIREZ John. Energías renovables variables y su contribución a la seguridad energética: complementariedad en Colombia. Bogotá, Colombia: Banco Interamericano de Desarrollo BID. 2017.

BOTERO, Raúl; PRESTON Thomas. Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. San José, Costa Rica: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. 1987.

COFUPRO. Manual para la construcción y puesta en marcha de biodigestores [en línea]. México: COFUPRO [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-fpchiuhua/pdf/manual_biodigestores.pdf >

GUEVARA, Antonio. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 1996.

SOLUCIONES PRÁCTICAS ITDG. Ficha técnica Biodigestores [en línea]. Lima: SOLUCIONES PRÁCTICAS [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/604/5258 >

VIDAL, Laura. Qué es un biodigestor y cómo implementarlo en casa [en línea]. Bogotá: La Bioguía [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < <http://www.labioguia.com/notas/biodigestores> >

ARAUZ, Jeremías; ULRICH, Pablo. Biodigestores. Río Negro, Argentina: Universidad de Río Negro. 2015

ROJAS, Juan Carlos. Plantas de digestión anaeróbica y producción de biogás en el ámbito doméstico, rural o en general de micro aplicaciones con énfasis para comunidades altas andinas. Mérida, Venezuela: Seminario internacional sobre el uso de energías renovables. 2003.

GUDIÉL, María; MARTÍNEZ, Manuel. Diseño de un biodigestor para una granja autosustentable. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 2005.

FAO. Manual de Biogás. Santiago de Chile, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011

HESPERIAN. Energía limpia [en línea]. Madrid: Guía comunitaria para la salud ambiental [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgeh_2011/es_cgeh_2011_cap23.pdf>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1715. (13, mayo 2014). Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá, 2003. p. 1.

COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPUBLICA. Decreto 1005. (6, junio 2003). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Bogotá, 2014. p. 4.

Méndez, C. Metodología: Diseño y Desarrollo del proceso de investigación. Bogotá: McGraw-Hill. 2001.

Bernal, C. Metodología de la Investigación. México: Pearson. 2006.

MUNDO AVENTURA. Sobre Nosotros [en línea]. Bogotá: Mundo Aventura [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < <http://www.mundoaventura.com.co/sobre-nosotros/> >

ROTOPLAST. Biodigestor [en línea]. Bogotá: Rotoplast [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: <http://www.rotoplast.com.co/biodigestor/>

INVIAS. Norma colombiana de diseño de puentes LRFD – CCP – 14 [en línea]. Bogotá: INVIAS [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>>

GEOMEMBRANAS. Ficha técnica [en línea]. Bogotá: Biodigestor [citado 10 de octubre, 2017]. Disponible en Internet: < <https://www.geomembranas.com.co>>

JARAMILLO, Gladys; ZAPATA, Liliana. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. 2008.

SEMANA. El incierto futuro de las basuras de Bogotá. En: Semana Sostenible. Bogotá, Colombia. 16 de marzo de 2017.

ANEXOS

Anexo 1: Plano geométrico del sistema. Ver documento PDF.

Anexo 2: Plano refuerzo estructural del sistema. Ver documento PDF.

Anexo 2.1: Plano refuerzo estructural del sistema. Ver documento PDF.

Anexo 3: Plano de detalles y cuadro de cantidades de obra. Ver documento PDF.

Anexo 4: Plano red de distribución. Ver documento PDF

Anexo 5: Entrevista con la gerente del parque

1. ¿Hace cuánto está sin funcionamiento el biodigestor?
2. ¿Cuánta es la cantidad de materia orgánica que se recoge en el parque?
3. ¿Le interesaría reactivar el biodigestor? ¿Por qué?
4. ¿Lo utilizaría para cocinar?
5. ¿En qué tiempo necesita la calefacción?
6. ¿El parque estaría dispuesto a costear la reactivación?