

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE
UNA UNIDAD DE VOLUMEN DE EXCRETA DE GALLINA PROVENIENTE
DE GRANJAS AVÍCOLAS.**

Jorge Luis Aguilar Genes.

Universidad del Valle.

Facultad de ingeniería.

Escuela de ingeniería eléctrica y electrónica.

Ingeniería eléctrica.

Santiago de Cali.

2015.

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE
UNA UNIDAD DE VOLUMEN DE EXCRETA DE GALLINA PROVENIENTE
DE GRANJAS AVÍCOLAS.**

Jorge Luis Aguilar Genes.

Trabajo de grado.

Director trabajo de grado: Harold José Díaz Martínez PhD.

Codirector trabajo de grado: Jairo Arcesio Palacios Peñaranda PhD.

Universidad del Valle.

Facultad de ingeniería.

Escuela de ingeniería eléctrica y electrónica.

Ingeniería eléctrica.

Santiago de Cali.

2015.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	7
AGRADECIMIENTO.....	8
RESUMEN TRABAJO DE GRADO.....	9
ANTECEDENTES	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
JUSTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	12
OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS)	13
1. <i>OBJETIVO GENERAL</i>	13
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR EL TRABAJO DE GRADO	14
1. CAPÍTULO 1. GENERACIÓN DE BIOGÁS CON EXCRETA DE GALLINA USANDO BIODIGESTORES.....	15
1.1. MANEJO DE LAS EXCRETAS DE GALLINAS Y PROBLEMAS AMBIENTALES GENERADOS	15
1.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A TRAVÉS DE BIOMASA.	16
1.3. BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	17
1.3.1. Temperatura	18
1.3.2. Método de carga.....	18
1.3.3. Tiempo de Retención.....	18
1.3.4. pH.....	18
1.3.5. Tipo de biodigestor.	19
1.4. PROCESO DE GENERACIÓN DE BIOGÁS EN UN BIODIGESTOR USANDO EXCRETA DE GALLINA	26
1.4.1. Producción de biogás con excreta de gallina.....	28
1.4.1.1. Evaporación de amoníaco [2].....	28
1.4.1.2. Mezcla de excreta de gallina con diferentes desechos agrícolas.	29
1.4.1.3. Mezcla de excreta de gallina con desechos de maíz.	29
1.4.1.4. Producción de biogás a diferentes velocidades de carga orgánica en un sistema anaerobio de dos etapas con rangos de temperatura Mesofílico y Termofílico.....	30
1.4.1.5. Proceso convencional o biometanización con gallinaza.	32
1.4.1.5. Proceso convencional o biometanización con pollinaza y/o gallinaza en sistemas discontinuos.....	33

1.4.2. Comparación de procesos de producción de biogás usando excreta de gallina.	34
2. CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA O TÉRMICA.....	35
2.1. BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.....	35
2.2. GENERADOR ELÉCTRICO.....	39
2.3. MOTOR DE COMBUSTIÓN.....	42
2.3.1. Motor de combustión externa.....	42
2.3.2. Motor de combustión interna.....	42
2.4. PLANTAS ELÉCTRICAS QUE FUNCIONAN A BIOGÁS	49
2.5. TURBINAS A GAS PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	50
2.6. HIDROGENO A PARTIR BIOGÁS PARA USO DE PILAS DE COMBUSTIBLE.	53
2.6.1. Purificación del biogás.	54
2.6.2. Reformado del biogás.....	54
2.6.3. Gas de síntesis.	55
2.6.4. Celda de combustible para la generación de electricidad.....	55
2.7. OTROS USOS DEL BIOGÁS.....	57
2.7.1. Estufas a biogás.	57
2.7.2. Iluminación.....	57
2.7.3. Refrigeración.	58
3. CAPÍTULO 3. PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON BIOGÁS Y ESTIMACIÓN DEL POSIBLE POTENCIAL.	59
3.1. Planta de generación eléctrica con biomasa.	59
3.1.1. Planta de biomasa.	60
3.1.2. Planta para obtener biogás a partir de biomasa.....	60
3.1.3. Dimensionamiento y diseño de una planta para obtener biogás a partir de biomasa.....	66
3.1.4. Operación de una planta para obtener biogás a partir de biomasa.	71
3.2. Producción de biogás y electricidad provenientes de excreta de gallina en el Valle de la cuaca.....	74
3.3. Elección de tecnología para la producción de electricidad en una avícola....	79
3.4. Generación de biogás y electricidad a partir de excreta de gallina en los departamentos de Colombia.	80

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
4.1. Recomendaciones.....	84
4.2. Conclusiones.....	84
4.3. Trabajos futuros.	85
5. BIBLIOGRAFÍA.....	86
6. ANEXOS	88
6.1. Estiércol, orina y materia prima para carga generados en el Valle del Cauca.	88
6.2. Estimación de biogás y electricidad provenientes de excreta de gallina generados en departamentos y municipios de Colombia.	89

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Esquema de trabajo para desarrollar el trabajo de grado.	14
Figura 2. Etapas del proceso de producción de biogás con biomasa. [Propia].	17
Figura 3. Tipos de biodigestores visión general de los que serán estudiados [Propia].	19
Figura 4. Biodigestor tipo batch [8].	21
Figura 5. Digestor de estructura sólida estática [6].	21
Figura 6. Digestor de estructura sólida móvil [6].	22
Figura 7. Biodigestor de balón plástico [6].	23
Figura 8. Biodigestor con geo-membrana [Propia].	24
Figura 9. Biodigestor prefabricado [10].	25
Figura 10. Biodigestor con desplazamiento horizontal [Propia].	26
Figura 11. Biodigestor con filtros de amoníaco y sistema de batido [2].	28
Figura 12. Producción total de biogás para un sistema con dos etapas anaeróbicas a diferentes rangos de temperatura. [15]	31
Figura 13. Composición del biogás [6].	35
Figura 14. Emisiones contaminantes de diferentes combustibles [19].	39
Figura 15. Estados del generador durante la generación de electricidad y comportamiento de la corriente en generador AC [21].	40
Figura 16. Tipos de generadores eléctricos [Propia].	41
Figura 17. Comportamiento del motor de combustión interna a cuatro tiempos ilustrando los cuatro procesos de funcionamiento [Propia].	43
Figura 18. Motor de gasolina con carburador modificado para usar biogás [22].	44
Figura 19. Diferentes tratamientos para el biogás [24].	45
Figura 20. Artefacto y motor diésel modificado para funcionar con biogás [16]. ...	48
Figura 21. Planta eléctrica a biogás.	49
Figura 22. Turbina a gas y sus partes [27].	51
Figura 23. Procesos por los que pasa el biogás antes de ser convertido a hidrogeno [Propia].	53
Figura 24. Reacción del metano tras el reformado con vapor de agua [29].	55
Figura 25. Resultados del reformado de biogás con reformado seco.	55

Figura 26.	Pila de combustible y proceso del hidrogeno en su interior [28].....	56
Figura 27.	Central de generación eléctrica a biomasa [32].	60
Figura 28.	Resumen del funcionamiento de una planta donde se obtiene biogás a partir de biomasa, para posteriormente generar electricidad [Propia].	61
Figura 29.	Válvulas de gas [6].	63
Figura 30.	Trampa de ácido sulfhídrico y agua con grifo de purga [6].....	64
Figura 31.	Trampa de llama o trampa de flama [33].	65
Figura 32.	Planta para obtener biogás a partir de biomasa [6].....	65
Figura 33.	Primo motor generador [34].	69
Figura 34.	Etapas de la operación de un biodigestor [Propia].	72
Figura 35.	Municipios del Valle del Cauca con más de un mega de generación de electricidad proveniente de excreta de gallina [Propia].	79

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1.	Clasificación de la excreta animal.	16
Tabla 2.	Composición química de los diferentes tipos de excreta de gallina [12].	27
Tabla 3.	Procesos que mejor aprovechan la excreta de gallina como fuente de biomasa para la producción de biogás.....	34
Tabla 4.	Comparación del poder calorífico del biogás con el de otros combustibles.....	36
Tabla 5.	Comparación del poder calorífico entre la mezcla de aire y diferentes tipos de combustible.	36
Tabla 6.	Equivalencias del biogás respecto a otros combustibles.	37
Tabla 7.	Emisiones de CO tras la combustión de diferentes combustibles (Datos tomados de [19]).	38
Tabla 8.	Diferencias de los motores de combustión interna a dos y cuatro tiempos.	43
Tabla 9.	Comparación de una turbina a gas contra un motor de combustión y una turbina a vapor.....	51
Tabla 10.	Comparación de celdas de combustible, datos tomados de ([28]).	57
Tabla 11.	Comparación de los diferentes tipos de biodigestores.	62
Tabla 12.	Comportamiento de las máquinas usando biogás como combustible.	70
Tabla 13.	Valores específicos para estimar la producción de biogás en el Valle del cauca.	75
Tabla 14.	Estimación de la producción de biogás y electricidad a partir de excreta de gallina en los municipios del Valle del cauca.	76
Tabla 15.	Estimación de la producción de biogás y electricidad a partir de excreta de gallina en los departamentos de Colombia.	81

DEDICATORIA.

Este trabajo va dedicado a Dios, quien puso en mí la visión de querer ser ingeniero electricista, quien de niño me prometió que estudiaría en una de las mejores universidades del país, quien a diario me da la fuerza para levantarme y para creer que todo es posible, quien en los puntos más fuerte de este trabajo me motivo a seguir y no a desfallecer, quien con su enseñanza y con su vivencia me ha llevado a conquistar este, y más sueños.

Dedico también este trabajo a mi madre, Beatriz del Carmen Genes Torres, quien es la inspiración de mi vida, quien es mi más grande ejemplo y quien es mi más grande héroe. Aquella mujer que sin importar las condiciones siempre se esforzó para sacarme una sonrisa, para que me educara bien, para que me alimentará de la mejor forma, y aquella mujer que me enseñó que debemos perseguir nuestros sueños, aquella que me enseñó la importancia del estudio y la importancia del querer superarse.

Por ultimo dedico este trabajo a la universidad del Valle y al grupo de investigación CONVERGÍA, quienes depositaron su confianza en mí, me instruyeron y me guiaron para realizar este trabajo de grado.

TCi

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a Dios, por ser el más grande inversionista de este trabajo de grado, sin él y sin su guía nada de esto fuera posible.

Agradezco a mi madre Beatriz del Carmen Genes Torres, quien cuando le conté el tema de mi trabajo de grado al igual que yo se emocionó y me dijo que sería una muy buena idea, aunque ninguno de los dos sabía exactamente del tema.

Agradezco a mis abuelos maternos, Víctor Genes Petro y Nora Isabel Torres Fernández, quienes estuvieron aconsejándome y dándome ánimos para que culminara mi trabajo de grado de forma óptima en el tiempo establecido por la universidad.

Agradezco a los doctores Harold José Díaz Martínez y Jairo Arcenio Palacios Peñaranda, quienes dedicaron parte de su tiempo y su conocimiento para que este trabajo tuviera orden y enseñanzas que sirvieran más adelante como referencia para comenzar una nueva línea de investigación en el país.

Agradezco a María Angélica Hernández Córdoba, Tatiana Arango, José Julián Muriel Santander, Edison Antero Borrero y Mary Luz Guevara, por dedicar parte de su tiempo a leer el documento y ayudarme a corregir problemas de escritura, a resolver dudas y a hacer de este un mejor trabajo.

Agradezco a todo el personal de la Universidad del Valle sede Meléndez, especialmente a todo el personal concentrado en la escuela de ingeniería eléctrica y electrónica, sin ellos el ambiente educativo no sería el mismo, las enseñanzas no serían igual y el conocimiento no tendría vida y sentido.

TCi

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

Español.

Palabra claves: Excreta de gallina, biomasa, electricidad, biodigestor.

La demanda por productos provenientes de la industria avícola está en constante aumento, provocando que tras la oferta se generen grandes cantidades de subproductos como lo son la excreta, orina y plumas. Estos subproductos no están siendo aprovechados al 100%, y además si no son manejados de forma óptima, pueden representar un problema para el medio ambiente.

Este trabajo busca ofrecer una guía a la industria avícola, donde se muestre una alternativa diferente de cómo manejar y aprovechar los subproductos generados, con el fin de disminuir el impacto ambiental ocasionado por no utilizar el 100% de los subproductos y además buscar mitigar el desbalance energético de las regiones a causa de su alta demanda de electricidad y gas, pero su poca generación de recursos propia.

Por consiguiente, en este trabajo se habla acerca del proceso de generación de biogás a partir de excreta de gallina, las tecnologías que aprovechan este biocombustible y acerca de las plantas para llevar a cabo todo el procesamiento de biomasa para obtener biogás y posteriormente electricidad o gas.

Ingles.

Word keys: Excreta of hen, electricity, biomass, bio-digester.

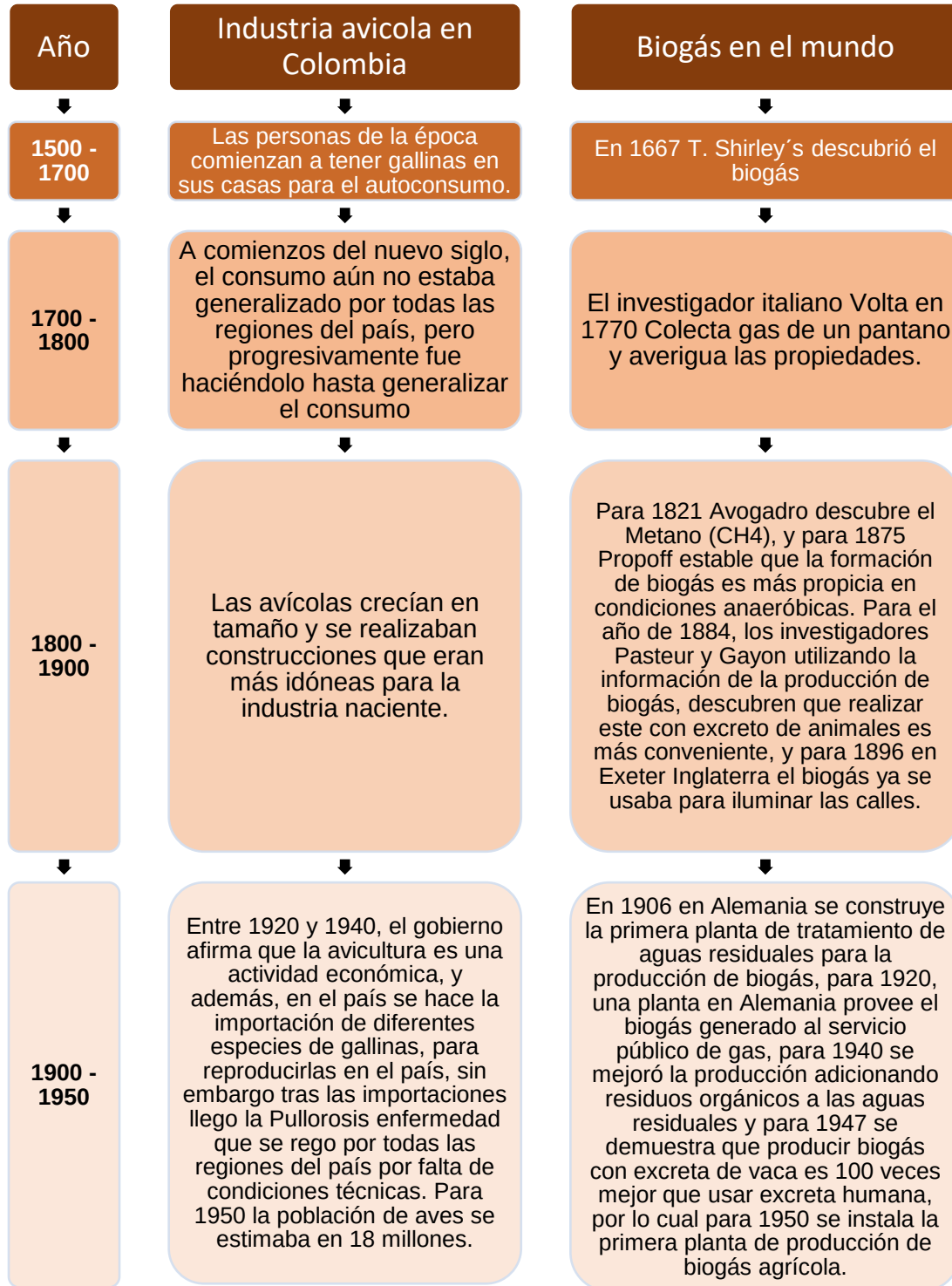
The demand for products from the poultry industry is constantly rising, causing that following the bid generated large quantities of by-products such as excreta, urine and feathers. These by-products are not being used at 100%, and also if they are not handled optimally, can represent a problem for the environment.

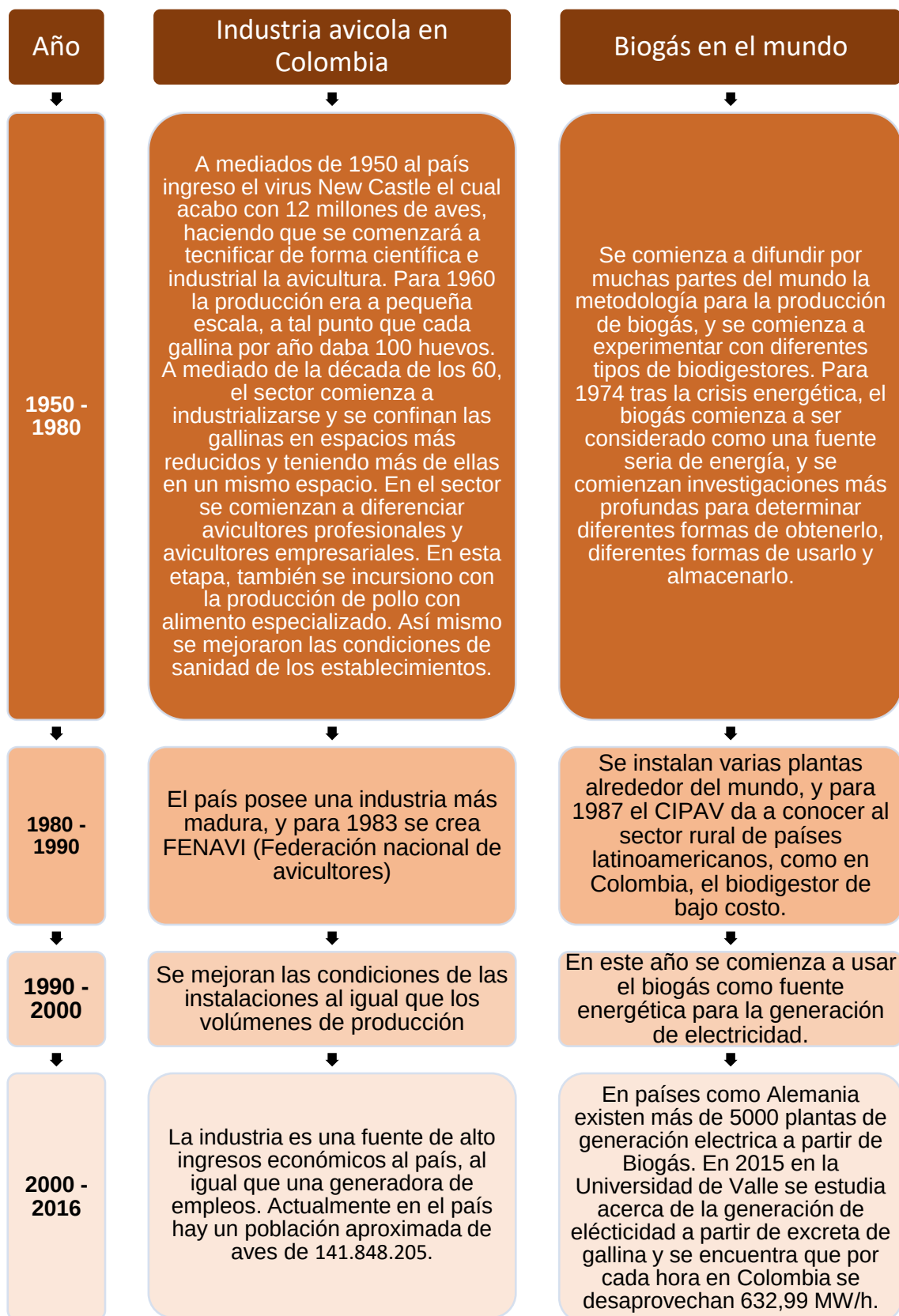
This work seeks to provide a guide to the poultry industry, where to display an alternative of how to manage and leverage generated by-products, to reduce the environmental impact caused by not using 100% of by-products and also seek to mitigate the energy imbalance of the regions because of its high demand for electricity and gas, but your little generation resources.

Therefore, this work refers about the process of generation of biogas from excreta hen, technologies that take advantage of this biofuel and close plants to carry out all processing of biomass to biogas and subsequently electricity or gas.

ANTECEDENTES

A continuación, se muestra un cronograma con los antecedentes de la industria avícola en Colombia y la producción de biogás a nivel mundial.





PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sociedad actual se ha convertido dependiente del fluido eléctrico, por lo cual para suplir dicha demanda se deben tener múltiples centros de generación los cuales, en Colombia, son impulsados generalmente por fuentes como el agua, el gas y el carbón, las cuales representan un 95 % de la generación del país en el año 2014, y dichas soluciones implican problemas ambientales debido al alto impacto generado en los ecosistemas donde son instaladas.

Para buscar una solución a la alta demanda y causar un menor impacto ambiental aparecen diferentes fuentes de energía, como lo son: el sol, el aire, las mareas y la biomasa entre otras; las cuales en comparación con las usadas en el país se encuentran en un estado incipiente de desarrollo, lo que causa que muchas de estas fuentes sean desaprovechadas o en el peor de los casos mal usadas.

Dentro de la búsqueda de nuevas fuentes de energía, se ha encontrado que la industria avícola que es un negocio a escala mundial en la actualidad, es la mayor generadora de excreta de gallina, la cual es una fuente de biomasa con un alto poder energético que se está desaprovechando en gran parte del mundo. Esta industria en el continente americano es donde más se lleva a cabo y Colombia ocupa el sexto puesto de la producción en este continente, país donde los departamentos de Cundinamarca, Santander y Valle del Cauca poseen los primeros tres puestos de más alta producción avícola.

Los excrementos de gallina producidos en las avícolas del país y en el Valle del Cauca, son una fuente abundante de biomasa, donde aproximadamente el 60% está siendo desechado y el resto se usa como fertilizante o insumo para la fabricación de concentrado para animales cuadrúpedos, desaprovechándose así el potencial energético; además el tratamiento que se aplica a la excreta sin usar, no garantiza la máxima reducción del impacto ambiental generado por esta fuente sin tratar.

JUSTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La investigación que se realizará en este trabajo busca estudiar una solución para la generación de energía eléctrica a partir de los excrementos de gallina, con la cual se planea ayudar a resolver diversas problemáticas de índole ambiental, energético, económico y tecnológico que afectan en la actualidad al país y el departamento del Valle del Cauca.

Un sistema de generación de energía eléctrica por biomasa a partir de excremento de gallina producido en las avícolas del Valle del Cauca, reduciría en un alto porcentaje la contaminación ambiental existente y brindaría la posibilidad de mejorar la economía de las avícolas, ya que permitiría generar biogás el cual se puede usar

para los sistemas de calefacción usados en la avícola o para generar energía eléctrica y realizar así un proceso de autoabastecimiento, disminuyendo costos operativos.

Al separar el amoníaco de la excreta de gallina y realizar el proceso de producción de biogás el residuo del proceso puede ser usado como un fertilizante con niveles bajos de amoníaco, siendo provechoso para las tierras que sean abonadas con este, mejorando así las diversas problemáticas ambientales generadas por la excreta sin tratar y mejorando el ciclo económico de la avícola y del país.

Las avícolas que opten por esta tecnología podrán estimar cuantos metros cúbicos de biogás pueden generar a partir de ciertos kilogramos de excreta, y además se beneficiaran económicamente, ambientalmente y ayudaran a reducir el déficit energético del Valle del Cauca puesto que la capacidad de generación de fluido eléctrico instalada en el departamento no cubre la totalidad de la demanda energética en este.

OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS)

1. OBJETIVO GENERAL

- Estimar el potencial de energía eléctrica a partir de una unidad de volumen de excreta de gallina proveniente de granjas avícolas *.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar qué tipos de tecnología son viables de implementar para la generación eléctrica con excreta de gallina en el Valle del Cauca.
- Identificar las tecnologías comerciales más adaptables en el proceso de generación de energía eléctrica a partir de excreta de gallina.
- Estimar el potencial de generación eléctrica y la disminución de impacto ambiental por una unidad de volumen de excreta de gallina.

* Unidad de Volumen hace referencia a los kilogramos necesarios de excreta de gallina para producir m³ de biogás.

METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR EL TRABAJO DE GRADO

Para desarrollar el trabajo de grado, se siguió el esquema de trabajo descrito en la Figura 1.

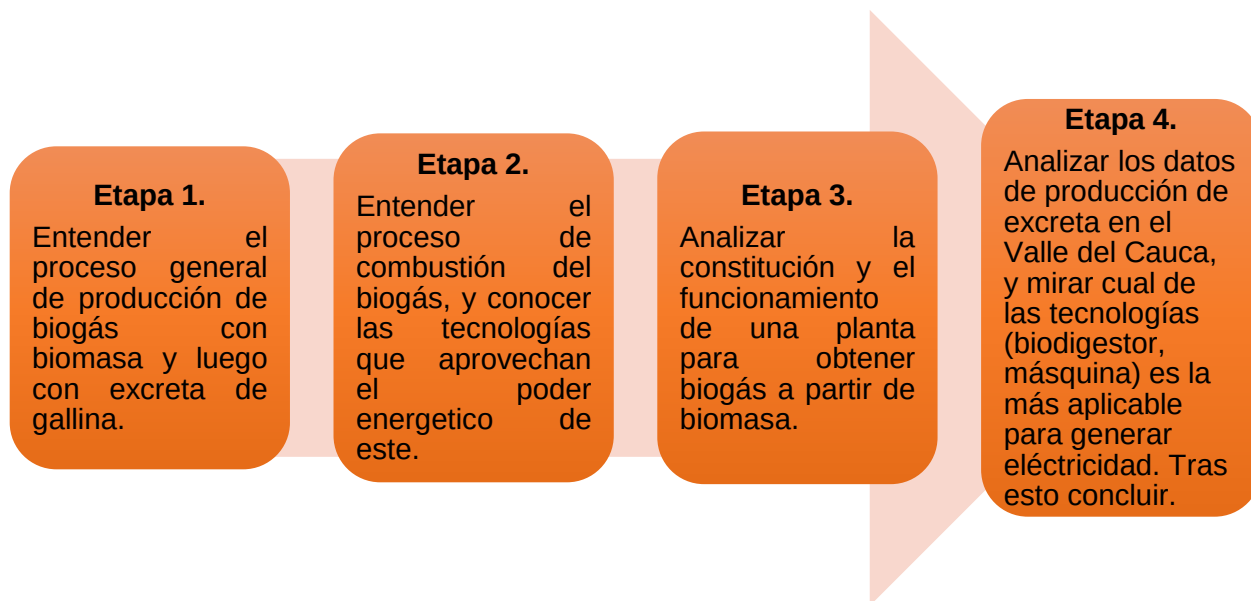


Figura 1. Esquema de trabajo para desarrollar el trabajo de grado.

El trabajo de grado se realiza por etapas para facilitar el aprendizaje de temas que no están relacionados con el área de enfoque de la carrera de ingeniería eléctrica, por tanto, para cada una de estas etapas se debe consultar, asesorar con personal experto, confrontar referencias bibliográficas entre otras actividades de adquisición de conocimiento, para así facilitar el aprendizaje de nuevos temas y permitir que cada una de las etapas tenga un desarrollo claro, preciso, técnico e informativo.

Así mismo la temática central a tratar durante el proceso de desarrollo de cada una de las etapas, se seleccionó acorde a los objetivos planteados en el anteproyecto del trabajo de grado, ya que para poder concluir acerca de los beneficios ambientales, las tecnologías más adaptables y comerciales al proceso así como la estimación de generación de electricidad en Valle del Cauca, se debe conocer como es el proceso, como actúa el biogás durante la combustión según la máquina usada, saber cómo es la operación y construcción de una planta de generación eléctrica a partir de biogás para así tener autoridad y dominio en el tema para poder seleccionar un proceso que de forma general permita estimación de la generación de electricidad con esta tecnología en Valle del Cauca que este lo más cerca a la realidad.

1. CAPÍTULO 1. GENERACIÓN DE BIOGÁS CON EXCRETA DE GALLINA USANDO BIODIGESTORES.

La alta demanda de fluido eléctrico y los problemas ambientales afectan la actual sociedad, la cual con su estilo de vida exige la generación de energía eléctrica con fuentes renovables y respetuosas con el medio ambiente.

Una fuente renovable para la generación de energía es la biomasa, la cual por medio de un proceso anaeróbico en un biodigestor produce biogás, el cual es usado para cocción, calefacción, generar electricidad entre otros. Este gas fue descubierto en el año de 1667 y para el año de 1884 Pasteur y Gayón descubrieron que producirlo con estiércol de animales aumentaba el poder calorífico y finalmente en 1896 comenzó el uso para calentar e iluminar las calles en Exeter Inglaterra y más tarde para la crisis energética de 1970, estudios realizados de biogás, llevaron al desarrollo de actividades que conllevaron a la generación de energía eléctrica [1].

Actualmente el Valle del Cauca figura como un departamento de alta producción de biomasa, donde el bagazo de caña de azúcar es la única fuente de biomasa que se está aprovechando para la producción de electricidad. Adicional a la alta producción de caña de azúcar, el departamento también produce un alto volumen de gallinas y huevos, donde un subproducto de estos es la gallinaza o excreta, la cual es una fuente de biomasa para generación eléctrica que está siendo desaprovechada, pero podría serlo si es usada para la producción de biogás dándole un mejor manejo, y consecuentemente reducir problemas ambientales ya que el uso del biogás producido al ser quemado para la generación de electricidad, reduce las emisiones de carbono a la atmosfera, puesto que cada tonelada quemada de biogás en este proceso disminuye la producción de CO₂ en 20 toneladas.

1.1. MANEJO DE LAS EXCRETAS DE GALLINAS Y PROBLEMAS AMBIENTALES GENERADOS

Las avícolas del país y las del departamento del Valle del Cauca suelen almacenar la excreta de gallina en una bodega, en donde dejan que esta pierda su porcentaje de humedad, y luego es procesada para venderla como fertilizantes para el sector agrícola, o en algunos casos es usada como materia prima para fabricar alimentos veterinarios para otras especies de animales. Otro tratamiento de la excreta es desecharla al ambiente sin ser tratada lo que genera un alto grado de contaminación.

La excreta de gallina causa diferentes problemáticas ambientales como el olor desagradable, el ambiente alrededor de la bodega de almacenaje de excreta se degrada debido al alto porcentaje de amoníaco que además impide el aprovechamiento energético de esta fuente [2], y así mismo la excreta al ser tratada para convertirse en fertilizante contamina el agua, puesto que diversas bacterias presentes en esta, hacen que dentro del agua aumente progresivamente el

crecimiento de algas y ocurra una disminución progresiva del oxígeno, causando así un problema en la fauna y especies beneficiadas.

1.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A TRAVÉS DE BIOMASA.

La producción de biogás comienza seleccionando una fuente adecuado de biomasa, la cual es la materia prima que va a sufrir un proceso de descomposición de forma anaeróbica para posteriormente producir biogás.

Para la producción de biogás en la actualidad existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser usadas como: residuos de café, yerba, lácteos, restos de carnes, alimentos en mal estado, hojas, malezas, semillas, frutas y verduras, aserrín, cama de corral de ganado o pollos, estiércol y orina animal entre otros.

En este trabajo se usará la excreta animal como fuente principal de biomasa, la cual puede ser clasificada por diferentes formas o estados los que se explican a continuación en la Tabla 1 [3].

Tabla 1. Clasificación de la excreta animal.

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Estiércol crudo	Contenido de Sólidos de 8-25% depende del tipo de animal; se diluye o espesa de acuerdo a las necesidades
Estiércol Líquido	Contenido de sólidos <3%; es lavado con agua de donde está depositado; producción de biogás en clima cálido; asociado a la producción de cerdos
Estiércol Slurry	Contenido de Sólidos de 3-10%; es bombeado al sistema y se almacena en tanques; se mezcla con algo de agua.
Estiércol Semisólido	Contenido de Sólidos 10-20%; Puede ser usado si tiene menos de una semana; no requiere adición de agua.
Estiércol Sólido	Contenido de sólidos >> a 20%; No es deseable para la producción de biogás al envejecer o secarse.

Tras conocer los diferentes estados de excreta animal que se pueden encontrar, se aclara que en este documento se usará la excreta de gallina como fuente principal de biomasa, y en la sección 1.4 del capítulo 1, en los diferentes estudios consultados se usarán algunos de los estados mencionados en la Tabla 1.

Tras seleccionar la fuente de biomasa, es necesario para la producción de biogás un biodigestor, el cual es una bóveda sellada herméticamente que es cargada con residuos orgánicos o biomasa [4], y en su interior, por medio de un proceso anaeróbico y libre de oxígeno, se realiza una fermentación permitiendo la descomposición de la biomasa y posteriormente la generación de biogás. Para que

este proceso funcione, es necesario que dentro del biodigestor se produzcan bacterias anaeróbicas, y sobre todo de tipo metanogénicas (*Bacterias capaces de descomponer materia orgánica y así contribuir a la formación de metano*). En la Figura 2 se muestra el proceso de producción de biogás usando biomasa.

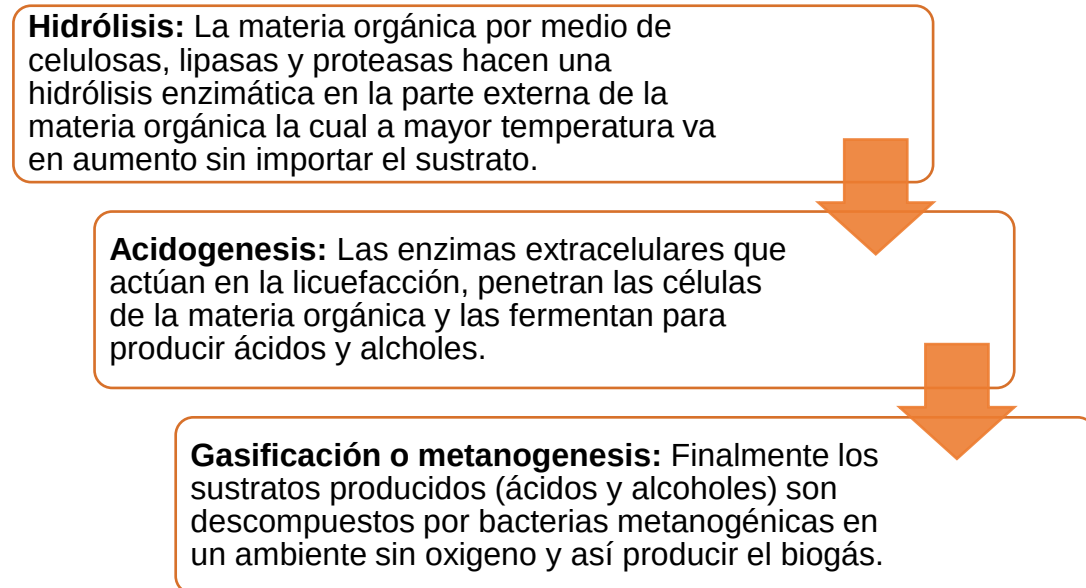


Figura 2. Etapas del proceso de producción de biogás con biomasa. [Propia].

Adicionalmente para la producción de biogás es necesario que la biomasa posea un alto porcentaje de carbono y de nitrógeno, puesto que el carbono es la sustancia que las bacterias convierten en metano, mientras que el nitrógeno funciona como multiplicador bacteriál y como catalizador, acelerando el proceso de producción del biogás [5]. Así mismo “la relación deseada de carbono y de nitrógeno debe ser entre 15 y 30 partes de carbono por una de nitrógeno” [6].

1.3. BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

Para la fabricación de biogás es necesario un biodigestor, el cual es una bóveda sellada herméticamente que es cargada con biomasa. “Un biodigestor dentro del proceso de producción de biogás cumple el papel de optimizar de forma natural el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaeróbicas que descomponen y tratan los residuos dejando como subproducto gas combustible y un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada” [6].

Los biodigestores debido a su importancia en el proceso de fabricación de biogás y además al ser artefactos de fácil acceso para las diferentes clases socioeconómica hacen que este posea una tecnología que se ha desarrollado teniendo en cuenta diversos factores como: económicos, la eficiencia requerida para el proceso,

rendimiento de energía producida y rendimiento de operación. Sin embargo, para realizar una óptima selección del biodigestor se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1.3.1. Temperatura

Para producir biogás basta tener el biodigestor cargado de biomasa y producir el proceso anaeróbico con temperaturas entre los 10°C a 68 °C, pero la temperatura juega un papel fundamental dentro de la producción de biogás al interior de un biodigestor, puesto que es inversamente proporcional al tiempo de retención de la biomasa, es decir, a mayor temperatura se produce más rápidamente biogás y se hace necesario recargar el sistema de forma más constante.

Se aprecia que el proceso se puede realizar en un gran rango de temperaturas, pero la fermentación de la biomasa es más eficiente en el rango Mesofílico (30 °C a 45°C) y en el rango Termofílico (55 °C a 60°C) [5].

1.3.2. Método de carga

Es importante realizar el proceso de carga y descarga del biodigestor preferiblemente de forma diaria, donde las cargas deben ser de forma homogéneas para que las bacterias al interior del biodigestor trabajen de forma eficiente y procesen la mayor cantidad de materia. Adicionalmente al realizar la descarga de forma diaria hará que el compostaje que se obtenga posea mayor cantidad de nutrientes, lo que lo hace ideal para el uso como fertilizante.

Si el método de carga y descarga llega a ser diferente al ya mencionado o no es constante y homogéneo durante su proceso, ocasionará una producción de biogás ineficiente o en algunas ocasiones nula. Es importante mencionar que se prefiere que la materia prima usada para cargar el sistema sea lo más fresca posible, pues de esta forma la producción de biogás es mayor.

1.3.3. Tiempo de Retención.

El tiempo de retención es el tiempo que dura la biomasa dentro de un biodigestor. Hasta ahora no se ha encontrado una forma clara para obtener y estimar un tiempo de retención o una metodología para hacerlo, pero se sabe que a medida que la temperatura va en aumento dentro del biodigestor el tiempo de retención va disminuyendo, lo que se traduce como fabricación de biogás más rápidamente. Sin embargo, la UPME propone una formula como se verá en el capítulo 3 de este documento y así poder estimar un tiempo estimado de retención.

1.3.4. pH.

El pH de la materia prima indica que tan adecuado es el proceso que se está realizando, ya que existe un rango aceptado para la producción de biogás que ronda de 6 a 9. El pH durante el proceso se determina según el tipo de temperatura y según el tipo de biodigestor que se utilice.

Los niveles de pH recomendados para una producción de biogás eficiente se encuentran entre 6.7 y 7.5, niveles que se cumplen par diferentes rangos de

temperaturas y diferentes tipos de biodigestores. Cuando se usan rangos de temperatura Termofilico y se usan procesos para la eliminación de amoniaco, los niveles de pH pueden ascender al rango de 7.8 a 9 para que de esta forma la producción de biogás sea mayor.

Durante la producción de biogás es importante que el pH se mantenga constante en los rangos de operación mencionados anteriormente, ya que al no mantener constante este rango, significa que la operación que se está realizando con el biodigestor no es la correcta y se está subutilizando el sistema. Así mismo es necesario hacer que el pH no se torne muy acido, ya que en la tercera etapa de producción de biogás conocida como gasificación, actúan bacterias metanogénicas las cuales inhiben su acción mientras el pH se torna acido, lo que aumenta la proporción de gas carbónico en el biogás lo cual no resulta conveniente [5].

El pH se puede tornar acido en un biodigestor debido a:

- Un cambio excesivo en la carga.
- El permanecer por largo tiempo sin recibir carga.
- La presencia de productos tóxicos en la carga.
- Un cambio amplio y repentino de la temperatura interna.

“La alta acidez se puede corregir adicionando agua con cal” [5].

1.3.5. Tipo de biodigestor.

Se puede encontrar diferentes tipos de biodigestores, por lo cual en la Figura 3 se da una visión general de los tipos de biodigestores y los que se discutirán en este trabajo.

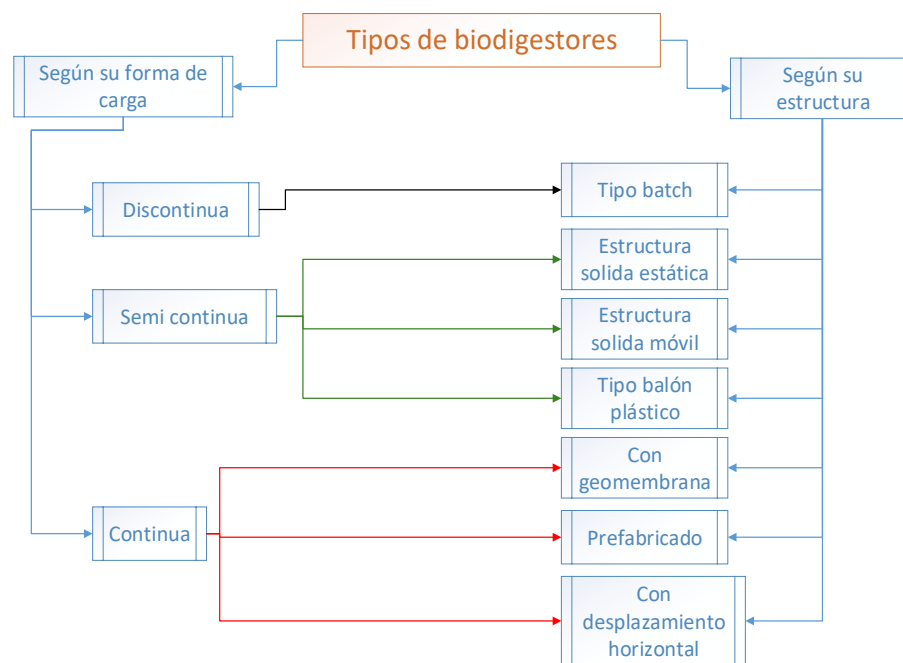


Figura 3. Tipos de biodigestores visión general de los que serán estudiados [Propia].

Como se aprecia en la Figura 3 se encuentran tipos de biodigestores según su forma de carga y según su tipo de estructura, los cuales se explican a continuación.

1.3.5.1. Biodigestor de flujo discontinuo.

Este biodigestor es cargado y sellado, este produce biogás entre 30 a 180 días siguientes a la carga del biodigestor, pero al finalizar el proceso de descomposición de su carga es necesario vaciarlo e iniciar de nuevo el proceso. Este funciona a temperatura del ambiente.

1.3.5.2. Biodigestor de flujo semi continuo.

Esta clase de biodigestores es cargada con biomasa a diario en cantidades menores comparado con biodigestor de flujo continuo. La carga debe mantenerse de forma uniforme y es funcional para la gran mayoría de los diferentes tipos de estructura para un biodigestor.

Poseen un alto uso en el sector rural, y a diario debe ser cargados y descargados en igual cantidad para ambos procesos. Un sano manejo de carga y descarga del biodigestor harán que se produzca biogás de forma permanente, puesto que las bacterias al interior de este están siendo constantemente alimentadas con nutrientes. [7]

1.3.5.3. Biodigestor de flujo continuo.

Esta clase de biodigestores es cargada con biomasa a diario, donde la carga debe mantenerse de forma uniforme y es funcional para cualquier tipo de estructura del biodigestor. Son usados para manejar y tratar una cantidad considerable de biomasa, por lo cual requieren de alta tecnología para controlar todo el proceso.

Adicionalmente los biodigestores aparte de clasificarse según su tipo de carga o flujo, también se pueden clasificar debido a su forma estructural como se aprecian en los siguientes tipos de biodigestores.

1.3.5.4. Biodigestor tipo batch.

Conocido como el modelo intermitente, este biodigestor posee un flujo de carga de forma discontinua, por lo cual es cargado una vez y se descarga el líquido digerido cuando el proceso de fermentación finaliza, es decir, cuando se detiene la producción de biogás en el interior de este. El proceso tiene una duración de 2 a 4 meses, donde el tiempo se determina según las condiciones de temperatura alrededor y dentro del biodigestor. Al ser un biodigestor de este tipo es muy difícil garantizar una producción continua y de volumen constante. En la Figura 4 se observa esta clase de biodigestor.

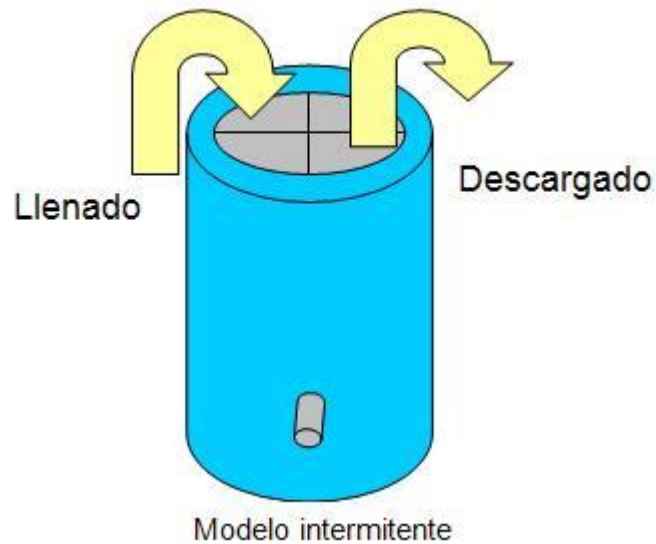


Figura 4. Biodigestor tipo batch [8].

1.3.5.5. Biodigestor de estructura sólida estática (semi continuo).

Construido con ladrillos y varillas permitiendo así que el biodigestor se mantenga inmóvil, cuenta con un conducto de llenado, otro para la limpieza y uno para dar salida al biogás producido. En la Figura 5 se encuentra un biodigestor de este tipo.

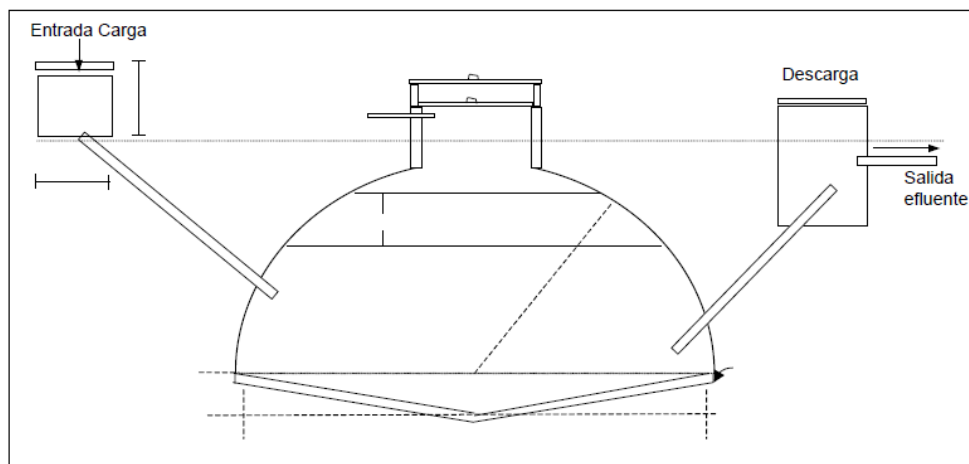


Figura 5. Digestor de estructura sólida estática [6].

1.3.5.6. Biodigestor de estructura sólida móvil.

Este biodigestor es alimentado de forma semi continua cada 12 o 24 horas y se construye empleando ladrillos o estructuras reforzadas con hormigón, adicionalmente posee un ducto de carga, otro de descarga y limpieza, los cuales preferiblemente se

construyen con tubos PVC, y existe un tubo adicional para la descarga del biogás producido al cual se le adiciona una válvula para permitir abrir o cerrar el flujo de biogás hacia las instalaciones en donde este será usado. [6]

Esta clase de biodigestores se les conoce como de estructura móvil ya que en la parte superior posee una campana o cúpula flotante, la cual se eleva cada vez que dentro del digestor ocurre un aumento de presión originada por la producción de biogás, y cuando este es retirado del digestor la campana vuelve a su posición inicial. La campana se construye con materiales de acero o materiales capaces de soportar el efecto de corrosión causado por el ácido sulfhídrico que se produce junto al biogás. [7]

Esta clase de biodigestores debido a su forma constructiva poseen los siguientes beneficios.

- Debido a su estructura móvil o campana no necesariamente necesita un contenedor externo y un gasómetro para medir presión, ya que está en la capacidad de realizar un almacenamiento de biogás a medida que lo va produciendo dentro de su estructura y además el proceso de almacenamiento es realizado con una presión predominantemente constante.
- A esta clase de biodigestores se les puede reemplazar la campana por una bolsa de polietileno, lo que haría una similitud con un biodigestor tipo balón o de bajo costo, del cual se hablará más adelante. Con esta nueva estructura se reducen los costos de fabricación e instalación.

A continuación, en la Figura 6 se muestra un biodigestor de este tipo.

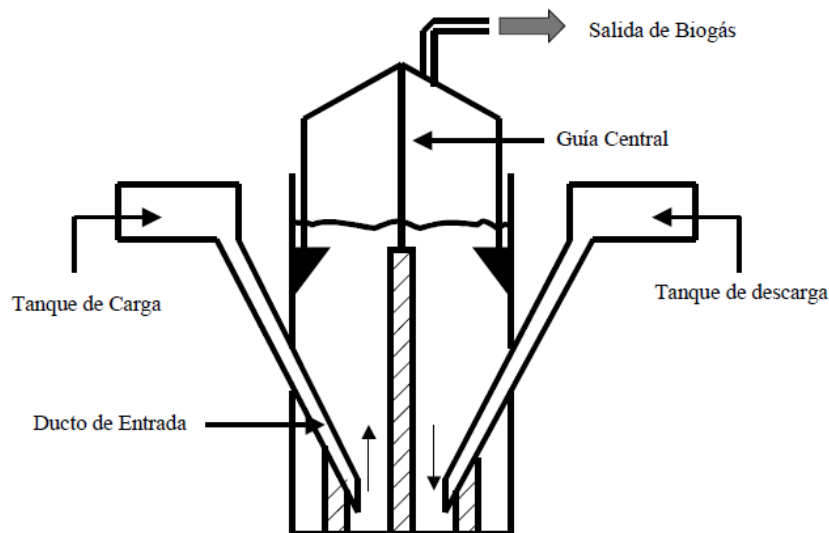


Figura 6. Digestor de estructura sólida móvil [6].

1.3.5.7. Biodigestor de balón plástico.

Este biodigestor data de los años de mil novecientos sesenta en taiwan, cuando varios ingenieros buscando una alternativa económica para la fabricación de biogás, desarrollaron un biodigestor de nylon y neopreno, pero con el tiempo descubrieron que era una idea costosa. Luego para los años setenta con la crisis energética global varias personas de países latinoamericanos, africanos y algunos asiáticos usaron esta propuesta, pero decidieron usar materiales como PVC y residuos de refinería de aluminio, con lo cual se redujeron costos, pero no se logró un equipo que llenara las expectativas. Para la década de los ochenta se introdujo el uso del polietileno, y en mil novecientos ochenta y seis el CIPAV (Centro para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria) comenzó una propuesta basada en polietileno y tubos de PVC, consiguiendo un biodigestor efectivo y de bajo costo.

Para su construcción se realiza una bóveda en el suelo que tenga paredes lisas, esto con el fin de mantener una temperatura constante dentro del digestor, adicionalmente en ese hueco se mete una bolsa de polietileno que tenga la capacidad de almacenar la biomasa y el gas. Por último se deben instalar los siguientes conductos: un conducto para cargar, otro para realizar el proceso de descarga y limpieza y por ultimo uno para la salida del biogás, donde cada conducto es construido con tubos PVC [5]. A continuación, se ilustra en la Figura 7 este biodigestor.

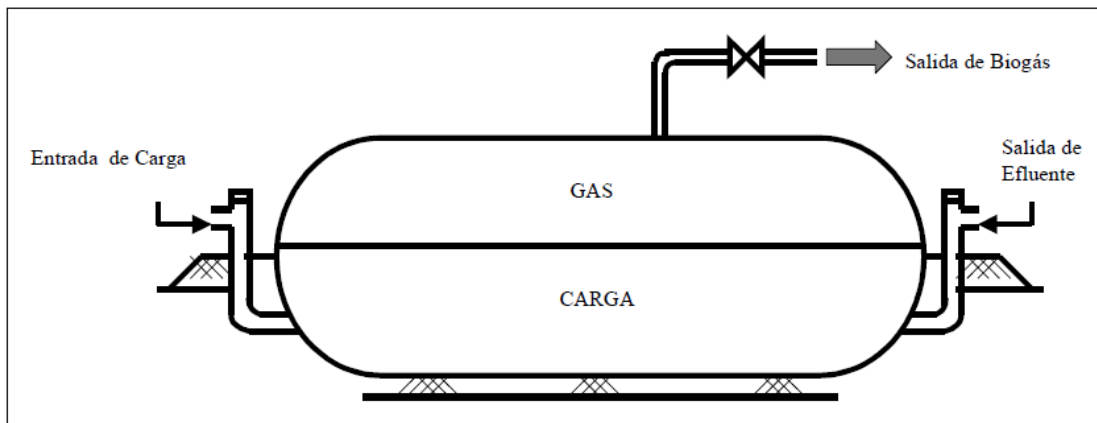


Figura 7. Biodigestor de balón plástico [6].

Es necesario que los tubos de carga y descarga del biodigestor mantengan una uniformidad, es decir, tengan un mismo diámetro y se encuentren ubicados de forma opuesta, pero conservando el mismo ángulo y la misma profundidad, justo como se observa en la Figura 7.

1.3.5.8. Biodigestor con geo-membrana.

Esta clase de biodigestor posee un mecanismo de funcionamiento parecido al biodigestor tipo balón plástico mencionado anteriormente, pero difiere de este debido que su uso está enfocado a lugares más industriales o lugares en donde se manejan

volúmenes de biomasa considerables. Preferiblemente la biomasa utilizada para esta clase de biodigestores proviene del sector agropecuario, principalmente de criaderos de cerdo y establecimiento con gallinas ponedoras [9].

Para su construcción se realizan excavaciones del orden de 2,50 a 4,50 metros, donde se prefieren hacer de forma trapezoidal para así aprovechar los ángulos de reposo natural del lugar en donde se va a implementar esta clase de biodigestores. La superficie en donde se excava debe ser cubierta con geo membranas de polietileno con densidades de 1000 a 1500 micrones(μ) de espesor, para que de esta forma no se den filtraciones al ambiente.

A lo largo de la excavación se instalan diferentes agitadores mecánicos para lograr la agitación de la biomasa cuando se encuentre dentro del biodigestor en proceso de fermentación y por ultimo para cubrir la superficie del biodigestor se utiliza otra geo membrana para completar y formar el balón, en donde se unen las membranas inferiores y superiores por medio de una soldadura de termo fusión. Al realizar esta unión sucede igual que en un biodigestor tipo campana, y tipo balón plástico, por lo cual se puede decir que este biodigestor también tiene la capacidad de almacenar el biogás generado a presión relativamente constante.

Al igual que otras clases de biodigestores posee un conducto de llenado, otro conducto de descarga y un conducto por donde se transporta el biogás generado. En la Figura 8 se encuentra un esquema que muestra como es la disposición de este biodigestor al ser construido.

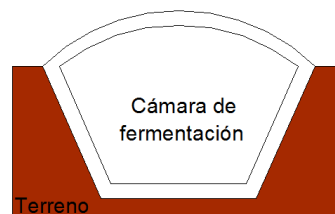


Figura 8. Biodigestor con geo-membrana [Propia].

1.3.5.9. Biodigestor prefabricado.

Es una clase de biodigestores utilizados para la depuración de efluentes agroindustriales, que posee altos beneficios económicos debido que requiere poco espacio, al ser prefabricado otorga libertad de movimiento para la reubicación a un nuevo sitio y realiza un trabajo eficiente. Adicionalmente suele ser construido con acero inoxidable, lo cual permite que esta clase de biodigestores funcionen por un largo tiempo.

Este tipo de biodigestor posee mayor predominancia en el eje Y de un plano cartesiano, es decir, su arquitectura hace que el sistema sea predominantemente vertical y no horizontal. Debido a su arquitectura es usado para tratar efluentes agroindustriales, es decir, aguas que han sido usadas por el sector agropecuario, las

cuales ingresan a este biodigestor por la parte superior y se encuentran con una capa de barro orgánico granular que filtra el agua, quitando sólidos presentes en esta. El agua sale rápidamente de esta capa de barro, mientras que los sólidos se quedan mayor tiempo los cuales alimentan a las bacterias presentes en este barro para así por medio de un proceso anaeróbico producir biogás, el cual es retirado por medio de ductos hacia un el reservorio.

Mientras se genera biogás el agua que es tratada pasa a ser almacenada en la parte inferior del biodigestor y luego es enviada hacia el exterior. A continuación, en la Figura 9 se representa esta clase de biodigestor.

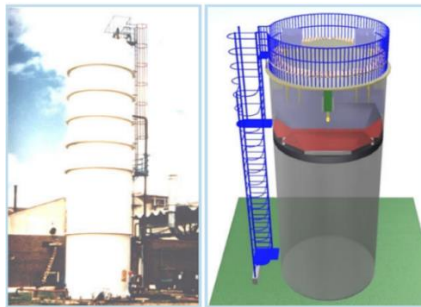


Figura 9. Biodigestor prefabricado [10].

1.3.5.10. Biodigestor con desplazamiento horizontal.

Este biodigestor es usado en zonas de explotación agropecuaria, en donde se genera importantes cantidades diarias de desechos, como por ejemplo en establecimientos con gallinas ponedoras en jaula, en avícolas para engorde de gallina, en criaderos de cerdo entre otros.

Su construcción debe ser horizontal, ya que necesita ser enterrado en la tierra debido al alto volumen de biomasa con que se puede cargar. Si la excavación fuese puramente vertical, las obras civiles se complicarían debido a la humedad que va apareciendo unos metros debajo de la superficie terrestre. Su construcción suele ser alargada, de profundidad no mayor a 2,50 m y con una relación de largo ancho que va desde los 5:1 hasta los 10:1. Las paredes se construyen en hormigón, y la superficie superior se encierra con una bóveda en ladrillos o en una losa de hormigón o para mayor economía con una geo-membrana que posee un sello hidráulico para no dejar escapar la producción de biogás.

La operación es parecida a un biodigestor con geo-membrana, donde este posee un ducto para ser cargado, unos agitadores para revolver la biomasa durante el proceso, un ducto que por medio de la gravedad permite la descarga o permite la instalación de una estercolera y adicionalmente posee una o más salidas para el biogás producido que termina en un gasómetro. Este biodigestor se aprecia en la Figura 10.

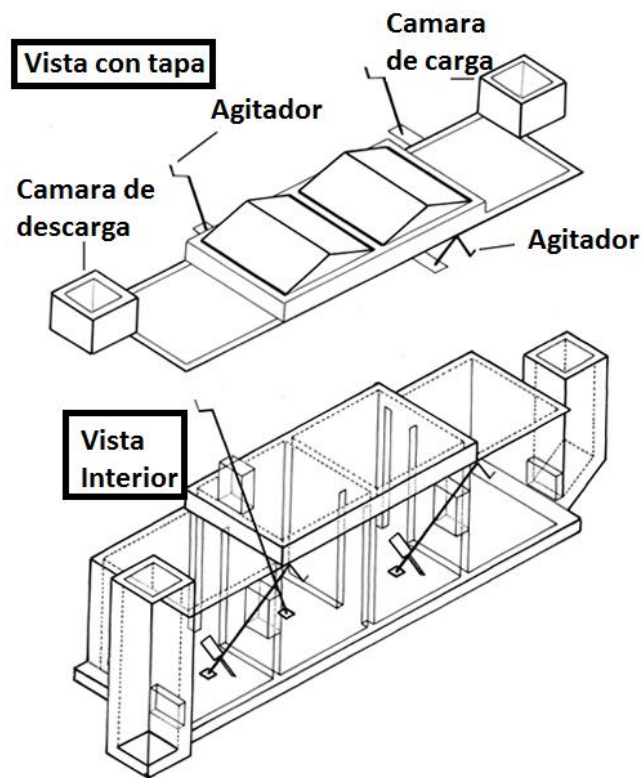


Figura 10. Biodigestor con desplazamiento horizontal [Propia].

1.4. PROCESO DE GENERACIÓN DE BIOGÁS EN UN BIODIGESTOR USANDO EXCRETA DE GALLINA

En este trabajo la excreta de gallina será usada como fuente de biomasa para la generación de biogás por medio de un biodigestor. Este tipo de biomasa se genera en cualquier parte donde existan estas aves, sin embargo, se encuentra con mayor abundancia en lugares donde se encuentre una mayor concentración del animal, siendo las avícolas el lugar idóneo para obtener y disponer de una cantidad considerable de excreta.

Actualmente la industria avícola posee diferentes frentes de negocios como: Gallinas de engorde para el consumo humano, gallinas ponedoras, entre otros. Al existir diferentes frentes del negocio existen aves visualmente idénticas, pero con alimentaciones, comportamientos y lugar de concentración diferentes, ocasionando que la excreta generada sea diferente. Por esta razón existe gallinaza para las gallinas ponedoras, mientras que para las gallinas de engorde existe la pollinaza, la cual es excreta de gallina combinada con aserrín, afrecho de arroz entre otras [11].

Al existir diferentes tipos de excreta de gallina, ocasiona que la composición química pueda variar entre los diferentes tipos como se observará a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química de los diferentes tipos de excreta de gallina [12].

Elemento	Gallinaza de Jaula	Gallinaza de piso	Pollinaza
PH	7,4	7,29	7,9
Humedad (%)	57,8	34,8	25,8
Carbono orgánico (%)	19,8	24,4	23
Nitrógeno (%)	3,2	2,02	2,3
Relación C/N	6,2	12,1	10
Fosforo	7,39	3,6	4,6
Potasio (K ₂ O %)	1,9	0,89	2,1

Como se observa en la Tabla 2 la composición química de la excreta de gallina según el tipo varia por lo cual también puede variar la producción de biogás, ya que para esta como se observó en las secciones anteriores nutrientes como el carbono y el nitrógeno influyen positiva o negativamente en la producción de este biocombustible.

Así mismo en las secciones anteriores de este capítulo se mencionó que la relación de carbono nitrógeno (C/N) debe estar entre 15 y 30 para que el proceso se pueda llevar en condiciones óptimas. En la Tabla 2 se observa que la excreta de gallina no posee una relación carbono nitrógeno entre los valores óptimos, sin embargo, más adelante se observará que aun así esta puede ser una fuente de biomasa para la generación de biogás.

Tras conocer la relación C/N de los diferentes tipos de excreta de gallina vistos en la Tabla 2, en varias ocasiones estas pueden variar, por lo cual es recomendable calcular la relación C/N por medio Ecuación 1 y así poder establecer con mayor precisión que se tiene una fuente de biomasa óptima o cercanamente óptima.

$$\text{Ecuación 1.} \quad C_s = \frac{C_1 X_1 + C_2 X_2}{N_1 X_1 + N_2 X_2}$$

Donde:

C_s = Relación carbono nitrógeno.

C_1 = % de carbono en el alimento.

N_1 = % de nitrógeno en el alimento.

X_1 = % de alimento.

C_2 = % de carbono del estiércol de gallina.

N_2 = % de nitrógeno del estiércol de gallina.

X_2 = % de estiércol de gallina.

De no tener una relación C/N optima, esta se puede mejorar con la adición de biomasa rica en carbono y nitrógeno. Tras obtener la relación carbono nitrógeno de la excreta de gallina idónea, a continuación, se observará como esta al ser mezclada con agua es usada como materia prima para alimentar un biodigestor y así obtener biogás de esta fuente.

1.4.1. Producción de biogás con excreta de gallina.

La excreta de gallina a diferencia de la excreta de otros animales como cerdos y vacas presenta diferentes dificultades para la producción de biogás, como una mayor cantidad de amoníaco en su composición, la cual para la producción de biogás se comporta como una resistencia, haciendo que el proceso sea ineficiente y de menor producción o en algunos casos hace que esta sea nula. Por otro lado, se observa que los diferentes tipos de excreta de gallina, poseen una relación C/N menor al rango óptimo para llevar a cabo el proceso de aprovechamiento de biomasa, sin embargo, en los procesos de generación de biogás con excreta de gallina consultados en este trabajo se muestran diferentes formas de dejar de lado las dificultades y poder producir biogás. A continuación, se explicarán diferentes procesos consultados para la generación de biogás con excreta de gallina.

1.4.1.1. Evaporación de amoníaco [2].

Para mejorar la producción de biogás y reducir los niveles de amoníaco se ha propuesto una evaporación de amoníaco mediante un proceso de reciclaje de biogás. Este proceso consiste en hacer un lavado o filtro durante la producción con diferentes compuestos químicos a base de nitrógeno, lo que da como resultado un biogás con menos amoníaco que se representa en un biogás con mayor nivel de metano el cual resulta útil para cocinar, generar energía eléctrica o fabricar calor [2].

Para realizar este proceso, es necesario un biodigestor que posea un mecanismo de batido a una velocidad de 10 RPM, que garantice una temperatura constante de 55 ± 2 °C y además que el proceso maneje un pH de 8,5 a 9. Se observa en la Figura 11 el biodigestor usado.

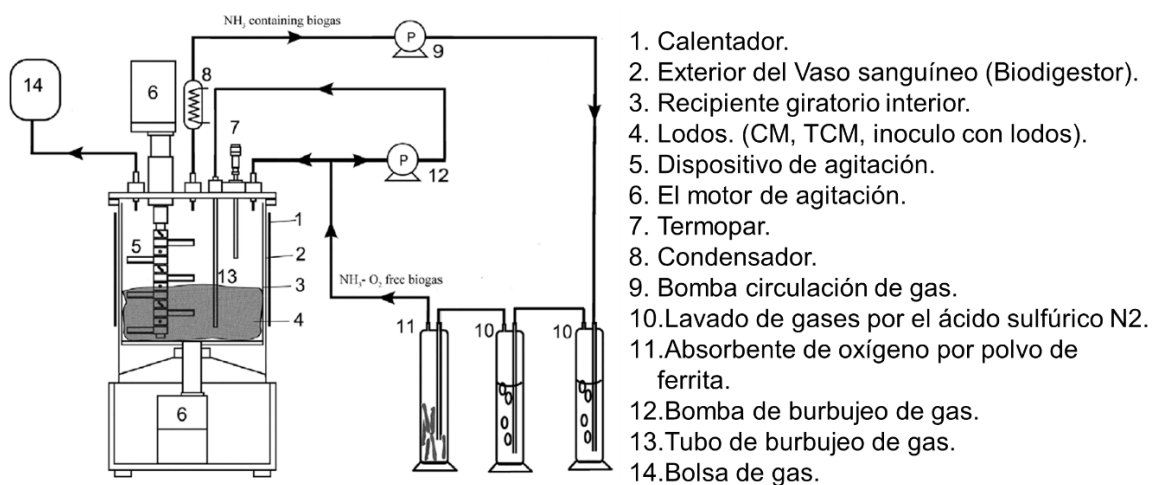


Figura 11. Biodigestor con filtros de amoníaco y sistema de batido [2].

Para llevar a cabo este experimento se usó una excreta de gallina tipo pollinaza en estado semi-sólido, la cual poseía un porcentaje de sólidos totales de 25%, un carbón

orgánico total de 380 gC Kg-TS⁻¹, nitrógeno total de 87 Kg gN-TS⁻¹, nitrógeno amoniacal total de 10,5 kg gN-TS⁻¹, aserrín 19 mmol Kg⁻¹ y un ph de 8,5.

El lodo para realizar el cultivo de las bacterias e iniciar la producción de biogás fue incubado durante 60 días a 55°C y poseía un porcentaje de sólidos totales de 20%, un carbón orgánico total de 26 gC Kg-TS⁻¹, nitrógeno total de 32 Kg gN-TS⁻¹ y nitrógeno amoniacal total de 3,2 kg gN-TS⁻¹.

El estudio se realizó con muestras de excreta de gallina tratada y excreta de gallina sin tratar mezclada con excreta de gallina tratada, es decir, la excreta tratada es aquella a la que se le retiró el 82% de amoníaco producido por el 80% de nitrógeno de la excreta de gallina, mientras que la excreta sin tratar es aquella que contiene amoníaco.

Cuando se realizó el proceso para la excreta de gallina tratada se obtuvo que para una carga total de 2Kgr se tenía una producción total de biogás entre el 67 y 80 % con un rendimiento de eliminación de amoníaco de 79%, mientras que, para la prueba con excreta sin tratar y excreta tratada en relación 1:1, se tuvo un total de producción de biogás entre el 55 y 74% de biogás con un rendimiento de eliminación de amoníaco de 77%, demostrando así que eliminar el amoníaco de la producción de biogás es conveniente aunque resulta costoso y aún se encuentra en estado experimental.

1.4.1.2. Mezcla de excreta de gallina con diferentes desechos agrícolas.

Para mejorar la eficiencia de producción de biogás con estiércol de gallina se han experimentado diferentes procesos en donde se combina la excreta de gallina con diferentes residuos agrícolas como café, yuca, limoncillo, coco entre otros, con los cuales se busca controlar las variables del proceso como el ph, la temperatura de producción y la concentración de amoníaco. Se ha demostrado que al aplicar esta técnica usando excreta de gallina en estado semisólido en rangos de temperatura termofílico o mesofílico, se logra una reducción de un 39% de la concentración de amoníaco y así aumentar hasta en un 93% la producción de metano, es decir, el biogás obtenido sale compuesto con mayor porcentaje de metano [13].

1.4.1.3. Mezcla de excreta de gallina con desechos de maíz.

Se ha estudiado el combinar rastrojo de maíz (CS) con excreta de gallina en los estados, líquido, semisólido y sólido [14].

Se sabe que cuando la producción de biogás se realiza con excreta líquida el proceso es de fácil operación y mantenimiento, mejora la producción de metano por unidad de masa gracias al bajo porcentaje de sólidos totales (%ST) en la carga, pero incrementa el consumo de agua y el tamaño del biodigestor. Cuando la producción de biogás se lleva a cabo con excreta en estado sólido se obtiene una alta productividad volumétrica de metano, se usa un biodigestor pequeño para tratar grandes cantidades, se tiene un bajo consumo de calefacción el cual es opcional, se posee una mínima manipulación de la materia, un balance energético positivo, pero necesita alta cantidad de inóculo (Sustancia encargada de comenzar el cultivo de bacterias

que por lo general es lodo anaeróbico). La producción de biogás con excreta en estado semisólida ha sido poco estudiada, sin embargo, esta fuente estudia como es el comportamiento del sistema usando esta clase de excreta y posteriormente mezclándola con rastrojo de maíz.

Para observar el comportamiento de los diferentes estados de la excreta de gallina de tipo gallinaza mezclada con rastrojo de maíz, se utilizó una botella de un litro como biodigestor, se trabajó en un rango de temperatura mesofílico y se usó como carga lodo anaeróbico, agua y mezcla de CS:CM en las siguientes relaciones: 1:0, 3:1, 1:1, 1:3, 0:1.

Tras analizar los diferentes resultados, se concluye:

- La gallinaza en estado líquido con porcentaje de sólidos totales de 5.1 a 5.6% mezclada con rastrojo de maíz en una relación CS:CM de 1:1 obtiene un contenido de metano en el biogás de 63%, siendo importante para los futuros usos del biogás [14].
- La gallinaza en estado semisólida con porcentaje de sólidos totales de 10.1 a 11.2% mezclada con rastrojo de maíz en una relación CS:CM de 1:1 obtiene un contenido de metano en el biogás de 63,5% [14].
- La gallinaza en estado sólido con porcentaje de sólidos totales de 20.1 a 22.4% mezclada con rastrojo de maíz en una relación CS:CM de 1:3 obtiene un contenido de metano en el biogás de 64,8% [14].

Se aprecia que el combinar gallinaza con rastrojo de maíz trae ventajas para la producción de biogás ya que así se aumentan los porcentajes de metanos en la composición de biogás, sin embargo, este método es efectivo en lugares donde se tengan grandes concentraciones de aves y cultivos de maíz, de no ser así eleva los costos de producción de biogás.

1.4.1.4. Producción de biogás a diferentes velocidades de carga orgánica en un sistema anaerobio de dos etapas con rangos de temperatura Mesofílico y Termofílico.

Para producir biogás con este proceso las dos primeras etapas de producción conocidas como licuefacción y acidogenesis, deben ser tratadas en un biodigestor que debe ser de menor tamaño que el segundo a un rango de temperatura Mesofílico de $37^{\circ}\text{C} \pm 2$. La etapa final conocida como metanogenesis es tratada en un biodigestor a un rango de temperatura termofílico de $(53^{\circ}\text{C} \pm 2)$, y al igual que el biodigestor anterior se deben realizar de 1 a 3 agitaciones por día. [15].

Para cargar los biodigestores mencionados se usó excreta de gallina en estado crudo de tipo gallinaza, la cual antes de ser usada se diluyó en agua hasta dejarla en un estado semisólido. Posteriormente esta mezcla se introduce al biodigestor previamente cargado con lodo que actúa como inóculo [15].

Con este proceso se logra reducir los tiempos de retención de la materia prima en los biodigestores y el tamaño de estos, se logra aumentar la capacidad de carga para

sólidos volátiles logrando que sea más eficiente la eliminación de estos, y por último se reduce el efecto de inhibición del amoníaco en el proceso, causando un aumento en la producción de biogás y un aumento del porcentaje de metano en la composición de este [15].

Durante la etapa experimental de este procedimiento para comprobar los rangos de generación de biogás, se utilizaron cinco tipos de muestra de biomasa diferente, donde la diferencia radica en el contenido de sólidos volátiles que varían entre [1,9 g sólidos volátiles (VS) / L*d hasta 4,7 g sólidos volátiles (VS) / L*d] y el contenido de sólidos totales que varía entre 3 y 8,5 %. Una sola carga es evaluada durante 12 días, pero se sigue cargando esta muestra hasta lograr estabilizar la producción de biogás. Esta carga durante los dos primeros días es tratada en el digestor con temperatura del rango mesofílica, y los 10 días restantes estuvo en el biodigestor con temperatura del rango termofílico [15].

A continuación, en la Figura 12 se observa el comportamiento de producción de biogás con este proceso con las diferentes muestras y se ve como tiende a ir en aumento, pero debido que en algunos momentos no se respetaron las condiciones de operación se aprecia cómo la producción disminuye y así mismo como se vuelve a recuperar pasado un tiempo específico de retención. [15]

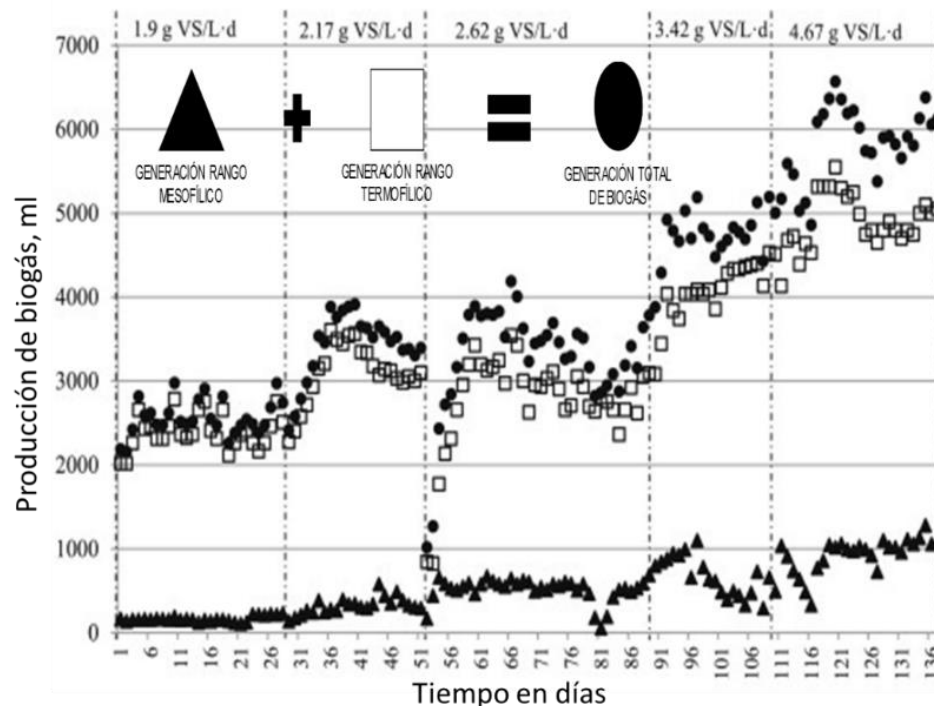


Figura 12. Producción total de biogás para un sistema con dos etapas anaeróbicas a diferentes rangos de temperatura. [15]

Con este proceso por cada litro de excreta de gallina que es tratado en los dos rangos de temperatura se obtienen los siguientes resultados.

- Para una excreta con 2% SV, 3% ST y 1,9 VS/L*d posee una producción de biogás de 0,86 L/L*d.
- Para una excreta con 2,4% SV, 3,7% ST y 2,17 VS/L*d posee una producción de biogás de 1,2 L/L*d.
- Para una excreta con 3,2% SV, 4,33% ST y 2,62 VS/L*d posee una producción de biogás de 1,19 L/L*d.
- Para una excreta con 4,1% SV, 5,5% ST y 3,42 VS/L*d posee una producción de biogás de 1,60 L/L*d.
- Para una excreta con 5,4% SV, 8,25% ST y 4,67 VS/L*d posee una producción de biogás de 1,99 L/L*d.
- Todas las muestras poseen un porcentaje de metano en el biogás del 74 %, siendo una tasa alta y que impactará positivamente en la calidad del biogás.

Este proceso se encuentra en estado incipiente de desarrollo, sin embargo, puede ser aplicado por su facilidad de uso para quienes tengan conocimientos en el área de sólidos totales y volátiles. Así mismo este proceso necesita de fuentes externas de calentamiento para aprovechar las ventajas ofrecidas por este, lo que conlleva trabajos futuros para idear un sistema que de forma económica y ambiental lleve el segundo biodigestor a temperaturas por encima de los 50°C.

1.4.1.5. Proceso convencional o biometanización con gallinaza.

Este proceso consiste en mezclar la excreta de gallina con agua, lo cual permite que el amoníaco no actúe como resistencia para la producción de biogás. Así mismo el proceso es adaptable a diferentes sectores socioeconómicos e industriales, ya que en partes de escasos recursos es efectivo, porque todo el proceso de fabricación de instalaciones y operación de las instalaciones se puede realizar de forma manual, adicionalmente si este proceso es acompañado con biodigestores de geo-membrana, tipo balón plástico, con desplazamiento horizontal u otros, hacen que el proceso se pueda adaptar de forma fácil a sectores industriales, donde el volumen de excreta de gallina es mayor.

Este proceso en comparación con el de evaporación de amoníaco necesita mayor materia prima y mayor espacio, pero resulta más económico puesto que los biodigestores que son adoptados para su implementación son comerciales y además poseen fácil construcción, reparación y limpieza.

Se mencionó que este proceso consiste en mezclar la excreta de gallina con agua, donde la excreta de gallina de tipo gallinaza esta entre el 5 al 20% del total del recipiente, lo cual permite que el amoníaco no actúe como resistencia para la producción de biogás con altos volúmenes de metano. Para este proceso se debe respetar las siguientes condiciones en el biodigestor para que la fabricación de biogás sea óptima. [16]

- Temperatura.

- Un pH de aproximadamente 7.
- La alimentación de las gallinas no debe poseer altos volúmenes de antibióticos, sales o metales pesados (Cd, Hg, entre otros) para que la excreta de gallina tampoco contenga estos materiales.
- La relación C/N debe ser superior a 35 o por mínimo 30, debajo de 30 la producción de gas es lenta.

Con este procedimiento se logra que por cada 20 Kg de excreta de gallina de tipo gallinaza se obtenga 1 m³ de biogás. Se sabe que cada metro cubico equivale a 1,25 kWh bien combustionado o el hacer funcionar un motor de combustión interna de 1 Hp aproximadamente dos horas.

También se conoce que por cada 20 kg de pollinaza se pueden obtener aproximadamente 1 m³ de biogás, sin embargo, los tiempos de producción en sistemas de carga semi continua o continua pueden tener una mínima reducción respecto a los que se pueden obtener a partir de excreta de gallina de tipo gallinaza [17].

1.4.1.5. Proceso convencional o biometanización con pollinaza y/o gallinaza en sistemas discontinuos.

Se estudió el proceso de producción de biogás con excreta de gallina de tipo pollinaza en un rango de temperatura mesofílico de 43°C ± 2 usando biodigestores de carga discontinua; los cuales se cargaron con inoculo proveniente de agua residual de una PTAR y como sustrato se usaron 280 gr de pollinaza y/o gallinaza. [11].

Para la producción de biogás se hace uso de las tres etapas de producción, licuefacción, acidogenesis y metanogenesis. Durante el transcurso del estudio, se comparó el comportamiento del sistema usando pollinaza y gallinaza, de donde se obtuvo:

- Para producir 250 ml de biogás con 280 gr de pollinaza y 2800 ml de inoculo se tiene un tiempo de retención hidráulico de 19 minutos.
- Para producir los mismos 250 ml de biogás usando la misma cantidad de inoculo y la misma cantidad de excreta gallina de tipo gallinaza, el sistema tuvo un tiempo de retención hidráulica de 126 minutos, es decir 2,1 horas.
- Para producir 250 ml de biogás usando 280 gr de excreta de gallina, en una proporción de 50/50 entre gallinaza y pollinaza, con 2800 ml de inoculo se obtuvo un tiempo de retención hidráulico de 20 minutos.

De los anterior se concluye que la pollinaza mejora los tiempos de producción de biogás ocasionando mayor producción en menor tiempo comparado con la gallinaza, sin embargo, ambos sustratos son materias primas aptas para la producción de biogás.

1.4.2. Comparación de procesos de producción de biogás usando excreta de gallina.

Tras observar los procesos descritos en el apartado 1.4.1 de este documento, a continuación, en la Tabla 3 se escogen tres alternativas para la producción de biogás usando excreta de gallina que pueden ser utilizados en el Valle del Cauca.

Tabla 3. Procesos que mejor aprovechan la excreta de gallina como fuente de biomasa para la producción de biogás.

Proceso	Procesos con carga discontinua y biometanización		Procesos de carga continua	
			Biometanización	Producción de biogás en dos rangos de temperatura, rango mesofílico y termofílico
sustrato	Pollinaza	Gallinaza	Gallinaza y/o pollinaza	Gallinaza
Cantidad de sustrato	280 gr	280 gr	20 kgr	1 L
Estado de sustrato	semisólido	semisólido	semisólido	semisólido
Producción de biogás	250 ml	250 ml	1 m3	1 L
Estado de desarrollo	Implementado		Implementado	Laboratorio

Los procesos descritos en la Tabla 3 después de consultar diferentes estudios y conocer la teoría para la producción de biogás son considerados los más actos para implementar en el departamento, ya que no necesitan otros sustratos a parte de la excreta, el agua y el lodo para la producción de biogás. Así mismo de la anterior tabla se recomienda utilizar la tecnología de la biometanización para tratar la excreta de gallina de tipo gallinaza o tipo pollinaza en sistemas de carga continua o semi continua, ya que es la manera más fácil y económica de aprovechar la energía existente en la excreta de gallina.

2. CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA O TÉRMICA.

El sector agroindustrial y diferentes grupos de investigación han utilizado el biogás como una fuente de energía debido a su alto poder calorífico, empleándolo para el funcionamiento de electrodomésticos como refrigeradores, estufas, lámparas, calentadores de agua entre otros. También se ha usado como el cuerpo de trabajo para hacer funcionar motores a gasolina o diésel, turbinas y micro-turbinas a gas e incluso existen máquinas para ser usados únicamente con biogás. Adicionalmente se han desarrollado diversos estudios para producir hidrogeno a partir de biogás para luego usar este como fuente energética en celdas de combustible.

En el capítulo 2 de este trabajo, se estudian de forma general los motores a gasolina y diésel, las turbinas a gas, las plantas a biogás y por último las celdas de hidrogeno. Las tecnologías mencionadas anteriormente serán usadas como primo motor para generadores eléctricos, excepto las celdas de combustible. Además, hacia el final se mencionarán otros usos que puede tener el biogás.

2.1. BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.

El biogás fue descubierto por T. Shirley's en el año de 1667. Para obtenerlo se necesita biomasa y un biodigestor que trabaje en condiciones anaeróbicas y que cumplan una serie requisitos los cuales se explicaron en las secciones 1.2 a la 1.4 del capítulo 1 de este documento. A continuación, en la Figura 13 se muestra la composición del biogás.

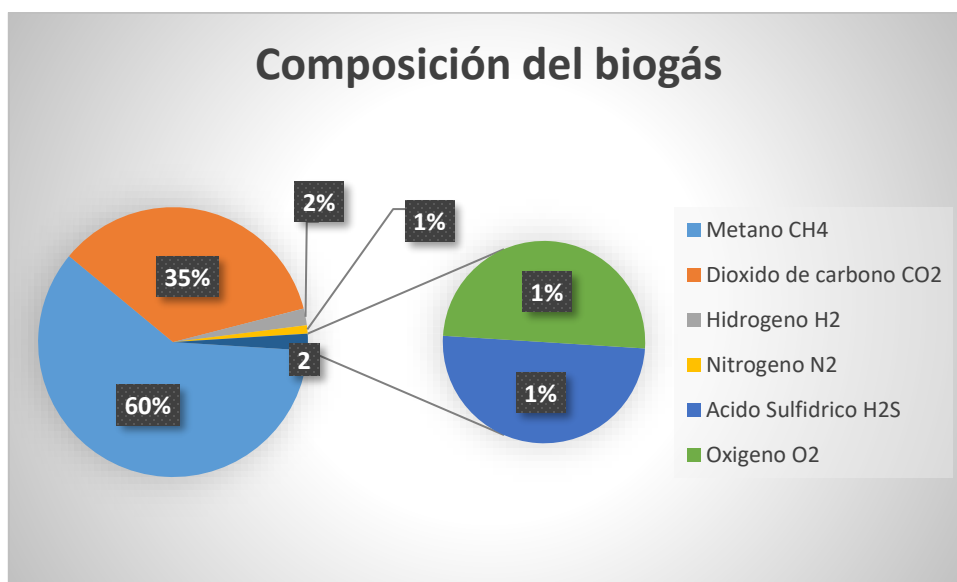


Figura 13. Composición del biogás [6].

Se aprecia en la Figura 13 que el biogás en su mayoría está compuesto por metano (CH_4) y por dióxido de carbono (CO_2), composición idónea que hace que este combustible posea un poder calorífico de 5500 Kcal/ m^3 o 6,4 kW h/ m^3 aproximadamente [18]. En la Tabla 4 se comparará el poder calorífico del biogás con el de otros combustibles [19].

Tabla 4. Comparación del poder calorífico del biogás con el de otros combustibles.

Combustible	Poder calorífico				Btu/ m^3
	Kcal/ m^3	kWh/ m^3	MJ/ m^3	MJ/Kg	
Biogás	5500	6,0	18,9	15,3	20641,1
Gasolina	7649307,21	8413,6	32020	43,5	28707256,5
Diésel	8500000	9349,3	35581	42,7	31899840,6
Gas natural	8600	9,5	33,6	48,7	32275,1
Hidrogeno	2570,47	2,8	10,8	119,9	9646,8

Se aprecia en la Tabla 4 que el biogás posee menor poder calorífico (PCI) que otros combustibles, sin embargo, cuando el biogás va a ser usado en máquinas como combustible, realmente se comparan el PCI de la mezcla, es decir, el PCI del combustible más el aire. A continuación, en la Tabla 5 se compara el PCI de diferentes combustibles mezclados con aire.

Tabla 5. Comparación del poder calorífico entre la mezcla de aire y diferentes tipos de combustible.

Combustible	Poder calorífico de la mezcla (aire más combustible)
	MJ/Kg
Biogás	2,34
Gasolina	2,86
Diésel	2,73
Gas natural	2,82
Hidrogeno	3,37

Tras observar la Tabla 5 se observa que el biogás es una alternativa viable para ser usado como cuerpo de trabajo para máquinas que poseen combustión interna [19].

Se sabe que el biogás posee bajo dosado estequiométrico, lo que indica la relación entre aire y el combustible necesario para que la combustión sea completa, sin que falte ni sobre comburente, es decir, sustancia oxidante que ayuda al cuerpo de trabajo a entrar en combustión, lo que hace necesario que las máquinas que usen biogás como cuerpo de trabajo sufran una serie de modificaciones para operar de forma óptima.

Así mismo se conoce que el biogás posee un número de octano alto, lo cual hace que este biocombustible sea considerado como uno de los más seguros para iniciar la combustión, respecto a otra clase de combustible como se podrá apreciar en la Tabla 6. Así mismo se puede garantizar que motores de encendido provocado (Ciclo Otto) que posean limitada relación de compresión ([8,5 a 1] o [10,5 a 1]) sean mucho más eficientes en su funcionamiento, comparado con el mismo motor funcionando con otra clase de combustible.

Para los motores de ciclo diésel no aplica el número de octano, si no que aplica el número de cetano, que como mínimo debe ser de 40, y los valores por encima, causan que el combustible entre más rápido en combustión. Esta clase motores cuando se instalan para trabajar con biogás, este al no poseer número de cetano, no puede reemplazar el diésel en su totalidad como si lo puede hacer cuando el motor es a gasolina o son turbinas a gas natural.

En este trabajo se usará el biogás como cuerpo de trabajo para hacer funcionar diferentes máquinas que en la actualidad son usadas como primo-motor para la generación de electricidad con combustibles convencionales (Gasolina, Diésel, Gas natural, Carbón, etc). En la Tabla 6 se muestra las equivalencias del biogás respecto a los combustibles que se van a reemplazar y el porcentaje de este que puede reemplazar.

Tabla 6. Equivalencias del biogás respecto a otros combustibles.

Combustible	1 m3 de biogás equivale a			Número de octano	Número de cetano	Porcentaje que el biogás puede reemplazar en una máquina a:
	Litros	Galones	m3			
Gasolina	0,71	0,19	--	95	--	100
Diésel	0,6	0,16	--	--	40-60	55 - 74
Gas natural	--	--	0,64	130	--	100
Hidrogeno	--	--	0,45	73	--	100
Biogás	--	--	1	162	--	--

Nota aclaratoria Tabla 6: en las casillas con (--) significa que no aplica.

En las siguientes secciones de este documento se indicarán las diferentes precauciones que hay que tener en cuenta para usar el biogás como cuerpo de trabajo en diferentes máquinas, y además se observará el consumo que estas tienen del nuevo cuerpo de trabajo.

Ambientalmente el biogás respecto a otros combustibles, representa una gran ayuda para el medio ambiente, pues, el biogás al reemplazar combustibles convencionales (Gasolina, diésel), genera menor emisión de CO₂ como se aprecia en la Tabla 7. Así mismo, en esta tabla se aprecia que el biogás es más nocivo para el medio ambiente que el gas natural, sin embargo, debido a los bajos niveles actuales de este

combustible en el país y en el departamento, el biogás se presenta como una alternativa para suplir la demanda de este combustible escaso.

Tabla 7. Emisiones de CO tras la combustión de diferentes combustibles (Datos tomados de [19]).

Combustible	Composición química	1 mol de este combustible produce	Emisiones de CO ₂ que provoca este combustible [g/kWh]
Gasolina	$C_{7,18}H_{12,1}O_{0,006}$	7,18 mol de CO ₂	264,44
Diésel	$C_{13,15}H_{24,6}$	13,15 mol de CO ₂	267,8
Gas natural	90% CH_4 + otros	1 mol de CO ₂	154,8
Hidrogeno	H_2	0 mol de CO ₂	0
Biogás	55% CH_4 + 40% CO_2 + otros	---	189,11

Nota aclaratoria para la Tabla 7: Para que el combustible entre en combustión, es necesario que este se mezcle con aire, por consiguiente, la composición química mencionada en la Tabla 7, no determina las emisiones o cantidades de CO₂ producidas, si no que para llegar a dicho valor se deben balancear las composiciones de los combustibles mencionados con mayor cantidad de moléculas de O₂ presentes en el aire usado para mezclar con combustible. Así mismo el valor que una mol de biogás produce en moles de dióxido de carbono al ser este un combustible con una composición variable esta no se indica en la Tabla 7.

Durante la combustión de un combustible, es posible que en el proceso se generen gases adicionales, que no contribuyen a la conservación del medio ambiente, como lo son:

- 1) Monóxido de carbono (CO): Se genera si durante la combustión de los combustibles no hay la cantidad suficiente de O₂. Esta sustancia destruye el ozono en la estratosfera, y causa problemas en la fauna y flora expuesta a este.
- 2) HC: Se produce por la falta de O₂ en la combustión, o por falta de combustible en esta.
- 3) Óxido nitroso (NO_x): No se produce propiamente por la combustión, si no, debido a altas presiones y temperaturas que se generan en la cámara de combustión, lo que ocasiona que el nitrógeno y el oxígeno presentes en el aire, reaccionen dando lugar a esta sustancia.
- 4) Partículas: En motores con ciclo diésel se producen partículas que enturbian la atmosfera, causan problemas respiratorios y de corazón a las personas expuestas mucho tiempo a ellas, y se forman debido a la mala formación de la mezcla (Combustible + aire).

El biogás al ser un combustible y debido a su composición, genera las sustancias mencionadas anteriormente, pero la generación de estas comparadas con combustibles convencionales, hacen del biogás un combustible amigable con el medio ambiente como se observará en la Figura 14.

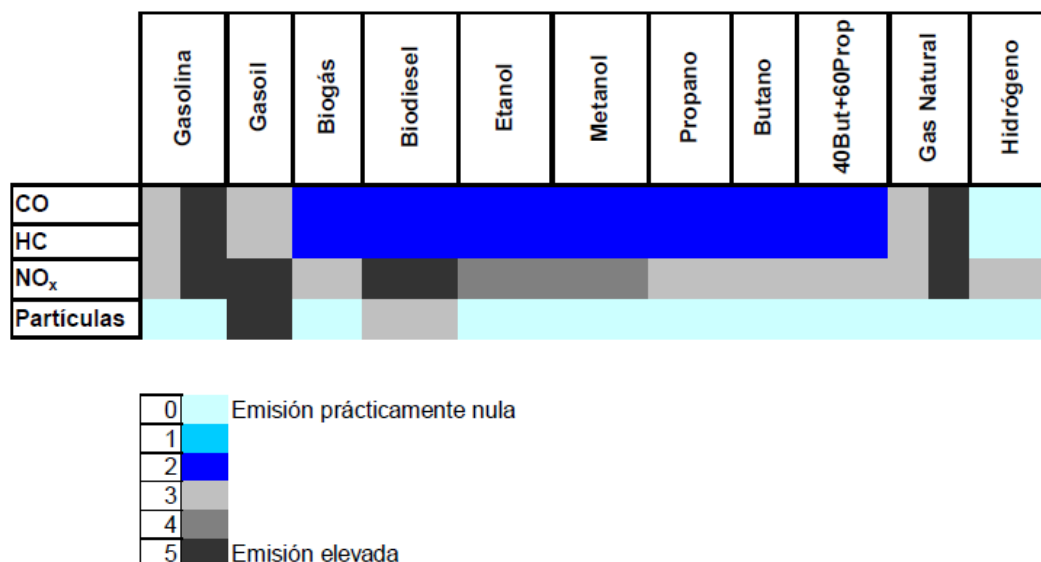


Figura 14. Emisiones contaminantes de diferentes combustibles [19].

En la Figura 14 se observa que el biogás frente a la gasolina y el diésel, posee emisiones de sustancias contaminantes de forma más reducida, sin embargo, todo depende el porcentaje de metano y dióxido de carbono presente en la composición del biogás usado.

2.2. GENERADOR ELÉCTRICO.

El generador eléctrico es una máquina que convierte la energía mecánica en energía eléctrica, utilizando la ley de inducción de Faraday y una fuerza externa de accionamiento como el agua, el aire, el gas, o fuerzas provenientes de procesos químicos entre otros.

Para generar voltaje, los generadores eléctricos necesitan la presencia de un polo norte y de un polo sur que generen un campo magnético, el cual debe ser cortado de forma paralela por las bobinas que constituyen el devanado del rotor del generador [20]. En la Figura 15 se observa un esquema básico de proceso de generación usando esta máquina.

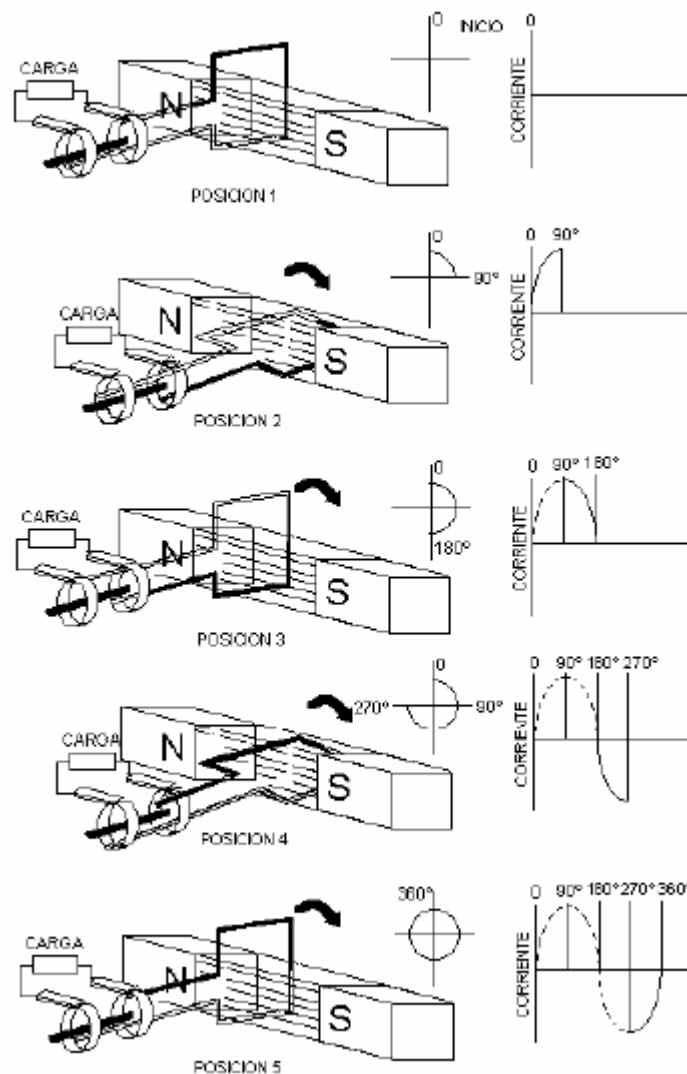


Figura 15. Estados del generador durante la generación de electricidad y comportamiento de la corriente en generador AC [21].

En la Figura 15 se aprecia que cuando el generador eléctrico está de forma perpendicular, las líneas de campo magnético no son cortadas por la bobina por consiguiente no hay generación de voltaje y por consiguiente de corriente. Cuando la máquina pasa de la posición 1 a la posición 2, las líneas de campo comienzan a ser cortadas, por consiguiente, hay generación de voltaje y circulación de corriente, así mismo se aprecia que cuando la bobina queda totalmente en la posición 2, la onda de corriente se encuentra en su pico máximo.

Cuando el generador cambia de la posición 2 a la 3, la bobina sigue cortando las líneas de campo y por consiguiente hay voltaje y corriente, pero las líneas son cortadas con ángulos más agudos y en la misma dirección de rotación, por consiguiente, la onda de corriente cae hasta cero. Seguidamente el generador

continúa hacia la posición 4, pero lo hace cortando la misma cantidad de líneas de campo magnético, pero lo hace con la parte opuesta de la bobina, por lo cual la generación de corriente es negativa pero en igual magnitud que cuando la bobina estaba en la posición 2 y por último la bobina continúa hacia la posición 5, donde ocurre el mismo fenómeno que cuando estaba pasando de la posición 2 a la 3, siendo diferente ya que la magnitud es igual pero con diferente polaridad. El anterior proceso lo repite el generador eléctrico hasta que ya no se desee generar más electricidad.

El anterior proceso es muy similar a la ley de inducción de Faraday, pues este principio es el que se debe cumplir siempre que se quiera generar electricidad con máquinas rotativas, por consiguiente, todos los tipos de generadores eléctricos que existen cumplen con el proceso mencionado, solo que cuando el generador es de corriente continua, la forma de onda deja de ser senoidal y pasa a ser una línea recta, esto gracias al sistema de escobillas que se instalan en el devanado de generación. A continuación, en la Figura 16, se mencionarán diferentes tipos y clases de generadores eléctricos.



Figura 16. Tipos de generadores eléctricos [Propia].

Para estas aplicaciones se recomienda usar generadores síncronos, así como asíncronos que, debido a problemas con los reactivos necesitará de un banco de condensadores como inversión adicional. Por tanto, la elección del tipo de generador se deja para la persona quien realice la inversión, pues el síncrono es el más usado para la generación de electricidad por su rendimiento, pero puede ser más costoso que un asíncrono que también es empleado para generar, pero con un nivel menor de rendimiento.

2.3. MOTOR DE COMBUSTIÓN.

En la actualidad se encuentran diferentes tipos de motores como los eléctricos, los hidráulicos, los eólicos y los térmicos. Para este trabajo se hablarán de los térmicos, los cuales poseen combustión externa o combustión interna, siendo esta última la de mayor interés para el trabajo.

2.3.1. Motor de combustión externa

En esta clase de motores la combustión se realiza en la parte externa del motor, y suelen ser los motores que funcionan a gas. En algunos casos el funcionamiento es con gasolina, pero aun así la combustión se lleva en la zona externa del motor.

2.3.2. Motor de combustión interna.

En este tipo de motores se obtiene energía mecánica por medio de la energía química de un combustible después de quemarlo en el interior del motor. Dentro de esta clase de motores se encuentran los motores de pistón, los cuales funcionan con gasolina, diésel, alcohol, gas natural y biogás, donde los que funcionan con este último son motores de diésel y gasolina que son adaptados para funcionar con esta clase de biocombustible [22].

El funcionamiento de esta clase de motores se inicia originando el cuerpo de trabajo inicial, el cual se produce por la mezcla de aire y combustible en el interior del cilindro. Seguidamente el cuerpo de trabajo se somete a calor, ocasionando que entre en combustión debido a una chispa proporcionada por una bugía ubicada en la parte superior del cilindro, lo que genera un nuevo cuerpo de trabajo formado por gases de combustión, los cuales, al querer expandirse, provocan que el pistón del cilindro se mueva, y por medio de una biela conectada al pistón se transmite ese movimiento al cigüeñal haciendo que se transforme parte de la energía química del combustible en energía mecánica. La energía que no se utiliza se expulsa al ambiente [23]. Dentro del funcionamiento de los motores de combustión interna se presentan cuatro procesos los cuales se explican a continuación.

- Proceso de admisión: se succiona una mezcla de combustible con aire que se denomina cuerpo de trabajo.
- Proceso de compresión: el cuerpo de trabajo se comprime y eleva su temperatura.
- Proceso de expansión: el cuerpo de trabajo entra en combustión y se expande dentro del cilindro.
- Proceso de escape: Se transmite al ambiente el desecho del proceso.

Los motores de combustión interna para desarrollar los procesos expuestos, necesita que el pistón interno del cilindro y conectado por una biela al cigüeñal, realiza un barrido dentro del cilindro desde la parte inferior hasta la parte superior, proceso conocido como carrera. Los motores de combustión interna se pueden clasificar en motores de cuatro o dos tiempos, esta denominación surge del número de carreras

necesarias para realizar los procesos expuestos. En la Tabla 8 se exponen las diferencias de los motores de combustión interna de dos y cuatro tiempos.

Tabla 8. Diferencias de los motores de combustión interna a dos y cuatro tiempos.

Motores a dos tiempos/ 2 carreras	Motores a cuatro tiempos/ 4 carreras
Se necesita solo una vuelta del cigüeñal para realizar los 4 procesos.	Se necesita solo dos vueltas del cigüeñal para realizar los 4 procesos.
Si el motor posee igual volumen que un motor de 4 tiempos, se logra duplicar el número de carreras en el cilindro del motor, con lo que se logra obtener más potencia.	Si el motor posee igual volumen que un motor de 2 tiempos, no se logra duplicar el número de carreras en el cilindro del motor, por lo cual se obtiene menos potencia.
Es más contaminante para el medio ambiente porque consume mayor cantidad de combustible debido a las pérdidas que se presentan al momento de realizar los procesos.	Es menos contaminante para el medio ambiente porque consume menor cantidad de combustible al realizar los cuatro procesos.

En este trabajo los motores a cuatros tiempos serán los que se estudiarán para reemplazar sus combustibles originales (Gasolina, diésel) por biogás, debido que son más cuidadosos con el medio ambiente. En la Figura 17 se aprecia el comportamiento del motor de combustión interna de cuatro tiempos ilustrando sus cuatro procesos.

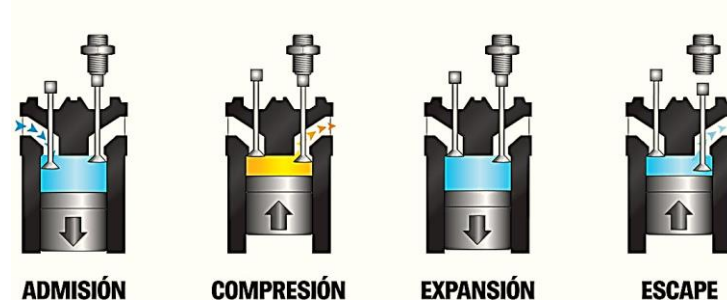


Figura 17. Comportamiento del motor de combustión interna a cuatro tiempos ilustrando los cuatro procesos de funcionamiento [Propia].

Para que un motor de combustión interna realice un funcionamiento correcto con biogás es necesario que este cuerpo de trabajo sufra los siguientes procesos:

- “Es necesario hacer burbujear el biogás a través de agua para separar el CO_2 del biogás”[24], siempre y cuando el uso sea en motores que cuentan con sistema de inyección.
- Separar el ácido sulfhídrico de biogás. Para lograrlo existen los siguientes métodos:
 - Hacer pasar el biogás por limaduras de hierro.

- Hacer burbujear el biogás a través de una mezcla de agua y soda caustica que contenga sulfato de hierro, introduciendo pequeñas porciones de aire del orden del tres al cinco por ciento del volumen del depósito.

2.3.2.1. Motor a gasolina.

El motor de gasolina es un motor de combustión interna que funciona idéntico al proceso mencionado anteriormente para esta clase de motores, a diferencia de un motor diésel que, aunque funciona igual cambia el orden de la mezcla de cuerpo de trabajo.

2.3.2.1.1. Motor a gasolina con carburador.

Para que estos motores funcionen con biogás es necesario realizar unos cambios en el carburador de estos, proceso que consiste en instalar un tubo que permita la mezcla de biogás y aire en relación (1:20) en el ducto en donde se instala el depurador de aire, esto se hace con el fin que el motor funcione o con gasolina o con biogás 100%. A continuación, en la Figura 18 se observa un motor al cual se le realizó el cambio para funcionar con biogás, y la pieza con la que se realiza la adaptación

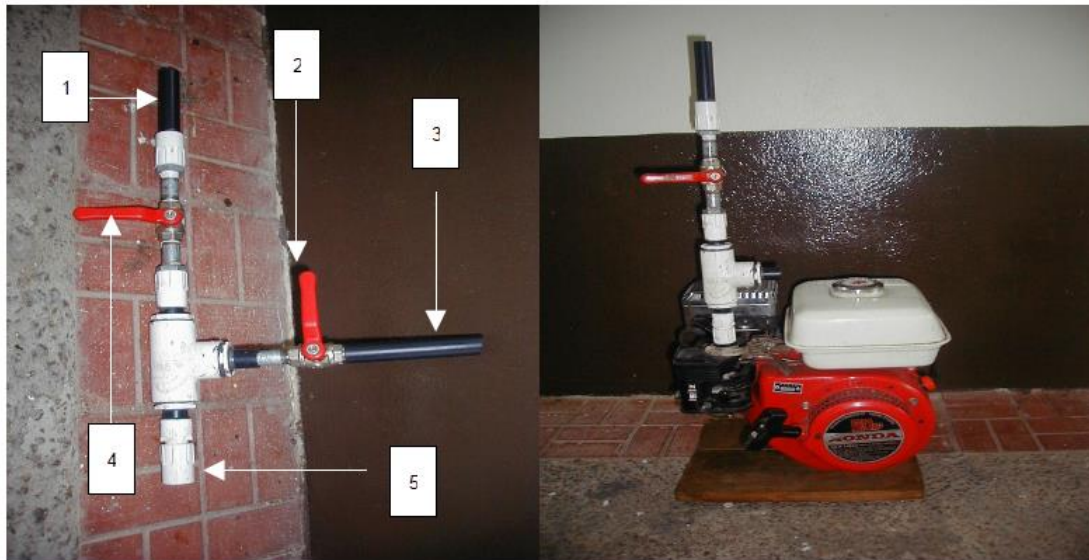


Figura 18. Motor de gasolina con carburador modificado para usar biogás [22].

Donde:

1. Entrada de biogás.
2. Válvula entrada de aire.
3. Tubo entrado de aire.
4. Válvula de admisión de biogás.
5. Entrada al motor de mezcla aire biogás.

2.3.1.1.2. Motor a gasolina con sistema de inyección.

Para que un motor con sistema de inyección de gasolina funcione con biogás, es necesario que el ducto que dirige aire hasta la válvula de admisión del cilindro, sea modificado para realizar una combinación de aire y biogás, donde el primero debe poseer mayor cantidad que el segundo para que de esta forma se de paso a los cuatro procesos de funcionamiento para un motor de combustión interna.

En cuanto al sistema de inyectores del motor, estos permanecen en su sitio para darle modularidad a este de funcionar con los dos tipos de cuerpo de trabajo, es decir, gasolina y biogás, donde cada uno puede hacer funcionar el motor sin necesidad del otro.

Si se desea hacer uso de los inyectores durante todo el proceso de funcionamiento con biogás, es necesario que este sea tratado para aumentar el porcentaje de metano presente, hasta un 96%, lo cual se logra realizando un tratamiento completo como se aprecia en la Figura 19 tras diferentes estudios de la FAO.

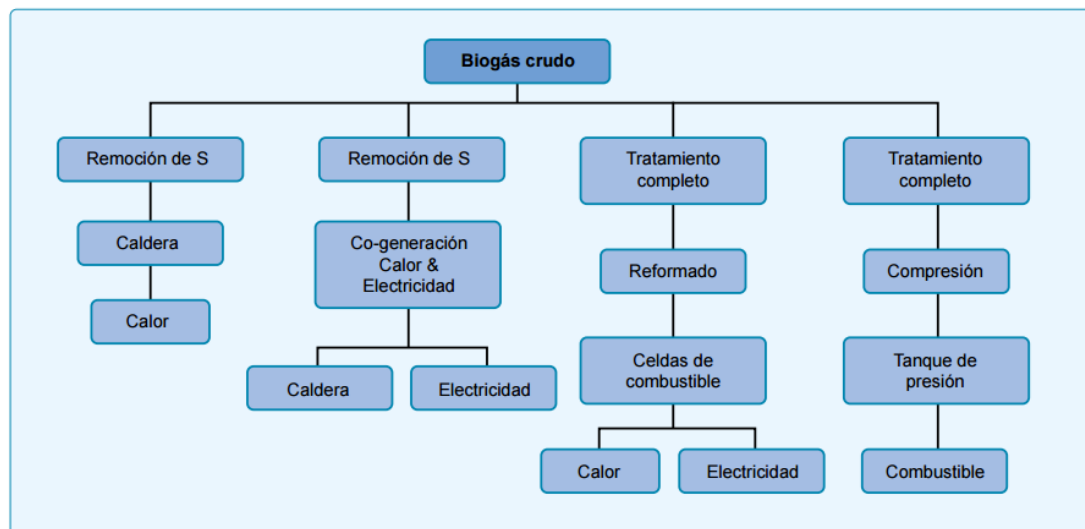


Figura 19. Diferentes tratamientos para el biogás [24].

Al observar la Figura 19 se observa que los motores de combustión interna con inyección para poder usar biogás incluyendo el sistema de inyección, deben pasar por un tratamiento completo, el cual garantizará que el biogás se asemeje más al gas natural puesto que el porcentaje de metano estará entre el 90 y 99% de la composición del combustible tratado. Las etapas del tratamiento completo son:

1. Remoción de dióxido de Carbono (CO_2).
 - a. Por medio una adsorción del biogás por agua caliente, dimetil éter o polietilenglicol se retira (CO_2).
2. Remoción de agua (H_2O).
3. Remoción de Sulfuro de hidrogeno (H_2S).
4. Remoción de Oxígeno (O_2).
5. Remoción del amonio.

Nota: Para mayor información revisar [24] en el capítulo 4 y obtener explicación de las diferentes etapas para hacer funcionar un motor de combustión interna de inyectores con biogás.

2.3.2.1.3. Motor a gasolina consumo de biogás y producción de electricidad.

Se ha encontrado que el biogás puede reemplazar el 100 % de la gasolina en un motor de combustión interna, por lo cual se puede llegar a pensar que el motor es igual de eficiente cuando se usan diferentes tipos de combustible.

A continuación, matemáticamente se observará el comportamiento de la eficiencia del motor de gasolina funcionando con biogás teniendo en cuenta las funciones de rendimiento efectivo (Ecuación 2) y Flujo másico de combustible (Ecuación 3).

$$\text{Ecuación 2.} \quad \eta_e = \frac{W_e}{(H_i)(m_c)}$$

Donde:

W_e : Potencia entregada [W]

H_i : Poder Calorífico [kJ/kg]

m_c : Flujo másico de combustible [kg/h]

De la Ecuación 2 se puede determinar que el rendimiento para un motor de gasolina usando como combustible biogás es mayor que si usa gasolina, esto debido que el poder calorífico del biogás es menor al de la gasolina, así mismo por medio de la Ecuación 3, se observa que el consumo másico de combustible es mayor cuando se usa gasolina, lo cual también indica que el rendimiento del motor con biogás es mayor, sin embargo, el consumo volumétrico de biogás resulta mayor que el de gasolina. A continuación, en la Ecuación 3 se muestra la fórmula para determinar flujo másico de combustible.

$$\text{Ecuación 3.} \quad m_c = V_c * P_c$$

Donde

V_c : Consumo volumétrico [Lt/h]

P_c : Densidad del combustible [Kg/Lt]

Para determinar la producción de electricidad usando un motor de combustión interna como primo motor de un generador eléctrico, se debe buscar un generador eléctrico que posea igual velocidad nominal, y que sea sincrónico. Si se cumple esa condición la generación de electricidad estará dada por la potencia para la cual se construyó el generador. Por otra parte, si se desea usar un generador de diferente velocidad

nominal, se debe ajustar el sistema por medio de un reductor o multiplicador de velocidad que permita obtener los parámetros requeridos.

2.3.2.2. Motor a diésel.

El motor diésel en su funcionamiento cumple con los procesos que se llevan a cabo en un motor de combustión interna, lo que hace que se considere uno de ellos, pero realiza cambios en los dos primeros procesos de funcionamiento, es decir, cambios en el proceso de admisión y compresión [23].

El primer cambio en el proceso de admisión ocurre debido que en esta fase solo se recibe el aire, a diferencia del proceso original que se recibe aire y combustible, el segundo cambio ocurre en el proceso siguiente, el de compresión, en donde se agrega el diésel mientras el aire está siendo comprimido causándole elevación en su presión y en su temperatura. La nueva mezcla de aire comprimido, a alta presión y a alta temperatura con el diésel causa que se inicie una combustión sin necesidad de una bugía como en el caso de los motores de combustión interna que funcionan con gasolina. Los procesos de explosión y escape son iguales a los descritos anteriormente.

Cuando un motor diésel funciona con biogás, es beneficioso para el medio ambiente, puesto que la mayor parte de este combustible es metano, el cual es un combustible limpio como se observa en la Figura 14, al compararse con el diésel. Por tanto, cuando el motor de encendido por compresión funciona con biogás, se reducen las contaminaciones por gases de escape, óxidos de nitrógeno y partículas sólidas. Sin embargo, se observará más adelante que el consumo de biogás de esta clase motores no es del 100% [25].

Para que el motor diésel funcione con biogás es necesario ajustar el filtro y conducto de aire que alimenta la cámara del pistón, instalando un tubo, parecido al que se instala en un motor a gasolina cuando funciona con biogás, a diferencia que debe poseer mayor diámetro, para que permita la mezcla de biogás y aire con el fin de alimentar el proceso de admisión del motor, logrando así, que el vacío generado tras bajar el pisto, absorba la mezcla aire-biogás. Posteriormente la mezcla se comprime y es mezclada con una cantidad pequeña de diésel para que de esta manera se comience el proceso de combustión para hacer funcionar el motor [22]. A continuación, en la Figura 20 se observa la pieza que se debe desarrollar para modificar el motor diésel y este pueda funcionar con biogás, así como un motor con la pieza ya instalada.



Figura 20. Artefacto y motor diésel modificado para funcionar con biogás [16].

Donde:

1. Entrada de biogás.
2. Entrada de aire.
3. Entrada al motor de mezcla aire biogás.
4. Válvula reguladora de la entrada aire biogás al motor.

El funcionamiento de un motor diésel con biogás difiere al de un motor de gasolina ya que en estos no se puede reemplazar el 100% el combustible original debido a la baja capacidad de ignición del biogás, sin embargo, se ha demostrado que se puede reemplazar hasta el 65% del diésel por biogás trabajando el motor a altas revoluciones, y se ha reemplazado el 75% trabajando a bajas revoluciones. Por consiguiente, a diferencia de un motor a gasolina, ambos cuerpos de trabajo trabajan al tiempo, siendo el biogás el de mayor uso [22].

2.3.2.2.1. Motor a diésel consumo de biogás y producción de electricidad.

Se ha encontrado que el biogás puede reemplazar entre el 55 y 74 % del diésel en un motor de combustión interna, por lo cual se podría especular que el rendimiento de esta clase de motores se vería afectado al tener que usar los dos combustibles al tiempo y adicionalmente aparecerían pérdidas durante el proceso.

Matemáticamente observando la ecuación de rendimiento expresada anteriormente en la Ecuación 2, se observa que el rendimiento aumentaría cuando el motor funciona con ambos combustibles, adicionalmente se observa que el consumo másico disminuiría, mientras que el consumo volumétrico aumentaría.

Al igual que en el motor de gasolina, esta clase de motor es usado como primo motor de un generador eléctrico para la generación de electricidad, por consiguiente, la generación eléctrica está dada por los mismos principios explicados anteriormente en la generación de electricidad con motores a gasolina.

2.4. PLANTAS ELÉCTRICAS QUE FUNCIONAN A BIOGÁS

Con la necesidad de suplir la demanda creciente y constante de energía eléctrica, se han desarrollado nuevos combustibles como el biogás, el cual posee un poder calorífico entre de 5,5 kWh a 6,0 kWh o 22000 BTU por m³ aproximadamente, si el contenido de metano y humedad en el biogás son los ideales.

Como se observó anteriormente los motores de combustión interna convencionales no pueden operar con biogás sin antes hacerle una limpieza a este y adicionalmente hacerle una modificación al motor, por lo cual se han creado diferentes conjuntos compuestos por motores robustos, filtros, medidores, generadores eléctricos entre otros, que conforman una planta eléctrica capaz de aprovechar el poder calorífico del biogás directamente y generar energía eléctrica.

Como en el conjunto motor de combustión interna-generator, en el conjunto que forman a esta clase de plantas que funcionan con biogás, el motor es la máquina de mayor importancia, ya que esta debe ser robusta para soportar las vibraciones que ocasionan el alto contenido de monóxido de carbono en el biogás, y adicionalmente estos deben ser controlados para operar a bajas revoluciones para aumentar con esto la vida útil de todo el sistema.

Existen varios rangos de generación, pero los que más se comercializan van desde los 10 KW hasta los 825 KW. Así mismo, se ha visto un gran aumento en la demanda de este tipo de máquinas los últimos años, por lo cual es una tecnología que no está en un grado insipiente de desarrollo, sin embargo, su acogida ha sido en países desarrollados mientras que en países sub-desarrollados se siguen usando motores de gasolina o diésel para aprovechar el poder energético del biogás. A continuación, en la Figura 21 se aprecia un ejemplar de esta clase de máquinas.



Figura 21. Planta eléctrica a biogás.

2.5. TURBINAS A GAS PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Las turbinas a gas son las máquinas termodinámicas donde el motor es una turbina que utiliza como cuerpo de trabajo gases de combustión, los cuales provienen de la mezcla de aire con gasolina, diésel, gas natural o biogás, siendo esta la razón por la cual la máquina fue nombrada como turbina a gas. Esta posee múltiples usos, y en este trabajo se usarán para la generación de energía eléctrica a partir del biogás.

El origen de estas máquinas se remonta a los años 150 A.C, sin embargo, dicha invención solo fue un pensamiento del filósofo Hero, siendo así 1872 el año en que J.F Stoleze diseñara la primera turbina a gas, la cual fue construida entre los años de 1900 y 1904, teniendo muy poco éxito debido al bajo rendimiento de los compresores de la época. Fue después de la segunda guerra mundial, tras la utilización de los motores a reacción en los aviones, que las turbinas a gas evolucionaron y comenzaron a tener un rendimiento aceptado por el público y desde entonces se ha venido trabajando para su constante evolución y mejoramiento.

La turbina a gas la componen un compresor, una cámara de combustión, una turbina entre otros elementos. Su funcionamiento comienza cuando se permite la entrada del aire, el cual en el compresor por medio de alabes fijos se comprime, elevando su presión, su temperatura y reduciendo un poco su velocidad. Seguido a la compresión el aire es conducido hacia la cámara de combustión, lugar donde se mezcla con el combustible (Gasolina, diésel, gas natural, biogás entre otros), formando así el cuerpo de trabajo el cual entra en ignición.

Tras la ignición se generan gases de combustión, los cuales poseen una temperatura, una velocidad y un volumen de flujo de gas mayor comparada con la del cuerpo de trabajo inicial, que se expanden y se conducen a través de una boquilla hacia los alabes móviles de la turbina, momento en donde $\frac{2}{3}$ de la potencia generada por la turbina son usados para accionar el compresor de la máquina y el resto de la potencia es convertida en movimiento en los alabes móviles, y que es transmitida a través del eje al generador eléctrico [26].

Tras finalizar el proceso el cuerpo de trabajo restante es enviado a la atmosfera, aunque en algunos casos, al final del proceso se decide aprovechar este residuo por medio de un sistema de cogeneración el cual usa el calor contenido en el cuerpo de trabajo resultante para generar vapor, el cual es usado para impulsar una turbina de vapor y generar más electricidad o en otros casos es usado para diversos usos industriales, con lo que se logra que la turbina de gas mejore su eficiencia. En la Figura 22 se observa una turbina de gas y sus partes sin la adaptación para la cogeneración.

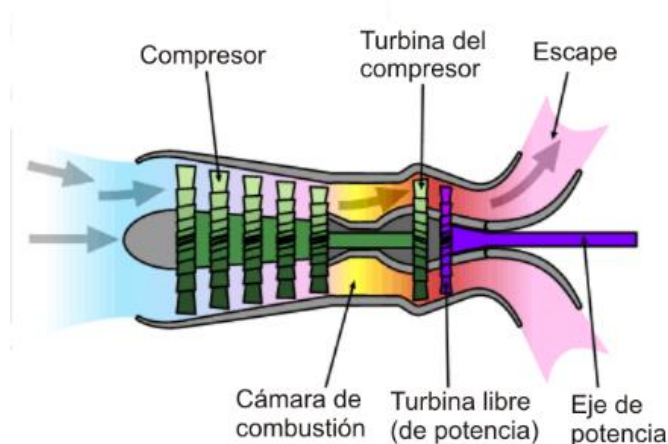


Figura 22. Turbina a gas y sus partes [27].

En la actualidad las turbinas de gas son una alternativa para la generación de electricidad al igual que motores de combustión interna, las turbinas a vapor, las celdas de hidrógenos entre muchas otras opciones. A continuación, en la tabla 3 se presenta una comparación de este equipo con motores de combustión interna y turbinas a vapor, para mostrar las diferentes ventajas que puede ofrecer a un proyecto de generación de electricidad esta tecnología, así mismo presentar las desventajas que ocasionaría.

Tabla 9. Comparación de una turbina a gas contra un motor de combustión y una turbina a vapor.

Frente a	Ventajas de una turbina a gas	desventajas de una turbina a gas
Motor de combustión interna o pistón para la generación de electricidad	Las pérdidas son menores debido a que no posee pistones para mover el eje. Posee facilidad y economía en el mantenimiento	Posee menor rendimiento, ya que este está dado entre 30 a 35% de rendimiento frente a un 40-50% de un motor (Porcentaje dado según el grado de desarrollo)
Turbina a vapor para la generación de electricidad	Necesita menor refrigeración y posee facilidad para la instalación. El tiempo de puesta en marcha es considerablemente menor.	Para mejorar su rendimiento necesita de la turbina de vapor. Posee menor rendimiento, puesto que la Turbina Vapor posee rendimiento por encima del 40%

En la tabla 3 se aprecia que la generación de electricidad con turbinas a gas, presenta desventajas serias frente a otras opciones relacionadas con la generación térmica debido a su menor rendimiento, sin embargo, se ha demostrado que en muchos proyectos pequeños en el sector agroindustrial que utilizan cantidades pequeñas de biogás procedente de una descomposición anaeróbica de biomasa, resulta mejor alternativa el uso de micro turbinas a gas con filtros de carbón, comparado con generadores diésel o generadores a gasolina (Motores de combustión interna a gasolina o diésel conectados a un generador eléctrico) [26], debido a esto en este documento se estudiara el comportamiento de una turbina a gas con biogás, y como es la generación de electricidad, sin embargo esta mejora de eficiencia se logra realizando estudios exhaustivos a la máquina ocasionando que la planta de generación de electricidad que opte por esta alternativa sea de difícil operación.

Al ser máquinas poco eficientes para la generación de electricidad, se suelen usar en instalaciones diseñadas para ser sistemas de respaldo, dar apoyo para cubrir cargas pico o elevación repentina de la demanda y en algunas ocasiones si el combustible a usar es económico como es el caso del biogás obtenido en una avícola a partir de la excreta de gallina, puede usarse esta alternativa como fuente principal de generación para cubrir la demanda constante de un sistema eléctrico.

Una turbina gas al igual que una micro turbina para funcionar a biogás necesita **Eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S)**, para lo cual existen muchas opciones, como se verá más adelante en la sección 5.4. de este documento, pero para turbinas a gas la opción más usada es la “adsorción sobre carbones activos impregnados de KOH o KI que operan a temperatura ambiente y presión atmosférica, y convierten el H_2S en azufre elemental y agua mediante la reacción de Claus” [28] que es lo mismo de hacer una adsorción en char de carbón, que resulta ser un filtro de carbón. Si el biogás proviene de un centro de recolección de basura urbano, por medio del mismo sistema, se deben eliminar los siloxanos, proceso que no es necesario cuando la biomasa proviene de vegetales, animales y relacionados.

Las turbinas y micro turbinas que funcionen a biogás, pueden hacer uso de este combustible a 100%, es decir, la operación de la máquina es posible usando solo biogás.

Para determinar el consumo de biogás en una turbina a gas es necesario seguir los siguientes pasos.

- Medir la temperatura del biogás en la turbina.
 - Medir la temperatura en la entrada de la turbina (T1).
 - Medir la temperatura en la salida de la turbina (T2).
- Determinar el rendimiento total de la turbina.
 - Rendimiento térmico (η). Se determina por la Ecuación 4.

Ecuación 4. $\eta = \frac{1-T_2}{T_1} * 100\%$

- Rendimiento mecánico
 - Rendimiento del generador eléctrico.
- Se determina el rendimiento total de la turbina, tras la suma de los rendimientos térmicos, mecánicos y eléctricos de la máquina.
- Se mide la carga de la turbina teniendo en cuenta.
 - Potencia eléctrica a generar
 - Poder calorífico del biogás
- El consumo de biogás de la turbina a gas está dado por la Ecuación 5.

Ecuación 5.

$$B = \frac{\text{Potencia eléctrica a generar}}{(\text{Rendimiento total})(\text{Poder Calorífico del biogás})}$$

2.6. HIDROGENO A PARTIR BIOGÁS PARA USO DE PILAS DE COMBUSTIBLE.

El hidrogeno es considerado como el combustible del futuro, debido que al entrar en combustión no contamina, posee una alta densidad energética y se puede usar en sistemas de combustión habituales, e igualmente en nuevos sistemas de combustión electroquímica.

Para obtener Hidrogeno a partir de biogás es necesario que este sea expuesto a un proceso de transformación, y en la Figura 23 se muestran las fases del proceso.

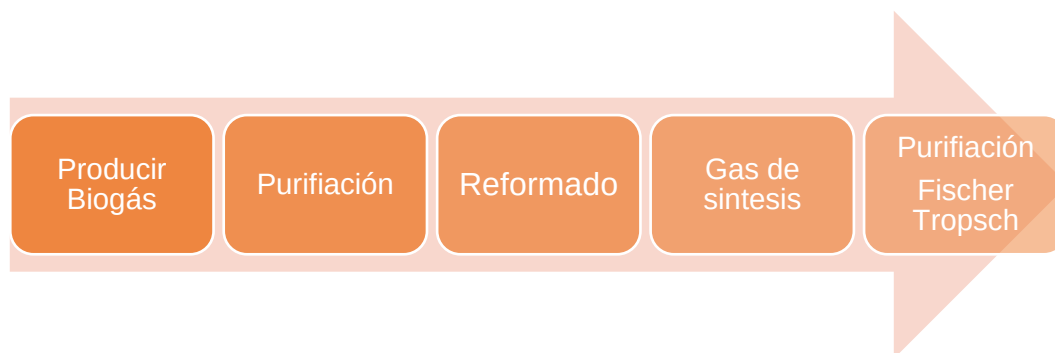


Figura 23. Procesos por los que pasa el biogás antes de ser convertido a hidrogeno [Propia].

Se asume que la producción de biogás es la que se ha planteado en el capítulo uno sección cuatro, en donde se explicó la forma de obtener biogás a partir de la excreta de gallina, usando biodigestores los cuales fueron descritos en el capítulo uno sección tres, usando un proceso anaeróbico descrito en la sección dos del primer capítulo de

este trabajo. Por consiguiente, se pasa a explicar el proceso de purificación del biogás y seguido a este los diferentes procesos.

2.6.1. Purificación del biogás.

Para purificar el biogás se deben realizar las siguientes acciones [28]:

- **Eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S):**
 - Se pasa el biogás por biofiltros, causando la degradación del H_2S .
 - “Absorción sobre una disolución de sal alcalina o una sal de hierro”.
 - “Adsorción sobre carbones activos impregnados de KOH o KI que operan a temperatura ambiente y presión atmosférica, y convierten el H_2S en azufre elemental y agua mediante la reacción de Claus”
- **Eliminar los hidrocarburos halógenos:** Se deben absorber en char de carbón, es decir, un alto contenido de carbón.
- **Eliminar los siloxanos:** Se debe enfriar a $-2^{\circ}C$ el biogás o se usa absorción en char de carbón.
- **Eliminar la humedad:** Para hacerlo se debe ajustar el contenido de H_2O .
- **Eliminar los sólidos:** Se deben instalar filtros.

2.6.2. Reformado del biogás.

El biogás tras ser purificado, se debe reformar para producir un gas de síntesis, un gas rico en hidrogeno y carbono. Para reformar el biogás existen diferentes métodos como el reformado con vapor de agua y el reformado seco, los cuales son los más usados. Existen otros métodos de menor usabilidad como oxidación parcial catalítica (POM) y el reformado auto-térmico (ATR). A continuación, se explicarán los métodos que más se usan.

- **Reformado con vapor de agua (SMR).**

En ingles conocido como (steam methane reforming), es una reacción altamente endotérmica, es decir, una reacción que posee un alto incremento de entalpía o ΔH positivo [29]. Este reformado posee las siguientes ventajas.

 - Obtener una elevada relación de H_2/CO .
 - El proceso se da a bajas presiones.

Como desventajas, hace que sea necesario eliminar el monóxido de carbono CO_2 presente en el biogás y alimentar una corriente de agua vaporizada, lo cual hace que los costos sean importantes. Adicionalmente se deben trabajar con exceso de agua. En la Figura 24 se observa la reacción resultante de este proceso.

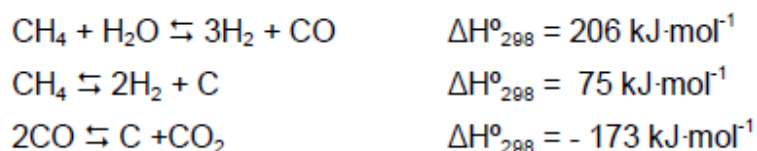


Figura 24. Reacción del metano tras el reformado con vapor de agua [29].

- **Reformado con CO₂ o reformado seco (DMR).**

En inglés conocido como (dry methane reforming), es un método donde no es necesario separar el monóxido de carbono CO₂ de la corriente de biogás y alimentar con O₂ o agua (H₂O), lo que lo torna como una alternativa más económica. Sin embargo, como resultado posee una alta formación de carbono en los catalizadores, lo cual es un inconveniente porque con el tiempo puede hacer que el proceso de reformado quede totalmente taponado. En la Figura 25 se observa la reacción resultante de este proceso.



Figura 25. Resultados del reformado de biogás con reformado seco.

2.6.3. Gas de síntesis.

El proceso descrito en la Figura 23 establece que el biogás después de ser purificado y reformado se convierte en un gas de síntesis, es decir, una mezcla gaseosa rica en hidrógeno y monóxido de carbono, donde esta puede ser utilizada para la producción de electricidad de corriente continua por medio de una purificación extra y pilas de combustible o puede ser utilizado para obtener hidrógeno puro por medio de un proceso Fischer-Tropsch [29].

2.6.4. Celda de combustible para la generación de electricidad.

Las celdas de combustible fueron desarrolladas en 1894 por el químico alemán Wilhelm Ostwald, cuando usó cuatro celdas grandes de H₂ y O₂ para producir electricidad y al mismo tiempo generar hidrógeno y oxígeno. En principio esta tecnología fue aplicada para abastecer de electricidad a las naves espaciales y satélites, y más adelante como una alternativa ecológica para suplir la demanda constante de electricidad [30].

La generación de electricidad con una pila de combustible o celda de hidrógeno posee un ánodo y un cátodo separado por un electrolito, el cual es una sustancia que ayuda a la conducción de protones. Dentro de la pila el proceso de generación se da cuando el ánodo es alimentado con hidrógeno, lugar donde sufre una oxidación debido al catalizador de platino presente en el ánodo, ocasionando que el hidrógeno entre en un proceso de disociación, es decir, que sus moléculas se separen de forma reversible, causando que los electrones circulen por un circuito externo hacia el

cátodo, mientras que los protones resultantes de la disociación atraviesan el electrolito hacia el cátodo.

Los electrones al estar en circulación generan corriente eléctrica continua, la cual es trasladada a un alternador o a un inversor de corriente para transformarla en corriente alterna, mientras que los protones tras la disociación pasan por el electrolito hasta el cátodo que es constantemente alimentado por oxígeno, el cual sufre un proceso de reducción, es decir, gana electrones procedentes del catalizador de cobre presente en el cátodo; seguidamente el oxígeno reducido pasa al electrolito donde absorbe las moléculas de hidrogeno positivas o protones generando agua, siendo esta el residuo del proceso [28]. En la Figura 26 se observa una pila de combustible y el proceso al interior de ella.

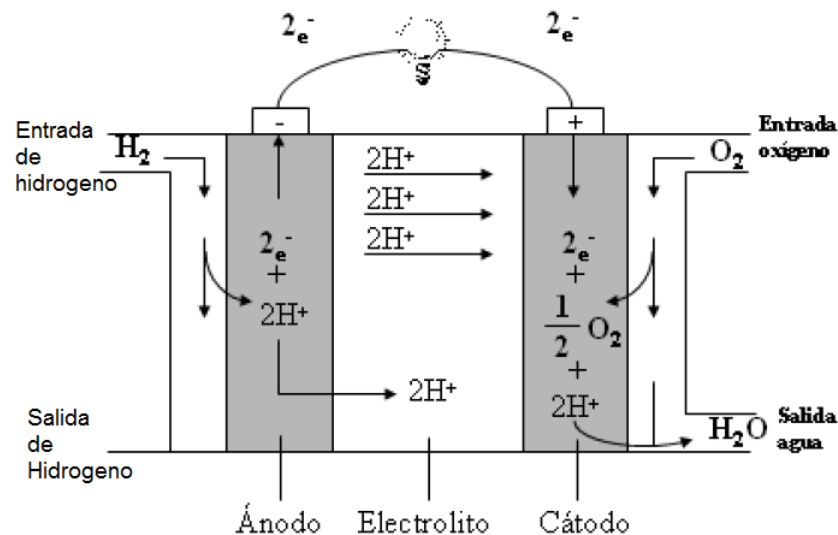


Figura 26. Pila de combustible y proceso del hidrogeno en su interior [28].

En la actualidad existen diversas tecnologías para la fabricación de este tipo de celdas o pilas, las cuales determinan si el proceso de reformado del biogás se da al interior o al exterior de esta, donde si se da en el interior se evita un proceso adicional de purificación, pero si se da en la zona externa es necesario realizar una purificación adicional de monóxido de carbono CO_2 y adicionalmente aumenta los costos para la instalación de estos artefactos.

El reformado en la zona externa versus en la zona interna no cambian en su forma de reacción, es decir, el resultado tras el reformado es igual, pero difiere la pilas de combustible que se usa, diferencia marcada principalmente por el rango de temperatura a la cual trabaja la pila o celda, que adicionalmente determinan el rango de potencia de generación de electricidad, ya que las que usualmente lo hacen en la zona externa o a baja temperatura poseen un bajo rango de potencia, mientras que las que trabajan en la zona interna con alto rango de temperatura poseen un alto rango de potencia para la generación de electricidad [28]. A continuación, en la Tabla

10 se observarán diferentes tipos de pilas de combustión interna o celdas de hidrogeno.

Tabla 10. Comparación de celdas de combustible, datos tomados de ([28]).

Nombre celda de combustible	Rango de temperatura [°C]	Rango de potencia eléctrica [KW]	Rendimiento [%]	Tipo de reformado	Estado de desarrollo
PEMFC	60 - 80	5-250	35-45	Externo	Comercial
DMFC	60 - 120	5	30-40	Externo	Comercial
MCFC	600 - 700	100-2000	45-60	Interno	Comercial
SOFC	800 - 1000	100-250	50-65	Interno	Desarrollo

Una celda de combustible o hidrogeno puede reemplazar su combustible original por biogás en un porcentaje de 100% sin ningún problema. Se sabe que 1 m³ de biogás equivale a 0,45 m³ de hidrogeno, por consiguiente, para determinar el consumo de biogás con una celda de combustible es necesario conocer el consumo de hidrogeno y llevar este valor a cantidades de biogás.

2.7. OTROS USOS DEL BIOGÁS.

En las secciones anteriores de este capítulo se ha visto que el biogás es un combustible usado para llevar a cabo un proceso de combustión y de esta forma aprovechar la energía química liberada para generar energía mecánica, que posteriormente es transformada en electrica.

Aparte de los usos ya mencionados, el biogás puede ser usado como fuente energética en otros procesos como son:

2.7.1. Estufas a biogás.

Esta clase de Estufas debe ser de fácil uso y reparación, económicas, de bajo costo, flexibles para limpiar y alta eficiencia en uso del combustible, lo cual se logra ajustando las boquillas de la estufa para permitir una mezcla proporcionada entre aire y combustible.

Este tipo de estufas posee un consumo de biogás entre 0,20 a 0,42 m³/h.

2.7.2. Iluminación.

El biogás puede ser usado para la generación de luz, pero no es una alternativa eficiente, segura y ambiental, ya que existen combustibles como gas natural que poseen mejores resultados en ese campo, así mismo se corre el riesgo de provocar incendios en sitios interiores y la combustión sin tratar de este combustible genera desechos nocivos para el ambiente.

Este tipo de luminarias posee un consumo de biogás aproximado de 0,07 m³/h.

2.7.3. Refrigeración.

Existen refrigeradores de tipo absorción que pueden operar con facilidad con biogás.

Los diferentes usos mencionados para el biogás en la sección 2.7 son importantes para instalaciones donde no se cuente con el biogás necesario para implementar tecnologías de aprovechamiento como las descritas en las secciones 2.2 a la 2.6, ya que de esta forma aprovecharán un recurso y adicionalmente ayudarán a disminuir la demanda de fluido eléctrico, ocasionando la reducción del déficit energético de aquellas regiones que poseen mayor demanda que generación de electricidad o gas.

3. CAPÍTULO 3. PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON BIOGÁS Y ESTIMACIÓN DEL POSIBLE POTENCIAL.

En la actualidad muchos departamentos de Colombia no poseen una capacidad instalada de generación de energía eléctrica considerable, impidiéndoles la posibilidad de atender la demanda que constantemente va en aumento. En departamentos como el Valle del Cauca esta situación se ha repetido por muchos años, lo que lo ha obligado a comprar energía de otros departamentos, elevando los costos y creando dependencias. Este trabajo de forma teórica plantea una estimación del potencial de generación eléctrico que puede existir si se usa de forma adecuada la biomasa proveniente de la excreta de gallina, sistema que puede ayudar a disminuir este déficit.

Para la generación de electricidad con el método que se plantea es necesario que se creen plantas de generación eléctricas en las avícolas, lugar en donde la biomasa (excreta de gallina) se encuentra en mayor proporción.

Para estimar la generación es necesario estimar la cantidad de biomasa en una avícola, y a partir de allí determinar cuál de las tecnologías (ver capítulo dos) es idónea para realizar el mejor proceso de generación de electricidad

3.1. Planta de generación eléctrica con biomasa.

En la actualidad, debido a la alta demanda de electricidad la humanidad se ha visto obligada a buscar fuentes alternas de energía, tal como: solar, geotérmica, eólica y biomasa entre otras. La planta a biomasa presenta una alta tasa de uso al día, puesto que puede funcionar las 24 horas del día los 7 días de la semana, siempre y cuando se tenga la biomasa necesaria para alimentar el sistema.

Una planta de generación eléctrica a biomasa, se puede considerar una planta de generación térmica, ya que utiliza la combustión como principio fundamental para la generación de electricidad, este ocasiona un grave impacto al medio ambiente debido a los gases de efecto invernadero que se generan, sin embargo, al compararse con plantas que utilizan combustibles convencionales (Gasolina, Diésel), representa una disminución considerable de esta clase de gases como se observa en la Figura 14. Debido a esto, en países como Alemania, en el 2010 ya se contaba con 5800 de estas plantas, las que tenían una generación aproximada de 2300 MW [31].

En la actualidad se encuentran diferentes tipos de plantas, en este trabajo solo se mencionarán dos.

3.1.1. Planta de biomasa.

Este tipo de planta de generación eléctrica aprovecha la biomasa sólida para alimentar la ignición de una cantidad mínima de combustible, para así generar calor, que posteriormente es transferido a un líquido que generalmente es agua, a través de un intercambiador de calor, y eleva su temperatura por encima de los 600°C para la generación de vapor seco, el cual es aprovechado por una turbina a vapor y así generar electricidad. El vapor tras ser aprovechado por la turbina, puede ser reutilizado en procesos de cogeneración, o según el diseño de la planta puede ser usado para ayudar a elevar la temperatura del vapor generado. En algunos casos el vapor es condensado, para posteriormente ser vaporizado. A continuación, en la Figura 27 se observa una central de generación eléctrica a biomasa.

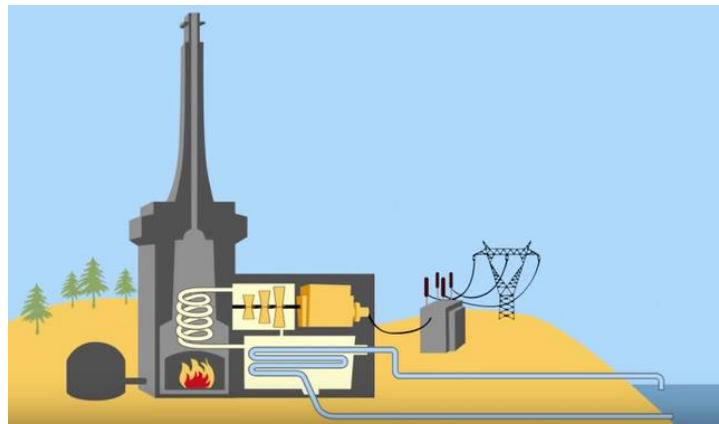


Figura 27. Central de generación eléctrica a biomasa [32].

3.1.2. Planta para obtener biogás a partir de biomasa.

Este tipo de planta, utiliza diferentes fuentes de biomasa, principalmente estiércol animal, para la obtención de biogás y posteriormente la generación de electricidad.

A lo largo de este documento se ha explicado las diferentes etapas de procesamiento de la biomasa y posteriormente la usabilidad del biogás, donde en el capítulo 1 se explicó que la biomasa es mezclada con agua, residuos agrícolas o con lodos de plantas de tratamiento en un biodigestor, garantizando que al interior de este se dé un proceso anaeróbico para así obtener biogás. Posteriormente en el capítulo 2, se explicó que tipo de máquinas pueden usar el biogás, para posteriormente generar electricidad. A continuación, en la Figura 28 se observa el resumen del funcionamiento de una planta donde se obtiene biogás a partir de biomasa, planta que será la de mayor estudio en este trabajo, ya que es la forma más idónea de aprovechar la excreta animal como fuente energética.

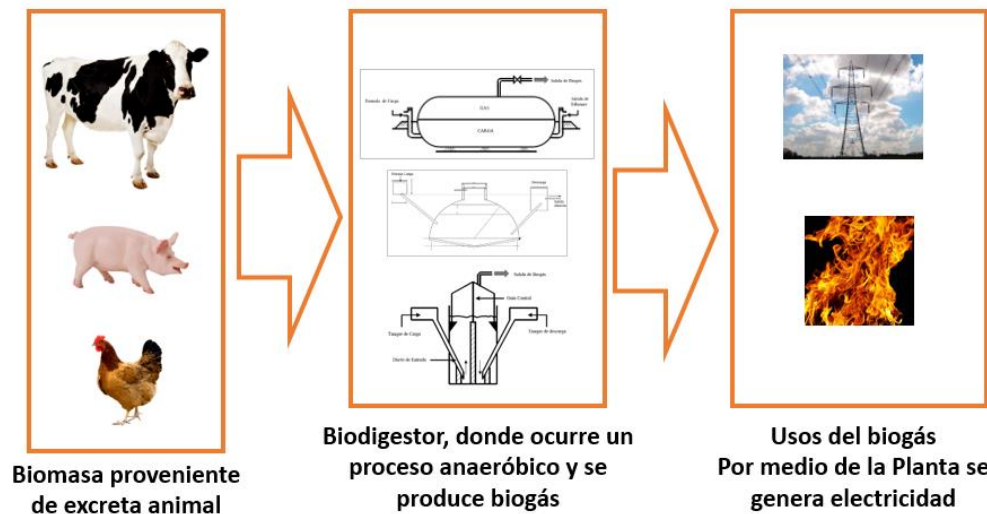


Figura 28. Resumen del funcionamiento de una planta donde se obtiene biogás a partir de biomasa, para posteriormente generar electricidad [Propia].

Al entender el principio de funcionamiento de una planta para obtener biogás a partir de biomasa, es necesario describir los diferentes componentes que la conforman, para de esta forma entender su funcionamiento y saber qué tipo de cuidados y que tipo de operación se le deben efectuar.

Una planta para obtener biogás a partir de biomasa debe poseer los siguientes componentes.

3.1.2.1. Sistema de recolección de biomasa.

Como su nombre lo indica, este sistema es usado para recolectar la biomasa y además es usado para depositar la biomasa en el ducto que alimenta el interior del biodigestor.

3.1.2.2. Biodigestor.

En el apartado 1.3 del capítulo 1, se explica que es, como funciona y que parámetros se deben tener en cuenta para la operación de este tipo de máquinas ya que en esta se genera el proceso anaeróbico, es decir, un proceso libre de oxígeno para que bacterias metanogénicas fermenten la biomasa y de esta manera se genere biogás.

Existen diferentes tipos de biodigestores que se pueden diferenciar por el costo de su invención, por su forma de construcción o por el tipo de usuario final. A continuación, en la Tabla 11 se muestra una comparación entre los diferentes biodigestores que se han tratado a lo largo de este documento para así facilitar el escoger el biodigestor que hará parte de una planta de generación eléctrica con energía proveniente de la excreta de gallina.

Tabla 11. Comparación de los diferentes tipos de biodigestores.

Biodigestor	Forma de carga	Nivel de operación	Nivel de costo	Usuario final	Tipo de construcción
Tipo batch	Discontinua	Fácil	Bajo	Avícola pequeña, mediana y grande	industrial y/o artesanal
Estructura sólida estática	Semi continua	Fácil	Bajo y/o intermedio	Avícola pequeña y mediana	industrial y/o artesanal
Estructura sólida móvil	Semi continua	intermedio	Bajo y/o intermedio	Avícola pequeña, mediana y grande	industrial y/o artesanal
Tipo balón plástico	Semi continua	fácil	Bajo	Avícola pequeña y mediana	artesanal
Con geomembrana	Continua	intermedio	Intermedio	Avícola grande	industrial
Prefabricado	Continua	intermedio	alto	Avícola grande	industrial
De desplazamiento horizontal	Continua	difícil	alto	Avícola grande	industrial

3.1.2.3. Almacenamiento de efluentes.

Es de importancia para la planta ya que en este depósito se almacena todos los lodos residuales del proceso, los cuales son usados como biofertilizantes por toda la agroindustria debido a su alta cantidad de: nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y magnesio; nutrientes que ayudan al crecimiento efectivo de los cultivos donde son usados.

3.1.2.4. Válvulas.

Dentro de la planta se deben usar mínimo dos, una después del biodigestor y antes del tanque de almacenamiento, y otra al final de la línea para dar salida al sistema que aprovecha las características térmicas de biogás. Este tipo de válvulas deben ser construidas en acero inoxidable, en polietileno o en PVC (En Colombia deben cumplir la norma NTC 1746) para evitar ser corroídas por el ácido sulfhídrico presente en el

biogás. A continuación, en la Figura 29 se observa la constitución de este tipo de válvulas.

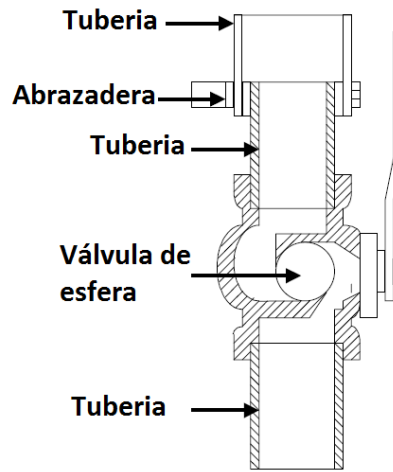


Figura 29. Válvulas de gas [6].

3.1.2.5. Tanque de almacenamiento.

Tras dimensionar el sistema y la cantidad de biogás a generar, se procede a dimensionar el tanque de almacenamiento de biogás.

Estos tanques de almacenamiento deben estar contruidos con acero inoxidable preferiblemente, pero también pueden ser contruidos con polietileno. En algunos casos, estos tanques según el tipo de biodigestor que se use, suelen estar dentro del mismo biodigestor, como ocurre con los biodigestores tipo campana o tipo Taiwán. Por último, estos tanques deben poseer ducto de llenado y ducto de vaciado.

3.1.2.6. Trampa de ácido sulfhídrico

La trampa de ácido sulfhídrico es un recipiente cilíndrico casi siempre de acero inoxidable, hueco en su interior, por lo cual se debe rellenar con limaduras de hierro o esponjillas metálicas si se desea ahorrar costos, para así formar un contenido poroso que no ponga mucha resistencia al paso del biogás. El ácido sulfhídrico (H_2S) presente en la composición del biogás reacciona con el hierro, haciendo que este se oxide, y por tanto se logra que el biogás que sale al final de la trampa posea un mínimo porcentaje de este ácido, o según la efectividad del filtro, este salga totalmente libre de ácido sulfhídrico. En la Figura 30 se observa una trampa de este tipo la cual también puede ser usada como trampa de agua, a diferencia que, si se usa solo para este fin, se debe obviar las limaduras de hierro. En algunas ocasiones esta trampa es usada para capturar ambas sustancias, agua y ácido sulfhídrico.

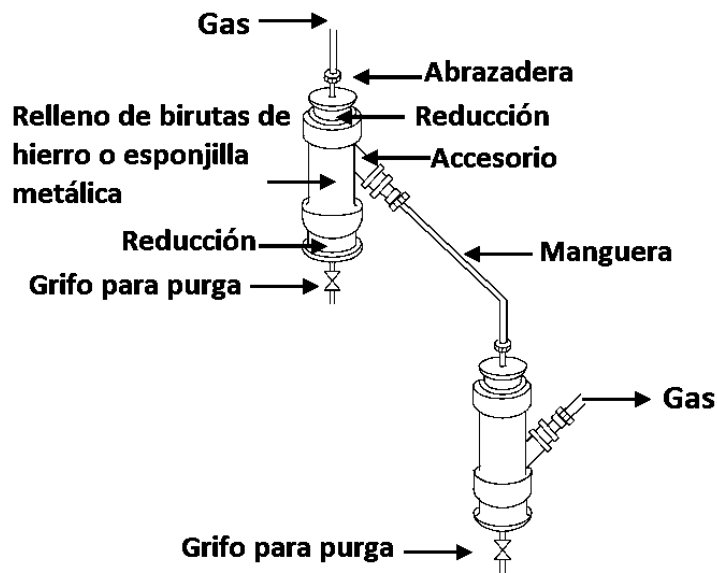


Figura 30. Trampa de ácido sulfhídrico y agua con grifo de purga [6].

3.1.2.7. Trampa de agua y sistema de evacuación con grifos de purga.

En algunas ocasiones, el biogás generado arrastra consigo partículas de agua, las cuales son un inconveniente para el aprovechamiento del poder calorífico de este biocombustible, por lo cual es necesario instalar en estos sistemas trampas de agua, trampa que consiste en aumentar bruscamente el diámetro del tubo de conducción de biogás-agua, y posteriormente colocar una salida con menor diámetro, para que de esta forma el agua pase a la parte inferior de la trampa mientras que el biogás continúe su recorrido hasta llegar a su disposición, como se observa en la Figura 30. Este sistema es similar a la trampa de arena que se usan para pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) [6].

3.1.2.8. Trampa de ácidos y llamas.

Esta clase de trampas actúa como una protección para el sistema, porque el biogás al entra en ignición dentro de la tubería o tubo de conducción, por medio de un arrestador la trampa rápidamente baja la temperatura del gas a tal grado que se aleje rápidamente de la temperatura de combustión, ya que el arrestador permite el paso de gas caliente y de iluminación, pero debido a su forma constructiva de múltiples orificios pequeños, la flama es llevada a su extinción total. Y al mismo tiempo por medio de una válvula térmica corta el flujo de gas, de esta manera este tipo de trampas protegen de un incendio al sistema o planta a biogás [33]. A continuación, en la Figura 31 se observa esta clase de trampas.



Figura 31. Trampa de llama o trampa de flama [33].

3.1.2.9. Sistema para aprovechar el poder energético del combustible.

Finalmente, la planta para obtener biogás a partir de biomasa debe poseer una disposición, es decir, un sistema que aproveche la energía que puede ser liberada del biogás, en este trabajo, la generación de electricidad.

En el capítulo 2, se explicó como motores de combustión interna a gasolina y diésel, plantas eléctricas a biogás, turbinas a gas y celdas de hidrogeno, pueden disponer del biogás para su funcionamiento y generar energía mecánica, que posteriormente por medio de un generador eléctrico es transformada en energía eléctrica.

Tras conocer los diferentes componentes de una planta para obtener biogás a partir de biomasa, se puede observar en la Figura 32 la disposición de esta, la cual será la de mayor uso en este trabajo.

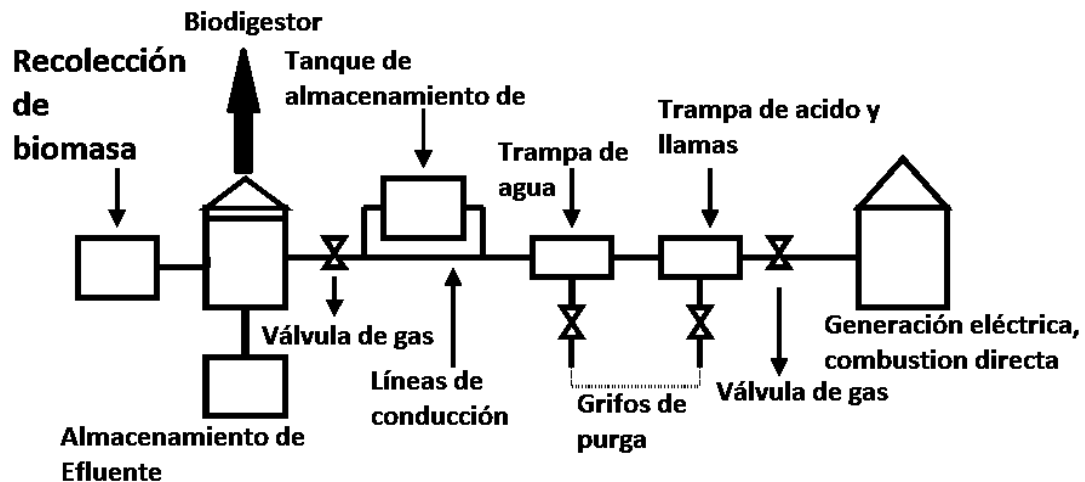


Figura 32. Planta para obtener biogás a partir de biomasa [6].

3.1.3. Dimensionamiento y diseño de una planta para obtener biogás a partir de biomasa.

Al diseñar una planta para obtener biogás a partir de biomasa en Colombia, la UPME determina que se deben tener en cuenta los siguientes factores [6].

1. Se debe realizar un diseño fácil de construir, de operar y de reparar.
2. Se deben usar materiales que se encuentren en el mercado local, y además que sean resistentes a la corrosión y buenos aislantes.
3. Una construcción que sea modular, es decir, que al final de la vida útil, o durante la vida útil sea una construcción fácil de modificar, y consiga ser económicamente viable.
4. “Se deben implementar dispositivos de seguridad” [6].
5. Se debe garantizar que se usen los equipos necesarios, y no existan equipos que sobredimensionen el sistema.
6. Realizar un buen uso de los efluentes generados.
7. Debe ser un sistema de bajo costo para la producción por unidad de volumen de biogás.

La planta para generar biogás a partir de biomasa que se emplea en este estudio usa como materia prima o biomasa la excreta de gallina, y para poder dimensionar la planta es necesario comenzar dimensionando la producción de estiércol y orina del animal, para así saber dimensionar el biodigestor y a partir de allí la producción de biogás.

3.1.3.1. Dimensionamiento del volumen del biodigestor [6].

Dimensionar la cantidad de materia prima que puede llegar a producir la gallina, o fuente animal de biomasa, es importante para poder dimensionar todos los equipos fundamentales del proceso como: Biodigestor, tanque de almacenamiento de biogás, equipos de generación eléctrica, etc. Por medio de la Ecuación 6 y Ecuación 7 se puede determinar la cantidad de estiércol y orina generado por el animal que se seleccione para la producción de estiércol, que en este trabajo es la gallina.

$$\text{Ecuación 6.} \quad E = NA * PVP * \frac{PE}{100}$$

Donde:

E: Cantidad de estiércol en kilogramos por día.

NA: Número de animales por una especie.

PVP: Peso vivo promedio del animal.

PE: Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.

$$\text{Ecuación 7.} \quad O = NA * PVP * \frac{PO}{100}$$

Donde:

O: Orín día en kilogramos (Se asume que 1 litro de orín pesa 1 kilogramo)

PO: Producción de orín por animal por día en porcentaje de peso vivo.

NA: Número de animales por una especie.

PVP: Peso vivo promedio del animal.

Tras dimensionar la producción de estiércol y orín de la fuente de materia prima o biomasa, se procede a determinar la materia prima para la carga (MPC) del biodigestor por medio de la Ecuación 8.

$$\text{Ecuación 8.} \quad MPC = E + O$$

Tras conocer la materia prima para la carga, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales y la cantidad de sólidos contenidos en la materia prima para la carga, dichas variables se calculan por medio de la Ecuación 9 y la Ecuación 10.

$$\text{Ecuación 9.} \quad \%ST = \frac{E * \%EST}{MPC}$$

Donde:

%ST: Porcentaje de sólidos totales contenidos en la materia prima para carga.

E: Estiércol en kilogramos por día.

%EST: Porcentaje de sólidos en el estiércol.

MPC: Estiércol en kilogramo por día.

$$\text{Ecuación 10.} \quad ST = \frac{\%ST * MPC}{100}$$

Donde:

ST: Cantidad de sólidos contenidos en la materia prima para carga, en kilogramos por día.

MPC: Estiércol en kilogramo por día.

En el capítulo 1 se explica que para generar biogás la biomasa debe mezclarse con agua por lo cual, es necesario determinar la masa de agua que se va a introducir al biodigestor. La masa del agua se determina por medio de la Ecuación 11.

Ecuación 11.
$$MH_2O = \frac{MPC * ST}{10} - MPC$$

Donde:

MH₂O: Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

Al tener la MH₂O, y la MPC, se determina la carga diaria para alimentar el digestor en kilogramos por día por medio de la Ecuación 12.

Ecuación 12.
$$C = MPC + MH_2O$$

Donde:

C: Carga diaria para alimentar el digestor en kilogramos por día o litros por día (Se asume que 1 litro pesa 1 kilogramo)

Por ultimo para determinar el volumen de un biodigestor, es necesario saber el tiempo de retención que se tardará la biomasa dentro del biodigestor. A continuación, por medio de la Ecuación 13 se explica cómo obtener el tiempo de retención.

Ecuación 13.
$$TR = (-51.227 * Ln(T^{\circ}C) + 206.72)$$

Donde

TR: Tiempo de retención en día.

Ln: Logaritmo natural.

T[°]C: Temperatura promedio en grados centígrados del sitio donde se instalará el biodigestor.

Por último, se determina el volumen del biodigestor, el cual se determina por medio de la Ecuación 14.

Ecuación 14.
$$Vd = C * TR * 1,2$$

Donde:

Vd: Volumen del biodigestor en litros.

1,2: Volumen adicional para el almacenamiento del biogás.

3.1.3.2. Dimensionamiento de la producción de biogás [6].

Para determinar la producción de una planta para obtener biogás a partir de biomasa, es necesario tener el dimensionamiento del biodigestor y de la posible biomasa con la que se va alimentar el sistema. Para saber la producción de biogás se usar la Ecuación 15.

Ecuación 15. $PG = MPC * SO * P$

Donde:

PG: Producción en litros por día de biogás.

MPC: Materia prima para la carga.

SO: Porcentaje de materia orgánica del estiércol según la especie.

P: Producción aproximada en metros cúbicos de gas por cada kilogramo de masa orgánica seca total.

3.1.3.3. Dimensionamiento de la producción de electricidad.



Figura 33. Primo motor generador [34].

Para generar electricidad usando biogás, es necesario conformar un conjunto entre un primo motor y un generador como se observa en la Figura 33, y en el capítulo dos se explicaron 5 tipos diferentes de primo motor funcionales con biogás.

Para realizar el dimensionamiento de la producción de electricidad es necesario determinar qué tipo de primo motor es el más indicado para usar este tipo de combustible, y así poder ver cuál de las máquinas es viable. Para ello, se realiza la Tabla 12 en la cual se observa un resumen del comportamiento que presentan diferentes máquinas cuando usan biogás como cuerpo de trabajo.

Tabla 12. Comportamiento de las máquinas usando biogás como combustible.

Máquina	Porcentaje que se puede usar de biogás	eficiencia	emisiones al ambiente de Kg/MWh				Tiempo de arranque	Comentario
			CO ₂	NO _x	SO ₂	CO		
Motor a gasolina	100%	30 - 45	590-800	4.5-18.6	0.18-1.36	0.18-4	0 - 20 s	100 % aplicable al Valle del Cauca
Motor a diésel	(55-74)%	31 - 45	590-801	4.5-18.7	0.18-1.37	0.18-5	0 - 20 s	100 % aplicable al Valle del Cauca
Turbina a gas	100%	25 - 40	545-700	1.8-7.5	0.14-0.18	0.5-4.5	10 min - 1h	50% aplicable al Valle del Cauca
Microturbina a gas	100%	20 - 30	590-800	0.09-0.64	despreciable	0.14-0.82	0 - 10 min	
planta a biogás	100%	30-47	580-800	4.5-18	0.18-1.33	0.18-3.9	0 - 20 s	100 % aplicable al Valle del Cauca
Celda de hidrogeno	100%	30 - 50	360-630	<0.023		0.005-0.0625	5 - 20 s	No es aplicable al Valle del Cauca por ahora

Los motores de combustión interna a gasolina y diésel al reemplazar su combustible por biogás poseen un consumo másico menor, reducen el impacto ambiental, pero poseen un consumo volumétrico mayor, necesitando mayor espacio para instalar el depósito de combustible.

Las turbinas a gas, resultan una alternativa atractiva para quien posea maquinaria de esta clase sin darle uso, pero si se trata de un proyecto nuevo, aunque este tipo de máquina posea una operación y mantenimiento fácil al usarse con combustibles convencionales como: gasolina, diésel y gas, no es igual cuando se usa biogás, pues ya que para obtener una eficiencia cercana a la de un motor de combustión interna de iguales características, requiere operaciones y mantenimiento que demandan mayor tiempo y mayor dinero.

Las plantas a biogás son una opción a considerar ya que posee un funcionamiento igual al de un motor a combustión interna, pero con una instalación más fácil de montar, ya que incluyen dentro de su construcción la tecnología necesaria para purificar el biogás y usarlo directamente, evitando realizar instalaciones adicionales como sucede en un motor a combustión interna. Así mismo esta es una tecnología nueva en el país que abriría un nuevo nicho de mercado y una nueva línea de investigación.

Por ultimo las celdas de hidrogeno son una tecnología muy prometedora para el futuro, sin embargo, se encuentra en un estado insipiente de desarrollo, por lo cual no es una alternativa viable para el valle del cauca.

Tras conocer las diferentes tecnologías que pueden usar biogás para generar una energía química o mecánica, se observa por medio de la Tabla 12 que los motores de combustión interna a gasolina y diésel al igual que las plantas que funcionan directamente con biogás son alternativas idóneas para ser usadas como primo motor para un generador eléctrico.

Para lograr dimensionar la generación de electricidad, se debe tener en cuenta cuanto es el consumo por hora de biogás de la máquina que se seleccione como primo motor y además se debe tener en cuenta la capacidad de generación del generador a utilizar el cual debe tener como velocidad nominal la velocidad del primo motor, y de no ser así, se debe usar un reductor o un multiplicador de velocidad para lograr que el generador sea impulsado a velocidad nominal y así realizar una generación plena.

Para realizar una estimación de la generación eléctrica, es necesario conocer las RPM del primo motor y de allí calcular la potencia eléctrica como se indica en la Ecuación 16 para encontrar los caballos de potencia (Hp) y por medio de la Ecuación 17 obtener la potencia eléctrica (P).

$$\text{Ecuación 16.} \quad P(Hp) = \frac{RPM \text{ mo motor} * Torque \text{ del primo motor}}{5252}$$

Tras obtener los caballos de potencia que posee el primo motor, se obtiene la potencia eléctrica (P(kW)).

$$\text{Ecuación 17.} \quad P(kW) = 0,746 * P(Hp)$$

Observando las anteriores ecuaciones, se logra obtener la potencia eléctrica que arrojará la futura planta de generación en construcción.

Para calcular el costo por KWh de la planta, es necesario realizar la suma del costo para cada uno de los implementos que conformen esta, y además se le debe sumar el costo unitario de la materia prima o biomasa, que en este caso es la excreta de gallina.

3.1.4. Operación de una planta para obtener biogás a partir de biomasa.

En una planta para obtener biogás a partir de biomasa, es importante conocer las diferentes etapas de la operación o proceso de producción, con el fin de que sea: rentable, posea un funcionamiento mayormente continuo y sea amigable con el medio

ambiente. En la Figura 34 se explica las diferentes etapas de la operación de una planta a biogás, las cuales se explican a continuación.

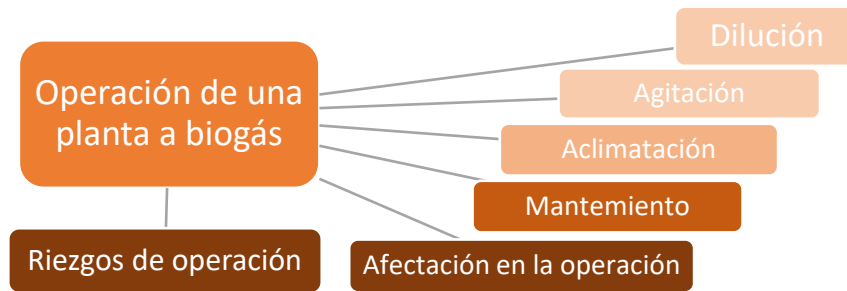


Figura 34. Etapas de la operación de un biodigestor [Propia].

3.1.4.1. Dilución.

En esta etapa de la operación de la planta para obtener biogás a partir de biomasa se debe agregar al interior del biodigestor: la biomasa, residuos agrícolas (Opcional) y agua, para formar la mezcla que tras el proceso anaeróbico se convertirá en biogás y biofertilizante. Cuando la biomasa es excreta de gallina, por cada kilogramo de esta, se debe agregar de 2 a 2,5 litros de agua [4].

3.1.4.2. Agitación.

Es importante que al cargar el biodigestor se realicen varias agitaciones periódicamente durante el tratamiento de la carga, e inclusive, es recomendable que tras cargar este, automáticamente se realice una agitación, ya que de esta forma, el proceso de acidogenesis comienza más rápidamente [4].

Las agitaciones que se realicen al proceso, deben ser a baja velocidad y siempre se debe manejar la misma velocidad.

3.1.4.3. Aclimatación.

Cuando se va a iniciar la operación de la planta para obtener biogás a partir de biomasa por primera vez, primero es necesario aclimatar las bacterias iniciales del biodigestor, las que provienen de una pequeña cantidad de lodos residuales, que son cargados de forma progresiva hasta llegar a la cantidad de carga calculada de inóculo del sistema y hasta que se tenga una producción de biogás estable [4].

La carga inicial no se realiza con la biomasa para la que se proyectó el sistema, se debe realizar con harina de sorgo [4], comenzando con 200 gr hasta llegar a una carga de 500 gr, o menos, pero la alimentación con esta carga se debe hacer hasta que el sistema produzca biogás de forma estable, logrado esto, se comienza a cargar el sistema con la biomasa para la que se proyectó el sistema, haciendo cargas menores y de forma progresiva ir aumentando hasta llegar a la carga máxima.

Se recomienda cuidar detalladamente la etapa de aclimatación puesto que de esto depende la producción de biogás, pues de no aclimatarse de forma óptima las bacterias que ayudan a la producción de biogás, esta puede ser menor a la esperada o nula.

Así mismo esta etapa se puede ver afectada incluso después de varios meses de operación si de forma brusca y repentina se decide cambiar la biomasa, lo que causa la muerte de las bacterias e impide la producción de biogás.

3.1.4.4. Mantenimiento.

Para el buen funcionamiento de la planta, se debe tener un buen mantenimiento, por lo cual se deben seguir las siguientes recomendaciones.

- Se debe procurar alimentar el biodigestor de forma continua, de no ser así el volumen de producción de biogás se puede afectar.
- Según el tipo de biodigestor, se debe controlar la posición de las válvulas que permiten la circulación del biogás desde el biodigestor hasta el tanque de almacenamiento.
- Controlar el nivel de agua en la trampa de agua del sistema.
- Controlar el aceite del primo motor.
- Periódicamente realizar pruebas para encontrar fugas en el sistema.
- Se debe controlar la carga y descarga del sistema, es decir, si yo cargo cierta cantidad, esa misma cantidad es la que debo descargar.
- Cuidar y revisar periódicamente que los ductos de entrada y salida no estén obstruidos.
- Controlar periódicamente el filtro de ácido sulfhídrico.
- Cuidar los rodamientos del primo motor y del generador.
- Periódicamente revisar el nivel de aislamiento de los devanados del generador.
- Se deben realizar unas inspecciones periódicas a las líneas de conducción, especialmente en las uniones, acoples, válvulas y demás accesorios que sean propensos a fuga.

3.1.4.5. Factores que afectan la operación.

La operación se puede afectar por los siguientes factores [4].

- **Cambios en la alimentación del biodigestor:** La alimentación puede cambiar en la cantidad, siendo esta mucha o poca de forma repentina, o la biomasa usada es cambiada bruscamente.
- **Nivel de pH:** Es importante para la producción, y se debe medir durante toda la operación y mantenerse entre 6,5 hasta 8.
- **Sobrealimentación:** Si se alimenta el biodigestor con una carga muy elevada comparada con la carga nominal, o con la carga que normalmente se alimenta, se corre el riesgo de no producir menos biogás o no producir, y además de

obtener un biofertilizante inmaduro, el cual será perjudicial para la tierra en donde se use.

- **Bajas Temperaturas:** Si la temperatura dentro del biodigestor no es controlada y esta baja hasta los 10 °C o incluso baja más, la producción de biogás puede ser escasa.
- **Otros factores:** Si la biomasa con la que se alimenta la planta contiene metales pesados, antibióticos y detergentes, puede afectar todo el proceso e incluso desaclimatar las bacterias y llevarlas a muerte.

3.1.4.6. Riesgos de la operación.

Dentro de la operación de la planta, se pueden presentar diferentes sucesos que pongan en riesgo a los operarios, a la planta, a los alrededores y al medio ambiente, por lo cual es importante conocerlos y evitar caer en ellos. Algunos de los riesgos de la operación son:

- Tras comenzar la operación de la planta, no pueden ser usadas las tres primeras producciones de biogás, deben botarse a la atmosfera sin siquiera se combustionada, pues de no ser así, se corre el riesgo de explotar todo el sistema debido que estas producciones contienen un alto porcentaje de O₂.
- Emisiones de biogás al aire, lo cual perjudica ya que en la composición de este se encuentran muchos gases que contribuyen al efecto invernadero [6].
- Realizar emisiones al suelo o al curso de agua por mal almacenaje de la materia prima, que en este caso es la excreta de gallina, la cual aumenta el crecimiento de algas en el agua disminuyendo el nivel de oxígeno y afectando a todos los seres vivos [6].
- Los operarios pueden verse expuestos al biogás u otros gases por malos diseños de la planta.

3.2. Producción de biogás y electricidad provenientes de excreta de gallina en el Valle de la cuaca.

En la actualidad la industria avícola se encuentra en todos los continentes, y en América es dónde se realiza la mayor producción de esta. Dentro de la geográfica de este Colombia radica como el sexto país con mayor producción, situándose detrás de países como Estados Unidos, Brasil, Argentina, México y Perú [35].

Al ser Colombia un país con una producción considerable en la industria avícola, este estudio se centrará en el departamento del Valle del Cauca, una región colombiana reconocida a nivel nacional gracias a la alta producción de la industria azucarera, siendo una de las principales actividades para la generación de empleos, recursos y dinero. A parte de esta industria en el Valle del Cauca también se practica la industria avícola, la cual en este departamento ocupa el tercer puesto en la producción de las gallinas de engorde, situándose detrás de los departamentos de Santander y Cundinamarca, también ocupa el sexto puesto en la cría de la especie y es el tercer

más grande en la producción de huevos, caracterizándolo como un departamento que aporta a la producción avícola nacional y además uno que genera grandes volúmenes de excreta que se deben manejar de forma acertada.

Una forma de manejar las excretas generadas en el Valle del Cauca, es tratar un alto porcentaje de esta por medio de procesos anaeróbicos para obtener biogás y biofertilizantes, lo que conlleva la realización de este trabajo.

Para poder estimar la producción de biogás en el Valle del Cauca y la futura generación eléctrica que se puede obtener, se deben especificar los valores descritos en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores específicos para estimar la producción de biogás en el Valle del cauca.

Variable	Siglas	Valor	Unidad
Porcentaje de materia orgánica del estiércol según la especie	SO	17	%
Producción aproximada en metros cúbicos de gas por cada kilogramo de masa orgánica seca total	P	0,4	%
Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo	PE	4,5	%
Producción de orín por animal por día en porcentaje de peso vivo	PO	4,5	%
Peso vivo promedio	PVP	1,4	(m^3 de gas / kg de SO)

Nota: Los valores de SO, P, PE y PO, se obtienen de [6], mientras que el valor de PVP se obtiene de [36].

Cabe recordar también, que, por cada m^3 de biogás, se obtienen aproximadamente 1,25 kWh de electricidad. A continuación, por medio de la Tabla 1 se observará la producción de biogás y electricidad que se está desaprovechando en los municipios del Valle del Cauca.

Tabla 14. Estimación de la producción de biogás y electricidad a partir de excreta de gallina en los municipios del Valle del cauca.

MUNICIPIOS DEL VALLE DEL CAUCA	ENGORDE			LEVANTE			POSTURA			TOTAL		
	Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh	Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh	Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh	Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh
ALCALA	149000	532	665	0	0	0	0	0	0	149000	532	665
ANDALUCIA	461328	1647	2059	0	0	0	0	0	0	461328	1647	2059
ANSERMANUEVO	190600	680	851	0	0	0	330000	1178	1473	520600	1859	2323
ARGELIA-V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOLIVAR-V	60000	214	268	0	0	0	0	0	0	60000	214	268
BUENAVENTURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BUGALAGRANDE	49176	176	219	0	0	0	0	0	0	49176	176	219
CAICEDONIA	330000	1178	1473	0	0	0	0	0	0	330000	1178	1473
CALI	160801	574	718	0	0	0	278394	994	1242	439195	1568	1960
CALIMA	0	0	0	19000	68	85	0	0	0	19000	68	85
CANDELARIA-V	1313289	4688	5861	0	0	0	995078	3552	4441	2308367	8241	10301
CARTAGO	393853	1406	1758	0	0	0	98030	350	437	491883	1756	2195
DAGUA	35500	127	158	91500	327	408	112775	403	503	239775	856	1070
EL-AGUILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-CAIRO	0	0	0	0	0	0	3620	13	16	3620	13	16
EL-CERRITO	251606	898	1123	0	0	0	36492	130	163	288098	1029	1286
EL-DOVIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLORIDA	92423	330	412	0	0	0	0	0	0	92423	330	412
GINEBRA	562510	2008	2510	0	0	0	109000	389	486	671510	2397	2997

GUACARI	916336	3271	4089	28700	102	128	272272	972	1215	1217308	4346	5432
GUADALAJARA DE BUGA	742480	2651	3313	0	0	0	1054827	3766	4707	1797307	6416	8020
JAMUNDI	627670	2241	2801	24000	86	107	246339	879	1099	898009	3206	4007
LA-CUMBRE	330	1	1	16500	59	74	29371	105	131	46201	165	206
LA-UNION-V	674643	2408	3011	0	0	0	45460	162	203	720103	2571	3213
LA-VICTORIA-V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OBANDO	265900	949	1187	0	0	0	0	0	0	265900	949	1187
PALMIRA	940551	3358	4197	0	0	0	818074	2921	3651	1758625	6278	7848
PRADERA	0	0	0	0	0	0	672000	2399	2999	672000	2399	2999
RESTREPO-V	103800	371	463	25000	89	112	0	0	0	128800	460	575
RIOFRIO	208166	743	929	0	0	0	0	0	0	208166	743	929
ROLDANILLO	245567	877	1096	0	0	0	0	0	0	245567	877	1096
SAN-PEDRO-V	702082	2506	3133	60000	214	268	1684116	6012	7515	2446198	8733	10916
SEVILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TORO	33000	118	147	0	0	0	0	0	0	33000	118	147
TRUJILLO	0	0	0	0	0	0	10000	36	45	10000	36	45
TULUA	471002	1681	2102	0	0	0	487192	1739	2174	958194	3421	4276
ULLOA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VERSALLES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VIJES	0	0	0	30000	107	134	70000	250	312	100000	357	446
YOTOCO	278260	993	1242	0	0	0	22812	81	102	301072	1075	1344
YUMBO	29988	107	134	0	0	0	340	1	2	30328	108	135
ZARZAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	10289861	36735	45919	294700	1052	1315	7376192	26333	32916	17960753	64120	80150

Para obtener los datos de la Tabla 14 se usaron la Ecuación 7, Ecuación 8, Ecuación 9, y Ecuación 15, de esta forma se pudo obtener la producción estimada de biogás y electricidad para el Valle del Cauca.

Cabe aclarar que no se usaron los resultados obtenidos en los estudios consultados acerca del tema que se explican en el capítulo 1, ya que no se conoce las características y el tipo de la excreta existente en cada municipio, por lo cual se realiza una estimación con valores fijos proporcionados por la unidad de planeación minero energética (UPME). De no realizarse así el análisis se puede incurrir en realizar una sobre estimación de la producción, ya que al utilizar el estudio de biometanización para gallinaza o pollinaza, se tendría que en el Valle del Cauca se estarán desaprovechando 589,337 MW/h de electricidad, siendo un valor que sobre estima la producción ya que se toman características biológicas de la excreta como únicas en todo el departamento, siendo este panorama mucho más alejado al propuesto por la UPME o el utilizado en este documento.

En la zona de anexos, se encuentran las tablas que muestran la cantidad de estiércol y orina por kilogramos días producidos en el departamento de Valle del Cauca.

De la Tabla 14 se extrae que por hora en el Valle del Cauca se está desaprovechando 64120 m³ de biogás que representa 80,149 MWh de electricidad los cuales se pueden comenzar a aprovechar sin realizar mucha inversión. Además, por medio de esta tabla se puede conocer la población de aves, la cantidad de m³ de biogás que se pueden generar a partir de la población de aves en existencia y la cantidad de energía eléctrica generada según el tipo de actividad desempeñada (Engorde, levante o postura) para cada uno de los municipios del departamento, y también se muestra en una última columna la cantidad total de animales, de biogás generado y de electricidad generada por municipio.

Al analizar los resultados que se obtienen en la Tabla 14, se aprecia que de los 42 municipios que conforman el departamento de Valle del cauca, en 24 no se puede aplicar esta tecnología a gran escala, mientras que en 18 municipios este proceso se puede llevar a cabo y obtener una generación de electricidad mayor a 1 MWh de electricidad. A continuación, en la Figura 35 se observan los cinco municipios en donde se desaprovecha más de 5 MWh de electricidad y los 13 municipios donde se desaprovecha más de un mega en generación de electricidad.

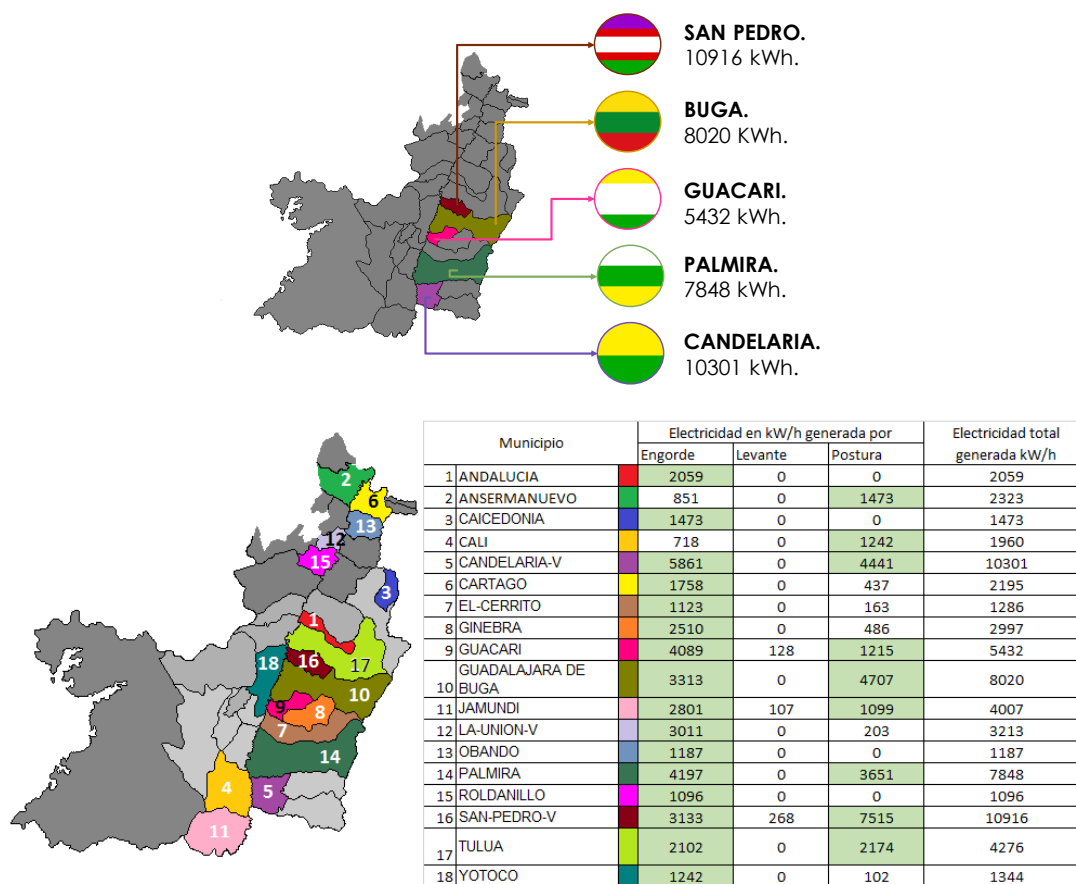


Figura 35. Municipios del Valle del Cauca con más de un mega de generación de electricidad proveniente de excreta de gallina [Propia].

3.3. Elección de tecnología para la producción de electricidad en una avícola.

Tras estudiar el tema y analizar la población de aves que puede llegar a ver en una avícola, se recomienda que en estos sitios se instalen biodigestores de geomenbrana, de tipo campana o de desplazamiento horizontal, ya que son más robustos y debido al alto porcentaje de amoniaco de la excreta de gallina, pueden llegar a ser una tecnología que perdure más en el tiempo.

Como ya se mencionó en este capítulo se recomienda usar motores de combustión interna a gasolina o diésel como también plantas que funcionan directamente a biogás, sabiendo que esta última es una tecnología que se encuentra en estado insipiente de desarrollo y comercialización en el país, por lo cual necesitará una mayor inversión, la que se compensa por el ahorro generado por la inexistencia de modificaciones externas las que si sufren motores de combustión interna.

3.4. Generación de biogás y electricidad a partir de excreta de gallina en los departamentos de Colombia.

Tras estudiar la producción de electricidad a partir del biogás generado con excreta de gallina en los municipios del Valle del Cauca, se estudian los mismos datos, pero con la información perteneciente a cada uno de los otros departamentos del país, es decir, la información que detalla la población de gallinas en existencia por cada uno de los municipios que conforman cada uno de estos departamentos. Por tanto y siguiendo los mismos pasos que se usaron para realizar la estimación en el departamento de Valle del Cauca también se realizaron para realizar la estimación a los departamentos y a los municipios de Colombia. A continuación, en la Tabla 15 se observa la estimación de la producción de biogás y electricidad en los departamentos de Colombia, información que se muestra por municipio en la zona de anexos.

Tabla 15. Estimación de la producción de biogás y electricidad a partir de excreta de gallina en los departamentos de Colombia.

DEPARTAMENTOS DE COLOMBIA	ENGORDE			LEVANTE			POSTURA			ELECTRICIDAD TOTAL	
	Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh	Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh	Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh	Electricidad total generada MWh	(%) de electricidad aportada a Colombia
SANTANDER	22.970.004	82002,9	102503,6	522.496	1865,3	2331,6	10.708.161	38228,1	47785,2	152,6	24%
CUNDINAMARCA	19.554.258	69808,7	87260,9	300.714	1073,5	1341,9	11.369.034	40587,5	50734,3	139,3	22%
VALLE	10.289.861	36734,8	45918,5	294.700	1052,1	1315,1	7.376.192	26333,0	32916,3	80,1	13%
ANTIOQUIA	6.750.689	24100,0	30124,9	599.790	2141,3	2676,6	4.157.249	14841,4	18551,7	51,4	8%
QUINDIO	7.534.095	26896,7	33620,9	127.000	453,4	566,7	687.118	2453,0	3066,3	37,3	6%
TOLIMA	1.355.900	4840,6	6050,7	500.000	1785,0	2231,3	4.078.800	14561,3	18201,6	26,5	4%
ATLANTICO	4.759.000	16989,6	21237,0	54.000	192,8	241,0	913.650	3261,7	4077,2	25,6	4%
CAUCA	3.561.788	12715,6	15894,5	280.000	999,6	1249,5	1.102.440	3935,7	4919,6	22,1	3%
RISARALDA	2.948.000	10524,4	13155,5	59.000	210,6	263,3	706.184	2521,1	3151,3	16,6	3%
BOLIVAR	2.734.877	9763,5	12204,4	35.190	125,6	157,0	260.409	929,7	1162,1	13,5	2%
META	2.117.200	7558,4	9448,0	0	0,0	0,0	193.300	690,1	862,6	10,3	2%
CALDAS	434.500	1551,2	1939,0	452.000	1613,6	2017,1	1.419.100	5066,2	6332,7	10,3	2%
BOYACA	1.480.036	5283,7	6604,7	40.000	142,8	178,5	509.462	1818,8	2273,5	9,1	1%
CORDOBA	1.646.100	5876,6	7345,7	0	0,0	0,0	243.680	869,9	1087,4	8,4	1%
HUILA	727.500	2597,2	3246,5	84.500	301,7	377,1	792.050	2827,6	3534,5	7,2	1%
NARINO	1.393.500	4974,8	6218,5	0	0,0	0,0	76.314	272,4	340,6	6,6	1%
NORTE SANTANDER	266.065	949,9	1187,3	0	0,0	0,0	796.188	2842,4	3553,0	4,7	1%
SUCRE	579.750	2069,7	2587,1	0	0,0	0,0	74.050	264,4	330,4	2,9	0%
CESAR	417.700	1491,2	1864,0	0	0,0	0,0	26.500	94,6	118,3	2,0	0%
MAGDALENA	337.000	1203,1	1503,9	23.520	84,0	105,0	77.884	278,0	347,6	2,0	0%
DISTRITO CAPITAL	391.000	1395,9	1744,8	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	1,7	0%
PUTUMAYO	141.736	506,0	632,5	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,6	0%
CAQUETA	69.350	247,6	309,5	800	2,9	3,6	57.000	203,5	254,4	0,6	0%
ARAUCA	66.500	237,4	296,8	0	0,0	0,0	44.000	157,1	196,4	0,5	0%

CHOCO	54.696	195,3	244,1	31.755	113,4	141,7	19.734	70,5	88,1	0,5	0%
CASANARE	3.280	11,7	14,6	0	0,0	0,0	72.535	258,9	323,7	0,3	0%
LA-GUAJIRA	22.400	80,0	100,0	0	0,0	0,0	19.900	71,0	88,8	0,2	0%
GUAINIA	8.760	31,3	39,1	2.910	10,4	13,0	19.101	68,2	85,2	0,1	0%
S.ANDRES/PROVID	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	16.250	58,0	72,5	0,1	0%
VAUPES	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	8.000	28,6	35,7	0,0	0%
AMAZONAS	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0%
GUAVIARE	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0%
VICHADA	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0%
Total de aves en Colombia				141.848.205							
Total de biogás que se puede generar en Colombia				506398,09185 m3							
Electricidad desaprovechada en Colombia en 2016				632997,6148125 kWh							

De la Tabla 15 se extrae que por hora en Colombia se está desaprovechando 506398,1 m³ de biogás que representa 633 MWh de electricidad los cuales se pueden comenzar a aprovechar sin realizar mucha inversión. Además, por medio de esta tabla se puede conocer la población de aves, la cantidad de m³ de biogás que se pueden generar a partir de la población de aves en existencia y la cantidad de energía eléctrica generada según el tipo de actividad desempeñada (Engorde, levante o postura) para cada uno de los departamentos del país.

En la Tabla 15 también se observa que departamentos como Vichada, Vaupés, San Andrés y Providencia, Putumayo, Guaviare, el distrito capital, y Amazonas, son los departamentos donde esta clase de proyectos serán a menor escala y por ende tendrán menor producción de biogás y electricidad provenientes de la excreta de gallina, mientras que departamento como Santander, Cundinamarca, Valle del Cauca, Antioquia y Quindío son los departamentos donde esta tecnología puede ser implementada para generar cantidades elevadas de electricidad, ya que estos cinco departamentos representan el 72% de la producción total de electricidad en Colombia usando esta tecnología.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Recomendaciones.

1. Si se dispone de una turbina a gas se recomienda usar esta para conformar la planta de generación de electricidad a partir de energía proveniente de la excreta de gallina, la cual no tendrá la mejor eficiencia o rendimiento, sin embargo, permitirá al usuario acercarse a este sistema de generación de electricidad y motivarlo a realizar una inversión en tecnologías de mayor eficiencia o rendimiento.

Esta recomendación nace ya que, si no se dispone de esta máquina es recomendable para mayor beneficio del usuario hacerse con motores de combustión interna a gasolina o diésel o plantas eléctricas que funcionan directamente con biogás.

2. Para que la generación de electricidad con biogás proveniente de excreta de gallina sea aún más amigable con el medio ambiente, se recomienda disponer de los filtros necesarios para retirar todas las impurezas que contiene este combustible, y además se recomienda estudiar diferentes medidas que vayan en pro del aumento de metano en la composición del biogás.

4.2. Conclusiones.

1. La alimentación del sistema debe ser uniforme, balanceada y constante, ya que las bacterias que originan biogás son sensibles al método de carga, al tipo de biomasa, el nivel de ph y a la relación carbono nitrógeno de la biomasa, y al no cuidar la alimentación del sistema estas variables pueden disminuir o parar la producción de biogás.
2. El biogás posee un bajo poder calorífico comparado al de la gasolina, el diésel y el gas natural, pero cuando se mezcla con aire para conformar el cuerpo de trabajo de un proceso de combustión, el poder calorífico de este se convierte en una alternativa para accionar motores de combustión interna, turbinas a gas o plantas a biogás, que gracias al alto número de octano del biogás pasan a tener un funcionamiento más seguro y en algunos casos más eficiente.
3. La combustión de biogás al compararse con otras de combustibles como la gasolina y el diésel presenta un beneficio para el medio ambiente, ya que, por cada tonelada de biogás combustionado, se reducen en 20 toneladas las emisiones de CO₂, y los niveles de gases de efecto invernadero generados son parecidos, o según el nivel de metano en el biogás pueden ser menores.
4. En el Vale del Cauca se pueden utilizar motores de combustión interna y/o plantas a biogás para construir centrales de generación eléctrica a partir de excreta de gallina, ya que estas tecnologías son las más eficientes funcionando con biogás y son de fácil adquisición en el departamento.

5. En las avícolas de Colombia y las del Valle del Cauca, se deben implementar biodigestores de geomembrana, de tipo campana, o de desplazamiento horizontal, ya que por su forma constructiva permiten automatizar el proceso y además aumentar la vida útil de la planta para la generación de electricidad a partir de excreta de gallina, ya que el amoníaco presente en esta clase de biomasa deteriora más rápidamente a biodigestores de bajo costo o con materiales económicos.
6. Actualmente en Colombia al desaprovechar el poder energético de la excreta de gallina se está dejando de generar 633 MW/h de electricidad, y de estos en el Valle del Cauca se están dejando de generar alrededor de 80,149 MW/h, es decir, en el departamento se desaprovecha el 12% de la generación total de electricidad proveniente de esta clase de biomasa.

4.3. Trabajos futuros.

1. Caracterizar el tipo y la composición de excreta que se originan en una avícola.
2. Evaluar sistemas impulsados con energía renovables para realizar el calentamiento del biodigestor que funciona en temperatura de rangos Termofílico, cuando se trabaja con un proceso para generar biogás a diferentes velocidades de carga y con dos rangos de temperatura.
3. Evaluar el comportamiento de los motores de combustión interna y de las plantas eléctricas que funcionan a biogás cuando son conectados al sistema nacional de electricidad.
4. Hacer un estudio para comparar las eficiencias de los diferentes procesos para la generación de biogás usando excreta de gallina.
5. Hacer la evaluación técnico económica del diseño, de la construcción y la implementación de una planta para la generación de electricidad impulsada por biogás.
6. Determinar cómo afecta la alimentación y dieta de una gallina en la producción de biogás.
7. Cuantificar la reducción del impacto ambiental cuando la excreta de gallina es tratada de forma anaeróbica para la producción de biogás.
8. Diseñar una planta eléctrica que funciona a biogás.
9. Comparar el funcionamiento, el costo, la eficiencia y el impacto ambiental generado por una planta eléctrica a biogás con plantas eléctricas impulsadas a gasolina, diésel y gas natural.
10. Comparar el rendimiento de la producción de biogás con diferentes tipos de excreta animal usando biodigestores económicos para generar electricidad en redes aisladas.
11. Estudiar las variaciones del ciclo otto y diésel en motores de combustión interna cuando estos funcionan con biogás y son usados en plantas para la generación de electricidad en sistemas conectados a la red y aislados.
12. Estudiar el comportamiento de generar electricidad con generadores asíncronos impulsados por un primo motor que funcione a biogás.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Universidad nacional autónoma de México, "Biogás," 2010.
- [2] F. Abouelenien, W. Fujiwara, Y. Namba, M. Kosseva, N. Nishio, and Y. Nakashimada, "Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle.," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 16, pp. 6368–73, Aug. 2010.
- [3] Juan Pablo Silva Vinazco, "TECNOLOGÍA DEL BIOGAS."
- [4] Elisa Indiveri; Matías Masiokas, "Biodigestor, manual de uso," p. 20.
- [5] Raúl Botero; Thomas R. Preston, "BIODIGESTOR DE BAJO COSTO PARA LA PRODUCCION DE COMBUSTIBLE Y FERTILIZANTE A PARTIR DE EXCRETAS," 1987. [Online]. Available: <http://www.utaoundation.org/publications/botero&preston.pdf>. [Accessed: 19-Apr-2015].
- [6] UPME(Unidad de planeación minero energetica), "GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS," 2003. [Online]. Available: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf. [Accessed: 01-May-2015].
- [7] UNALM, "TIPOS DE BIODIGESTORES | BIODIGESTORES," Lima- Peru, 2012.
- [8] "CONSTRUCCION DE BIODIGESTORES'- Producción de Biogas y Bioabonos." [Online]. Available: <http://www.rmr-peru.com/biodigestores-biogas.htm>. [Accessed: 30-May-2016].
- [9] E. Eduardo Groppelli, "Biodigestor con Geomembranas," Santa fe - Argentina, 2010.
- [10] Eg-ingenieria, "Biodigestor con Desplazamiento Horizontal," Santa fe - Argentina, 2010.
- [11] Amado Gonzáles;Eliseo;Prada Luna;Sonia, "EVALUACION DE LA PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE POLLINAZA," Pamplona.
- [12] Mónica María Estrada Pareja, "Manejo y procesamiento de la gallinaza," vol. 1, p. 6, 2005.
- [13] F. Abouelenien, Y. Namba, M. R. Kosseva, N. Nishio, and Y. Nakashimada, "Enhancement of methane production from co-digestion of chicken manure with agricultural wastes.," *Bioresour. Technol.*, vol. 159, pp. 80–7, May 2014.
- [14] Y. Li, R. Zhang, C. Chen, G. Liu, Y. He, and X. Liu, "Biogas production from co-digestion of corn stover and chicken manure under anaerobic wet, hemi-solid, and solid state conditions.," *Bioresour. Technol.*, vol. 149, pp. 406–12, Dec. 2013.
- [15] K. Dalkılıç and A. Ugurlu, "Biogas production from chicken manure at different organic loading rates in a mesophilic-thermophilic two stage anaerobic system.," *J. Biosci. Bioeng.*, vol. 120, no. 3, pp. 315–322, Jun. 2015.
- [16] A. Abaigar; L.Cordovín y M. Aguilar (ITGG), "GESTION DE ESTIERCOL DE GALLINAS PONEDORAS," vol. 1, p. 28, 2010.
- [17] ERICK MARTÍNEZ ORTEGA, "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA MATERIA PRIMA NO TRADICIONAL DEL SECTOR AVÍCOLA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA," 2009.
- [18] FAO, "El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de américa latina," *Boletín de suelos de la FAO* 51, 1980. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/a-ar127s.pdf>. [Accessed: 08-Feb-2016].
- [19] F. Martín Martín and V. Sala Gómez, "Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte." Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.
- [20] Harold Jose Diaz Martinez, "Notas de Clase máquinas eléctricas y rotativas II," 2013.

- [21] Edgardo Yekas Mendoza, "Control de una planta generadora de energía eléctrica," 2003. [Online]. Available: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/8721.pdf. [Accessed: 10-Mar-2016].
- [22] Favio Antonio Carmona Blanco; Julio Enrique Orozco Ruiz, "UTILIZACIÓN DE BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE PARA EL FUNCIONAMIENTO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA," Universidad EARTH, 2003.
- [23] Ramiro Ortiz Flórez, *Capítulo 9. Ciclos termodinámicos de motores de combustión interna.*, Notas de C. Santiago de Cali, 2010.
- [24] FAO, "Manual de biogás," 2011. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>. [Accessed: 21-Oct-2015].
- [25] V. Makareviciene, E. Sendzikiene, S. Pukalskas, A. Rimkus, and R. Vegneris, "Performance and emission characteristics of biogas used in diesel engine operation," *Energy Convers. Manag.*, vol. 75, pp. 224–233, Nov. 2013.
- [26] M. G. Rasul, C. Ault, and M. Sajjad, "Bio-gas Mixed Fuel Micro Gas Turbine Co-Generation for Meeting Power Demand in Australian Remote Areas," *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 1065–1071, Aug. 2015.
- [27] "Motores aeronáuticos (parte 9)- Turboeje - Taringa!" [Online]. Available: <http://www.taringa.net/comunidades/aeroespacio/7345517/Motores-aeronauticos-parte-9---Turboeje.html>. [Accessed: 21-Mar-2016].
- [28] M. J. C. S. Marta Pérez Martínez, Sylvia Nuñez, Juan Antonio Cabrera, "BIOGÁS EN CELDAS DE COMBUSTIBLE," pp. 1–68, 2008.
- [29] Ana Serrano Lotina, "Obtención de hidrógeno a partir de biogás mediante catalizadores derivados de hidrotalcita," p. 270, 2012.
- [30] S. Trogisch, "Utilización de biogás en pilas de combustible," 2009.
- [31] Steffen Gruber; Jorge Hilbert; Sebastian Sheimberg, "Una planta de biogas en base de estiércol animal en mezcla de silaje forrajeras de maíz en el marco agropecuario argentino.," 2010.
- [32] "Centrales de biomasa | ENDESA EDUCA." [Online]. Available: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa. [Accessed: 20-Mar-2016].
- [33] "FRANKO: Trampas de Flama, Apagallamas, Control de flama, Arrestallamas." [Online]. Available: <http://www.franko1.com/Products.aspx?serie=2040>. [Accessed: 21-Mar-2016].
- [34] "planta electrica - Buscar con Google." [Online]. Available: https://www.google.com.co/search?q=conjunto+motor+generador&biw=1518&bih=682&source=lnms&tbn=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiuidnS0trLAhULpB4KHfm7DXgQ_AUIBigB&dpr=0.9#tbn=isch&q=planta+electric&imgsrc=I0iAd3OgPApZIM%3A. [Accessed: 25-Mar-2016].
- [35] "Tendencias Avícolas Mundiales 2013: América producirá 42 millones de toneladas de pollo en 2014 - El Sitio Avícola." [Online]. Available: <http://www.elsitioavicola.com/articles/2516/tendencias-avacolas-mundiales-2013-amarica-producira-42-millones-de-toneladas-de-pollo-en-2014/>. [Accessed: 11-May-2016].
- [36] M. J. S. *M R. S. J. C. R. Y. V. Aparicio and Correa **J. Segura, "INDICADORES PRODUCTIVOS DE GALLINAS CRIOLLAS EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN AVICOLA ALTERNATIVO EN OAXACA, MEXICO." [Online]. Available: [http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae_bullas/verd/sesiones/17_S3D.GANADERIA\(II\)/S3D7.pdf](http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae_bullas/verd/sesiones/17_S3D.GANADERIA(II)/S3D7.pdf). [Accessed: 13-May-2016].

6. ANEXOS

6.1. Estiércol, orina y materia prima para carga generados en el Valle del Cauca.

Tabla para obtener los datos de la tabla 14.

MUNICIPIOS DEL VALLE DEL CAUCA	Engorde			Levante			Postura		
	Cantidad de estiércol kgr/día	Cantidad de orina kgr/día	Materia prima para carga	Cantidad de estiércol kgr/día	Cantidad de orina kgr/día	Materia prima para carga	Cantidad de estiércol kgr/día	Cantidad de orina kgr/día	Materia prima para carga
ALCALA	9387,0	9387,0	18774,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ANDALUCIA	29063,7	29063,7	58127,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ANSERMANUEVO	12007,8	12007,8	24015,6	0,0	0,0	0,0	20790,0	20790,0	41580,0
ARGELIA-V	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BOLIVAR-V	3780,0	3780,0	7560,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BUENAVENTURA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BUGALAGRANDE	3098,1	3098,1	6196,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CAICEDONIA	20790,0	20790,0	41580,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CALI	10130,5	10130,5	20260,9	0,0	0,0	0,0	17538,8	17538,8	35077,6
CALIMA	0,0	0,0	0,0	1197,0	1197,0	2394,0	0,0	0,0	0,0
CANDELARIA-V	82737,2	82737,2	165474,4	0,0	0,0	0,0	62689,9	62689,9	125379,8
CARTAGO	24812,7	24812,7	49625,5	0,0	0,0	0,0	6175,9	6175,9	12351,8
DAGUA	2236,5	2236,5	4473,0	5764,5	5764,5	11529,0	7104,8	7104,8	14209,7
EL-AGUILA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EL-CAIRO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	228,1	228,1	456,1
EL-CERRITO	15851,2	15851,2	31702,4	0,0	0,0	0,0	2299,0	2299,0	4598,0
EL-DOVIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FLORIDA	5822,6	5822,6	11645,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GINEBRA	35438,1	35438,1	70876,3	0,0	0,0	0,0	6867,0	6867,0	13734,0
GUACARI	57729,2	57729,2	115458,3	1808,1	1808,1	3616,2	17153,1	17153,1	34306,3
GUADALAJARA DE BUGA	46776,2	46776,2	93552,5	0,0	0,0	0,0	66454,1	66454,1	132908,2
JAMUNDI	39543,2	39543,2	79086,4	1512,0	1512,0	3024,0	15519,4	15519,4	31038,7
LA-CUMBRE	20,8	20,8	41,6	1039,5	1039,5	2079,0	1850,4	1850,4	3700,7
LA-UNION-V	42502,5	42502,5	85005,0	0,0	0,0	0,0	2864,0	2864,0	5728,0
LA-VICTORIA-V	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OBANDO	16751,7	16751,7	33503,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PALMIRA	59254,7	59254,7	118509,4	0,0	0,0	0,0	51538,7	51538,7	103077,3

PRADERA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42336,0	42336,0	84672,0
RESTREPO-V	6539,4	6539,4	13078,8	1575,0	1575,0	3150,0	0,0	0,0	0,0
RIOFRIO	13114,5	13114,5	26228,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ROLDANILLO	15470,7	15470,7	30941,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SAN-PEDRO-V	44231,2	44231,2	88462,3	3780,0	3780,0	7560,0	106099,3	106099,3	212198,6
SEVILLA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TORO	2079,0	2079,0	4158,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TRUJILLO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	630,0	630,0	1260,0
TULUA	29673,1	29673,1	59346,3	0,0	0,0	0,0	30693,1	30693,1	61386,2
ULLOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VERSALLES	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VIJES	0,0	0,0	0,0	1890,0	1890,0	3780,0	4410,0	4410,0	8820,0
YOTOCO	17530,4	17530,4	35060,8	0,0	0,0	0,0	1437,2	1437,2	2874,3
YUMBO	1889,2	1889,2	3778,5	0,0	0,0	0,0	21,4	21,4	42,8
ZARZAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

6.2. Estimación de biogás y electricidad provenientes de excreta de gallina generados en departamentos y municipios de Colombia.

Departamento	Municipio	Engorde			Levante			Postura		
		Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh	Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh	Población de Aves	Biogás m3 por hora	Electricidad estimada kWh
AMAZONAS	EL-ENCANTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-CHORRERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-PEDRERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-VICTORIA-Am	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LETICIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MIRITI-PARANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-ALEGRIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-ARICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	PUERTO-NARINO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-SANTANDER-Am	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ANTIOQUIA	TARAPACA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ABEJORRAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ABRIAQUI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALEJANDRIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AMAGA	895.000	3195,15	3993,9375	27.800	99,246	124,0575	11.800	42,126	52,6575
	AMALFI	0	0	0	0	0	0	7.200	25,704	32,13
	ANDES	0	0	0	0	0	0	36.000	128,52	160,65
	ANGELOPOLIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ANGOSTURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ANORI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ANZA	0	0	0	0	0	0	1.500	5,355	6,69375
	APARTADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARBOLETES	0	0	0	0	0	0	450	1,6065	2,008125
	ARGELIA-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARMENIA-An	0	0	0	0	0	0	4.215	15,04755	18,809438
	BARBOSA-An	855.000	3052,35	3815,4375	12.430	44,3751	55,468875	21.500	76,755	95,94375
	BELLO	0	0	0	25.000	89,25	111,5625	115.200	411,264	514,08
	BELMIRA	0	0	0	0	0	0	57.000	203,49	254,3625
	BETANIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BETULIA-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRICENO-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BURITICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CACERES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CAICEDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CALDAS-An	950.325	3392,6603	4240,8253	0	0	0	1.400	4,998	6,2475
	CAMPAMENTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CANASGORDAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CARACOLI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CARAMANTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CAREPA	0	0	0	0	0	0	135.000	481,95	602,4375
	CAROLINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CAUCASIA	0	0	0	0	0	0	456	1,62792	2,0349
CHIGORODO	0	0	0	0	0	0	33.500	119,595	149,49375
CISNEROS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CIUDAD-BOLIVAR	1.200	4,284	5,355	0	0	0	15.300	54,621	68,27625
COCORNA	0	0	0	0	0	0	3.500	12,495	15,61875
CONCEPCION-An	93.500	333,795	417,24375	0	0	0	0	0	0
CONCORDIA-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COPACABANA	35.600	127,092	158,865	0	0	0	18.400	65,688	82,11
DABEIBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DON-MATIAS	850.000	3034,5	3793,125	0	0	0	325	1,16025	1,4503125
EBEJICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-BAGRE	1.500	5,355	6,69375	0	0	0	0	0	0
EL-CARMEN-DE-VIBORAL	0	0	0	0	0	0	1.525.000	5444,25	6805,3125
EL-SANTUARIO	325	1,16025	1,4503125	65.000	232,05	290,0625	285.230	1018,2711	1272,8389
ENTRERRIOS	0	0	0	0	0	0	22.000	78,54	98,175
ENVIGADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FREDONIA	3.360	11,9952	14,994	0	0	0	73.250	261,5025	326,87813
FRONTINO	0	0	0	0	0	0	275.300	982,821	1228,5263
GIRALDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GIRARDOTA	564.800	2016,336	2520,42	0	0	0	6.520	23,2764	29,0955
GOMEZ-PLATA	0	0	0	0	0	0	2.500	8,925	11,15625
GRANADA-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUADALUPE-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUARNE	950	3,3915	4,239375	8.560	30,5592	38,199	105.234	375,68538	469,60673
GUATAPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HELICONIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HISPANIA	0	0	0	0	0	0	325	1,16025	1,4503125
ITAGUI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ITUANGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JARDIN	250	0,8925	1,115625	0	0	0	0	0	0
JERICO-An	0	0	0	0	0	0	2.500	8,925	11,15625
LA-CEJA	0	0	0	0	0	0	215.600	769,692	962,115

LA-ESTRELLA	93.000	332,01	415,0125	0	0	0	15.000	53,55	66,9375
LA-PINTADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-UNION-An	0	0	0	52.000	185,64	232,05	13.560	48,4092	60,5115
LIBORINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MACEO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MARINILLA	0	0	0	0	0	0	195.360	697,4352	871,794
MEDELLIN	820.000	2927,4	3659,25	9.500	33,915	42,39375	74.525	266,05425	332,56781
MONTEBELLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MURINDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MUTATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NARINO-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NECHI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NECOCLI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OLAYA-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PENOL	42.000	149,94	187,425	0	0	0	0	0	0
PEQUE	0	0	0	0	0	0	1.300	4,641	5,80125
PUEBLORRICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PUERTO-BERRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PUERTO-NARE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PUERTO-TRIUNFO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
REMEDIOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RETIRO	0	0	0	82.000	292,74	365,925	146.215	521,98755	652,48444
RIONEGRO-An	5.500	19,635	24,54375	285.000	1017,45	1271,8125	405.600	1447,992	1809,99
SABANALARGA-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SABANETA	255.000	910,35	1137,9375	0	0	0	0	0	0
SALGAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-ANDRES-DE-CUERQUIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-CARLOS-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0

SAN-FRANCISCO-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-JERONIMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-JOSE-DE-LA-MONTANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-JUAN-DE-URABA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-LUIS-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-PEDRO-DE-LOS-MILAGROS	0	0	0	7.500	26,775	33,46875	165.000	589,05	736,3125
SAN-PEDRO-DE-URABA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-RAFAEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-ROQUE	0	0	0	0	0	0	1.750	6,2475	7,809375
SANTA-BARBARA-An	0	0	0	0	0	0	13.500	48,195	60,24375
SANTA-FE-DE-ANTIOQUIA	0	0	0	25.000	89,25	111,5625	56.000	199,92	249,9
SANTA-ROSA-DE-OSOS	495.000	1767,15	2208,9375	0	0	0	1.950	6,9615	8,701875
SANTO-DOMINGO	310.000	1106,7	1383,375	0	0	0	0	0	0
SAN-VICENTE-FERRER	0	0	0	0	0	0	36.052	128,70564	160,88205
SEGOVIA	0	0	0	0	0	0	1.200	4,284	5,355
SONSON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOPETRAN	0	0	0	0	0	0	1.200	4,284	5,355
TAMESIS	0	0	0	0	0	0	15.600	55,692	69,615
TARAZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TARSO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TITIRIBI	242.000	863,94	1079,925	0	0	0	0	0	0
TOLEDO-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TURBO	0	0	0	0	0	0	6.420	22,9194	28,64925
URAMITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
URRAO	520	1,8564	2,3205	0	0	0	2.600	9,282	11,6025
VALDIVIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	VALPARAISO-An	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VEGACHI	0	0	0	0	0	0	852	3,04164	3,80205
	VENECIA-An	0	0	0	0	0	0	26.000	92,82	116,025
	VIGIA-DEL-FUERTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	YALI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	YARUMAL	0	0	0	0	0	0	1.360	4,8552	6,069
	YOLOMBO	235.000	838,95	1048,6875	0	0	0	0	0	0
	YONDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ZARAGOZA	859	3,06663	3,8332875	0	0	0	0	0	0
ARAUCA	ARAUCA	2.000	7,14	8,925	0	0	0	8.000	28,56	35,7
	ARAUQUITA	29.000	103,53	129,4125	0	0	0	9.000	32,13	40,1625
	CRAVO-NORTE	200	0,714	0,8925	0	0	0	500	1,785	2,23125
	FORTUL	3.000	10,71	13,3875	0	0	0	2.500	8,925	11,15625
	PUERTO-RONDON	300	1,071	1,33875	0	0	0	0	0	0
	SARAVENA	31.900	113,883	142,35375	0	0	0	6.000	21,42	26,775
	TAME	100	0,357	0,44625	0	0	0	18.000	64,26	80,325
ATLANTICO	BARANOA	625.000	2231,25	2789,0625	0	0	0	145.000	517,65	647,0625
	BARRANQUILLA	0	0	0	40.000	142,8	178,5	0	0	0
	CAMPO-DE-LA-CRUZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CANDELARIA-At	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GALAPA	800.000	2856	3570	0	0	0	4.250	15,1725	18,965625
	JUAN-DE-ACOSTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LURUACO	0	0	0	0	0	0	1.900	6,783	8,47875
	MALAMBO	1.000.000	3570	4462,5	0	0	0	0	0	0
	MANATI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PALMAR-DE-VARELA	0	0	0	0	0	0	40.000	142,8	178,5
	PIOJO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	POLONUEVO	500.000	1785	2231,25	0	0	0	180.000	642,6	803,25
	PONEDERA	197.000	703,29	879,1125	0	0	0	0	0	0

	PUERTO-COLOMBIA-At	92.000	328,44	410,55	0	0	0	98.000	349,86	437,325
	REPELON	380.000	1356,6	1695,75	0	0	0	0	0	0
	SABANAGRANDE	840.000	2998,8	3748,5	0	0	0	4.500	16,065	20,08125
	SABANALARGA-At	250.000	892,5	1115,625	0	0	0	430.000	1535,1	1918,875
	SANTA-LUCIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTO-TOMAS	75.000	267,75	334,6875	14.000	49,98	62,475	10.000	35,7	44,625
	SOLEDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SUAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TUBARA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	USIACURI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOLIVAR	ACHI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALTOS-DEL-ROSARIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARENAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARJONA	2.571.877	9181,6009	11477,001	0	0	0	0	0	0
	ARROYOHONDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BARRANCO-DE-LOBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CALAMAR-BI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CANTAGALLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CARTAGENA-DE-INDIAS	125.000	446,25	557,8125	0	0	0	0	0	0
	CICUCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CLEMENCIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CORDOBA-BI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-CARMEN-DE-BOLIVAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-GUAMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-PENON-BI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HATILLO-DE-LOBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MAGANGUE	5.000	17,85	22,3125	0	0	0	17.000	60,69	75,8625
	MAHATES	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MARGARITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MARIA-LA-BAJA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOMPOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONTECRISTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MORALES-BI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOROSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PINILLOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
REGIDOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RIO-VIEJO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-CRISTOBAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-ESTANISLAO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-FERNANDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-JACINTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-JACINTO-DEL-CAUCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-JUAN-NEPOMUCENO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-MARTIN-DE-LOBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-PABLO-BI	8.000	28,56	35,7	0	0	0	0	0	0
SANTA-CATALINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA-ROSA-BI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA-ROSA-DEL-SUR	25.000	89,25	111,5625	0	0	0	0	0	0
SIMITI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOPLAVIENTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TALAIGUA-NUEVO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIQUISIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	TURBACO	0	0	0	35.190	125,6283	157,03538	185.609	662,62413	828,28016
	TURBANA	0	0	0	0	0	0	57.800	206,346	257,9325
	VILLANUEVA-BI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ZAMBRANO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOYACA	ALMEIDA	12.000	42,84	53,55	0	0	0	15.889	56,72373	70,904663
	AQUITANIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARCABUCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BELEN-By	0	0	0	0	0	0	950	3,3915	4,239375
	BERBEO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BETEITIVA	0	0	0	0	0	0	400	1,428	1,785
	BOAVITA	0	0	0	0	0	0	1.500	5,355	6,69375
	BOYACA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BRICENO-By	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BUENAVISTA-By	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BUSBANZA	0	0	0	0	0	0	2.135	7,62195	9,5274375
	CALDAS-By	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CAMPOHERMOSO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CERINZA	0	0	0	0	0	0	14.250	50,8725	63,590625
	CHINAVITA	1.800	6,426	8,0325	0	0	0	2.300	8,211	10,26375
	CHIQUINQUIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHQUIZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHISCAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHITARAQUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHIVATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHIVOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CIENEGA-By	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	COMBITA	12.550	44,8035	56,004375	0	0	0	11.300	40,341	50,42625
	COPER	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CORRALES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	COVARACHIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CUBARA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CUCAITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CUITIVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DUITAMA	900	3,213	4,01625	22.000	78,54	98,175	57.000	203,49	254,3625

EL-COCUY	0	0	0	0	0	0	1.500	5,355	6,69375
EL-ESPINO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FIRAVITOBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLORESTA	0	0	0	0	0	0	7.000	24,99	31,2375
GACHANTIVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GAMEZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GARAGOA	860	3,0702	3,83775	0	0	0	6.273	22,39461	27,993263
GUACAMAYAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUATEQUE	0	0	0	0	0	0	55.000	196,35	245,4375
GUAYATA	43.000	153,51	191,8875	0	0	0	31.500	112,455	140,56875
GUICAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JENESANO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JERICO-By	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LABRANZAGRANDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-CAPILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-UVITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-VICTORIA-By	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MACANAL	0	0	0	0	0	0	540	1,9278	2,40975
MARIPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIRAFLORES-By	0	0	0	0	0	0	300	1,071	1,33875
MONGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONGUI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONQUIRA	100.598	359,13486	448,91858	0	0	0	16.280	58,1196	72,6495
MOTAVITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MUZO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOBSA	0	0	0	0	0	0	51.500	183,855	229,81875
NUEVO-COLON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OICATA	0	0	0	0	0	0	2.700	9,639	12,04875
OTANCHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PACHAVITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAEZ-By	0	0	0	0	0	0	4.400	15,708	19,635
PAIPA	0	0	0	0	0	0	51.935	185,40795	231,75994
PAJARITO	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PANQUEBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAUNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAYA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAZ-DE-RIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PISBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PUERTO-BOYACA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QUIPAMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RAMIRIQUI	330	1,1781	1,472625	0	0	0	910	3,2487	4,060875
RAQUIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RONDON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SABOYA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SACHICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAMACA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-EDUARDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-JOSE-DE-PARE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-LUIS-DE-GACENO	0	0	0	0	0	0	12.200	43,554	54,4425
SAN-MATEO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-MIGUEL-DE-SEMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-PABLO-DE-BORBUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA-MARIA-By	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA-ROSA-DE-VITERBO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA-SOFIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SATIVANORTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SATIVASUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SIACHOQUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOCHA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOCOTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	SOGAMOSO	0	0	0	0	0	0	10.065	35,93205	44,915063
	SOMONDOCO	95.998	342,71286	428,39108	0	0	0	9.440	33,7008	42,126
	SORA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SORACA	0	0	0	0	0	0	5.000	17,85	22,3125
	SOTAQUIRA	202.000	721,14	901,425	18.000	64,26	80,325	17.821	63,62097	79,526213
	SUSACON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SUTAMARCHAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SUTATENZA	218.000	778,26	972,825	0	0	0	18.921	67,54797	84,434963
	TASCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TENZA	134.000	478,38	597,975	0	0	0	0	0	0
	TIBANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TIBASOSA	320.000	1142,4	1428	0	0	0	6.551	23,38707	29,233838
	TINJACA	0	0	0	0	0	0	18.500	66,045	82,55625
	TIPACQUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOCA	0	0	0	0	0	0	5.982	21,35574	26,694675
	TOGUI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOPAGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TUNJA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TUNUNGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TURMEQUE	0	0	0	0	0	0	69.000	246,33	307,9125
	TUTA	338.000	1206,66	1508,325	0	0	0	420	1,4994	1,87425
	TUTAZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	UMBITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VENTAQUEMADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VILLA-DE-LEYVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VIRACACHA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ZETAQUIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CALDAS	AGUADAS-CI	0	0	0	0	0	0	1.400	4,998	6,2475
	ANSERMA	0	0	0	0	0	0	800	2,856	3,57
	ARANZAZU	0	0	0	0	0	0	42.000	149,94	187,425
	BELALCAZAR	24.800	88,536	110,67	2.500	8,925	11,15625	0	0	0
	CHINCHINA	115.000	410,55	513,1875	20.000	71,4	89,25	0	0	0
	FILADELFIA	0	0	0	0	0	0	10.000	35,7	44,625
	LA-DORADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	LA-MERCED	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MANIZALES	140.000	499,8	624,75	84.000	299,88	374,85	285.000	1017,45	1271,8125
	MANZANARES	1.200	4,284	5,355	0	0	0	3.000	10,71	13,3875
	MARMATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MARQUETALIA	2.500	8,925	11,15625	0	0	0	2.000	7,14	8,925
	MARULANDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NEIRA	3.200	11,424	14,28	32.500	116,025	145,03125	120.000	428,4	535,5
	NORCASIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PACORA	4.800	17,136	21,42	0	0	0	4.000	14,28	17,85
	PALESTINA-CI	0	0	0	0	0	0	96.500	344,505	430,63125
	PENSILVANIA	0	0	0	0	0	0	11.500	41,055	51,31875
	RIOSUCIO-CI	28.500	101,745	127,18125	0	0	0	25.000	89,25	111,5625
	RISARALDA	0	0	0	250.000	892,5	1115,625	700.000	2499	3123,75
	SALAMINA-CI	0	0	0	0	0	0	4.700	16,779	20,97375
	SAMANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-JOSE	0	0	0	28.000	99,96	124,95	0	0	0
	SUPIA	2.000	7,14	8,925	35.000	124,95	156,1875	112.000	399,84	499,8
	VICTORIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VILLAMARIA	2.500	8,925	11,15625	0	0	0	0	0	0
	VITERBO	110.000	392,7	490,875	0	0	0	1.200	4,284	5,355
CAQUETA	ALBANIA-Cq	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BELEN-DE-LOS- ANDAQUIES	0	0	0	800	2,856	3,57	0	0	0
	CARTAGENA-DEL- CHAIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CURILLO	2.500	8,925	11,15625	0	0	0	0	0	0
	EL-DONCELLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-PAUJIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FLORENCIA-Cq	58.150	207,5955	259,49438	0	0	0	48.000	171,36	214,2
	LA-MONTANITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MILAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MORELIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-RICO-Cq	7.500	26,775	33,46875	0	0	0	0	0	0

	SAN-JOSE-DEL-FRAGUA	1.200	4,284	5,355	0	0	0	0	0	0
	SAN-VICENTE-DEL-CAGUAN	0	0	0	0	0	0	9.000	32,13	40,1625
	SOLANO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SOLITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VALPARAISO-Cq	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CASANARE	AGUAZUL	1.500	5,355	6,69375	0	0	0	40.635	145,06695	181,33369
	CHAMEZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HATO-COROZAL	0	0	0	0	0	0	3.000	10,71	13,3875
	LA-SALINA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MANI	130	0,4641	0,580125	0	0	0	700	2,499	3,12375
	MONTERREY	1.000	3,57	4,4625	0	0	0	0	0	0
	NUNCHIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OROCUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PAZ-DE-ARIPORO	0	0	0	0	0	0	14.000	49,98	62,475
	PORE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RECETOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SABANALARGA-Cs	0	0	0	0	0	0	10.000	35,7	44,625
	SACAMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-LUIS-DE-PALENQUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TAMARA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TAURAMENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TRINIDAD	0	0	0	0	0	0	3.000	10,71	13,3875
	VILLANUEVA-Cs	650	2,3205	2,900625	0	0	0	0	0	0
	YOPAL	0	0	0	0	0	0	1.200	4,284	5,355
CAUCA	ALMAGUER	2.000	7,14	8,925	0	0	0	5.800	20,706	25,8825
	ARGELIA-Ca	4.000	14,28	17,85	0	0	0	0	0	0
	BALBOA-Ca	361.800	1291,626	1614,5325	0	0	0	0	0	0
	BOLIVAR-Ca	0	0	0	0	0	0	1.700	6,069	7,58625
	BUENOS-AIRES	2.800	9,996	12,495	0	0	0	0	0	0
	CAJIBIO	298.000	1063,86	1329,825	0	0	0	0	0	0

CALDONO	137.200	489,804	612,255	0	0	0	0	0	0
CALOTO	265.128	946,50696	1183,1337	0	0	0	0	0	0
CORINTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-TAMBO-Ca	9.300	33,201	41,50125	0	0	0	0	0	0
FLORENCIA-Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUACHENE	5.500	19,635	24,54375	0	0	0	0	0	0
GUAPI	1.400	4,998	6,2475	0	0	0	0	0	0
INZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JAMBALO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-SIERRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-VEGA-Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOPEZ-DE-MICAY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MERCADERES	105.000	374,85	468,5625	0	0	0	0	0	0
MIRANDA	1.800	6,426	8,0325	0	0	0	0	0	0
MORALES-Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PADILLA	10.000	35,7	44,625	0	0	0	0	0	0
PAEZ-Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PATIA	0	0	0	0	0	0	5.300	18,921	23,65125
PIAMONTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIENDAMO	0	0	0	0	0	0	2.440	8,7108	10,8885
POPAYAN	14.000	49,98	62,475	0	0	0	31.000	110,67	138,3375
PUERTO-TEJADA	259.200	925,344	1156,68	0	0	0	0	0	0
PURACE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROSAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-SEBASTIAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTANDER-DE- QUILICHAO	1.882.900	6721,953	8402,4413	0	0	0	36.200	129,234	161,5425
SANTA-ROSA-Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SILVIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOTARA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUAREZ-Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUCRE-Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIMBIO	11.200	39,984	49,98	0	0	0	20.000	71,4	89,25

	TIMBIQUI	0	0	0	0	0	0	16.000	57,12	71,4
	TORIBIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTORO	0	0	0	0	0	0	4.000	14,28	17,85
	VILLA-RICA	190.560	680,2992	850,374	280.000	999,6	1249,5	980.000	3498,6	4373,25
CESAR	AGUACHICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AGUSTIN-CODAZZI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ASTREA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BECERRIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BOSCONIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHIMICHAGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHIRIGUANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CURUMANI	700	2,499	3,12375	0	0	0	0	0	0
	EL-COPEY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-PASO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GAMARRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GONZALEZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-GLORIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-JAGUA-DE-IBIRICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-PAZ-Ce	15.000	53,55	66,9375	0	0	0	600	2,142	2,6775
	MANAURE-BALCON-DEL-CESAR	25.000	89,25	111,5625	0	0	0	5.000	17,85	22,3125
	PAILITAS	0	0	0	0	0	0	3.500	12,495	15,61875
	PELAYA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUEBLO-BELLO	0	0	0	0	0	0	1.200	4,284	5,355
	RIO-DE-ORO	221.000	788,97	986,2125	0	0	0	13.000	46,41	58,0125
	SAN-ALBERTO	110.000	392,7	490,875	0	0	0	0	0	0
	SAN-DIEGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-MARTIN-Ce	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TAMALAMEQUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VALLEDUPAR	46.000	164,22	205,275	0	0	0	3.200	11,424	14,28
UN	ACANDI	1.711	6,10827	7,6353375	0	0	0	0	0	0

ALTO-BAUDO	150	0,5355	0,669375	0	0	0	0	0	0
ATRATO	6.500	23,205	29,00625	4.750	16,9575	21,196875	328	1,17096	1,4637
BAGADO	1.678	5,99046	7,488075	0	0	0	0	0	0
BAHIA-SOLANO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAJO-BAUDO	1.111	3,96627	4,9578375	0	0	0	316	1,12812	1,41015
BOJAYA	2.000	7,14	8,925	0	0	0	516	1,84212	2,30265
CARMEN-DEL-DARIEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CERTEGUI	182	0,64974	0,812175	0	0	0	0	0	0
CONDOTO	2.200	7,854	9,8175	4.123	14,71911	18,398888	900	3,213	4,01625
EL-CANTON-DEL-SAN-PABLO	3.885	13,86945	17,336813	0	0	0	2.499	8,92143	11,151788
EL-CARMEN-DE-ATRATO	930	3,3201	4,150125	820	2,9274	3,65925	0	0	0
EL-LITORAL-DEL-SAN-JUAN	509	1,81713	2,2714125	0	0	0	0	0	0
ISTMINA	4.400	15,708	19,635	6.000	21,42	26,775	3.800	13,566	16,9575
JURADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LLORO	1.000	3,57	4,4625	0	0	0	0	0	0
MEDIO-ATRATO	500	1,785	2,23125	0	0	0	0	0	0
MEDIO-BAUDO	2.173	7,75761	9,6970125	0	0	0	739	2,63823	3,2977875
MEDIO-SAN-JUAN	550	1,9635	2,454375	400	1,428	1,785	200	0,714	0,8925
NOVITA	2.400	8,568	10,71	1.437	5,13009	6,4126125	550	1,9635	2,454375
NUQUI	1.372	4,89804	6,12255	0	0	0	0	0	0
QUIBDO	13.010	46,4457	58,057125	11.500	41,055	51,31875	9.120	32,5584	40,698
RIO-IRO	1.490	5,3193	6,649125	0	0	0	0	0	0
RIO-QUITO	700	2,499	3,12375	0	0	0	0	0	0
RIOSUCIO-Ch	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-JOSE-DEL-PALMAR	1.500	5,355	6,69375	0	0	0	0	0	0
SIPI	512	1,82784	2,2848	0	0	0	133	0,47481	0,5935125
TADO	3.010	10,7457	13,432125	2.725	9,72825	12,160313	633	2,25981	2,8247625
UNGUIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	UNION-PANAMERICANA	1.223	4,36611	5,4576375	0	0	0	0	0	0
CORDOBA	AYAPEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BUENAVISTA-Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CANALETE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CERETE	0	0	0	0	0	0	14.000	49,98	62,475
	CHIMA-Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHINU	1.600	5,712	7,14	0	0	0	5.500	19,635	24,54375
	CIENAGA-DE-ORO	740.000	2641,8	3302,25	0	0	0	6.200	22,134	27,6675
	COTORRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-APARTADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LORICA	900.000	3213	4016,25	0	0	0	78.000	278,46	348,075
	LOS-CORDOBAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MOMIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MONITOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MONTELIBANO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MONTERIA	0	0	0	0	0	0	10.780	38,4846	48,10575
	PLANETA-RICA	1.500	5,355	6,69375	0	0	0	16.500	58,905	73,63125
	PUEBLO-NUEVO	1.800	6,426	8,0325	0	0	0	15.000	53,55	66,9375
	PUERTO-ESCONDIDO	0	0	0	0	0	0	4.500	16,065	20,08125
	PUERTO-LIBERTADOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PURISIMA-DE-LA-CONCEPCION	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAHAGUN	1.200	4,284	5,355	0	0	0	89.000	317,73	397,1625
	SAN-ANDRES-DE-SOTAVENTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-ANTERO	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	SAN-BERNARDO-DEL-VIENTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-CARLOS-Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-JOSE-DE-URE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-PELAYO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TIERRALTA	0	0	0	0	0	0	4.200	14,994	18,7425
	TUCHIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VALENCIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUNDINAMARCA	AGUA-DE-DIOS	1.000	3,57	4,4625	0	0	0	3.200	11,424	14,28
	ALBAN-Cu	1.000.000	3570	4462,5	0	0	0	87.200	311,304	389,13
	ANAPOIMA	200.000	714	892,5	0	0	0	0	0	0
	ANOLAIMA	252.000	899,64	1124,55	0	0	0	98.474	351,55218	439,44023
	APULO	42.258	150,86106	188,57633	0	0	0	0	0	0
	ARBELAEZ	1.450.000	5176,5	6470,625	0	0	0	9.300	33,201	41,50125
	BELTRAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BITUIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BOJACA	96.000	342,72	428,4	0	0	0	290.000	1035,3	1294,125
	CABRERA-Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CACHIPAY	100.000	357	446,25	0	0	0	703.000	2509,71	3137,1375
	CAJICA	65.000	232,05	290,0625	0	0	0	552.000	1970,64	2463,3
	CAPARRAPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CAQUEZA	0	0	0	0	0	0	535.200	1910,664	2388,33

CARMEN-DE-CARUPA	0	0	0	5.999	21,41643	26,770538	0	0	0
CHAGUANI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHIA	103.000	367,71	459,6375	18.000	64,26	80,325	287.569	1026,6213	1283,2767
CHIPAQUE	0	0	0	0	0	0	17.000	60,69	75,8625
CHOACHI	0	0	0	0	0	0	330.000	1178,1	1472,625
CHOCONTA	140.200	500,514	625,6425	0	0	0	380.500	1358,385	1697,9813
COGUA	0	0	0	0	0	0	219.000	781,83	977,2875
COTA	191.000	681,87	852,3375	0	0	0	125.000	446,25	557,8125
CUCUNUBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-COLEGIO	193.000	689,01	861,2625	0	0	0	10.000	35,7	44,625
EL-PENON-Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-ROSAL	270.000	963,9	1204,875	0	0	0	214.040	764,1228	955,1535
FACATATIVA	750.000	2677,5	3346,875	0	0	0	170.000	606,9	758,625
FOMEQUE	0	0	0	0	0	0	1.801.200	6430,284	8037,855
FOSCA	43.000	153,51	191,8875	0	0	0	725.000	2588,25	3235,3125
FUNZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FUQUENE	0	0	0	0	0	0	4.680	16,7076	20,8845
FUSAGASUGA	2.050.000	7318,5	9148,125	203.000	724,71	905,8875	2.000.000	7140	8925
GACHALA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GACHANCIPA	230.000	821,1	1026,375	0	0	0	129.800	463,386	579,2325

GACHETA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GAMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GIRARDOT	0	0	0	0	0	0	46.000	164,22	205,275
GRANADA-Cu	155.000	553,35	691,6875	0	0	0	6.700	23,919	29,89875
GUACHETA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUADUAS	1.430.000	5105,1	6381,375	0	0	0	15.000	53,55	66,9375
GUASCA	158.000	564,06	705,075	0	0	0	95.787	341,95959	427,44949
GUATAQUI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUATAVITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUAYABAL-DE-SIQUIMA	725.000	2588,25	3235,3125	0	0	0	21.900	78,183	97,72875
GUAYABETAL	255.000	910,35	1137,9375	0	0	0	8.200	29,274	36,5925
GUTIERREZ	0	0	0	0	0	0	5.200	18,564	23,205
JERUSALEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUNIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-CALERA	0	0	0	0	0	0	16.950	60,5115	75,639375
LA-MESA	698.000	2491,86	3114,825	0	0	0	25.000	89,25	111,5625
LA-PALMA	0	0	0	0	0	0	6.000	21,42	26,775
LA-PENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-VEGA-Cu	659.000	2352,63	2940,7875	0	0	0	280.000	999,6	1249,5
LENGUAZAQUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MACHETA	72.000	257,04	321,3	0	0	0	10.000	35,7	44,625
MADRID	60.000	214,2	267,75	0	0	0	39.000	139,23	174,0375
MANTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEDINA	0	0	0	0	0	0	1.450	5,1765	6,470625
MOSQUERA-Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NARINO-Cu	1.200	4,284	5,355	0	0	0	0	0	0
NEMOCON	103.000	367,71	459,6375	0	0	0	319.000	1138,83	1423,5375
NILO	415.000	1481,55	1851,9375	0	0	0	3.500	12,495	15,61875
NIMAIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOCAIMA	110.000	392,7	490,875	17.500	62,475	78,09375	0	0	0
PACHO	25.000	89,25	111,5625	0	0	0	35.000	124,95	156,1875
PAIME	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PANDI	200.000	714	892,5	0	0	0	0	0	0
PARATEBUENO	5.300	18,921	23,65125	0	0	0	4.062	14,50134	18,126675
PASCA	95.000	339,15	423,9375	0	0	0	2.500	8,925	11,15625
PUERTO-SALGAR	0	0	0	0	0	0	41.000	146,37	182,9625
PULI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QUEBRADANEGRA	0	0	0	0	0	0	21.000	74,97	93,7125
QUETAME	98.000	349,86	437,325	0	0	0	60.000	214,2	267,75
QUIPILE	45.000	160,65	200,8125	0	0	0	0	0	0

RICAURTE-Cu	9.500	33,915	42,39375	0	0	0	4.850	17,3145	21,643125
SAN-ANTONIO-DEL- TEQUENDAMA	326.000	1163,82	1454,775	0	0	0	65.000	232,05	290,0625
SAN-BERNARDO-Cu	150.000	535,5	669,375	0	0	0	2.500	8,925	11,15625
SAN-CAYETANO-Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-FRANCISCO-Cu	725.000	2588,25	3235,3125	0	0	0	42.000	149,94	187,425
SAN-JUAN-DE- RIOSECO	0	0	0	10.578	37,76346	47,204325	0	0	0
SASAIMA	1.040.000	3712,8	4641	0	0	0	5.500	19,635	24,54375
SESQUILE	240.000	856,8	1071	0	0	0	15.000	53,55	66,9375
SIBATE	0	0	0	0	0	0	11.000	39,27	49,0875
SILVANIA	1.133.000	4044,81	5056,0125	0	0	0	125.000	446,25	557,8125
SIMIJACA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOACHA	33.000	117,81	147,2625	0	0	0	0	0	0
SOPO	22.000	78,54	98,175	0	0	0	95.000	339,15	423,9375
SUBACHOQUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUESCA	650.000	2320,5	2900,625	0	0	0	120.000	428,4	535,5
SUPATA	0	0	0	0	0	0	259.000	924,63	1155,7875
SUSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

SUTATAUSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TABIO	22.000	78,54	98,175	0	0	0	45.000	160,65	200,8125
TAUSA	0	0	0	0	0	0	2.500	8,925	11,15625
TENA	750.000	2677,5	3346,875	0	0	0	0	0	0
TENJO	0	0	0	35.000	124,95	156,1875	85.000	303,45	379,3125
TIBACUY	248.000	885,36	1106,7	0	0	0	5.000	17,85	22,3125
TIBIRITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOCAIMA	0	0	0	0	0	0	86.000	307,02	383,775
TOCANCIPA	400.000	1428	1785	0	0	0	102.358	365,41806	456,77258
TOPAIPÍ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UBALA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UBAQUE	150.000	535,5	669,375	0	0	0	435.000	1552,95	1941,1875
UNE	0	0	0	2.300	8,211	10,26375	0	0	0
UTICA	0	0	0	0	0	0	5.898	21,05586	26,319825
VENECIA-Cu	0	0	0	0	0	0	2.785	9,94245	12,428063
VERGARA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VIANI	20.000	71,4	89,25	0	0	0	0	0	0
VILLA-DE-SAN-DIEGO-DE-UBATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VILLAGOMEZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	VILLAPINZON	90.000	321,3	401,625	0	0	0	0	0	0
	VILLETA	1.050.000	3748,5	4685,625	0	0	0	35.000	124,95	156,1875
	VIOTA	0	0	0	0	0	0	55.000	196,35	245,4375
	YACOPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ZIPACON	0	0	0	1.350	4,8195	6,024375	0	0	0
	ZIPAQUIRA	9.800	34,986	43,7325	6.987	24,94359	31,179488	9.231	32,95467	41,193338
	BOGOTA,D.C.	391.000	1395,87	1744,8375	0	0	0	0	0	0
GUAINIA	BARRANCO-MINAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CACAHUAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	INIRIDA	8.760	31,2732	39,0915	2.910	10,3887	12,985875	19.101	68,19057	85,238213
	LA-GUADALUPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MAPIRIPANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MORICHAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PANA-PANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-COLOMBIA-Gn	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-FELIPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUAVIARE	CALAMAR-Gv	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-RETORNO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MIRAFLORES-Gv	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-JOSE-DEL-GUAVIARE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUILA	ACEVEDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AGRADO	11.000	39,27	49,0875	0	0	0	0	0	0
	AIPE	11.000	39,27	49,0875	0	0	0	2.500	8,925	11,15625
	ALGECIRAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALTAMIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

LA-CUATRO	BARAYA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CAMPOALEGRE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	COLOMBIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ELIAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GARZON	19.800	70,686	88,3575	11.500	41,055	51,31875	38.100	136,017	170,02125
	GIGANTE	9.000	32,13	40,1625	0	0	0	6.800	24,276	30,345
	GUADALUPE-H	27.000	96,39	120,4875	0	0	0	4.000	14,28	17,85
	HOBO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	IQUIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ISNOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-ARGENTINA	4.000	14,28	17,85	0	0	0	4.000	14,28	17,85
	LA-PLATA	22.000	78,54	98,175	0	0	0	26.500	94,605	118,25625
	NATAGA	0	0	0	0	0	0	1.000	3,57	4,4625
	NEIVA	96.200	343,434	429,2925	0	0	0	127.650	455,7105	569,63813
	OPORAPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PAICOL	2.000	7,14	8,925	0	0	0	19.000	67,83	84,7875
	PALERMO	126.500	451,605	564,50625	0	0	0	156.100	557,277	696,59625
	PALESTINA-H	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PITAL	10.000	35,7	44,625	0	0	0	14.000	49,98	62,475
	PITALITO	304.000	1085,28	1356,6	0	0	0	17.000	60,69	75,8625
	RIVERA	34.200	122,094	152,6175	73.000	260,61	325,7625	345.000	1231,65	1539,5625
	SALADOBLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-AGUSTIN	25.000	89,25	111,5625	0	0	0	0	0	0
	SANTA-MARIA-H	12.800	45,696	57,12	0	0	0	1.400	4,998	6,2475
	SUAZA	0	0	0	0	0	0	12.000	42,84	53,55
	TARQUI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TELLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TERUEL	0	0	0	0	0	0	3.000	10,71	13,3875
	TESALIA	0	0	0	0	0	0	5.000	17,85	22,3125
	TIMANA	13.000	46,41	58,0125	0	0	0	0	0	0
	VILLAVIEJA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	YAGUARA	0	0	0	0	0	0	9.000	32,13	40,1625
	ALBANIA-LG	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BARRANCAS	2.100	7,497	9,37125	0	0	0	0	0	0

	DIBULLA	450	1,6065	2,008125	0	0	0	3.000	10,71	13,3875
	DISTRACCION	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-MOLINO	450	1,6065	2,008125	0	0	0	0	0	0
	FONSECA	2.000	7,14	8,925	0	0	0	0	0	0
	HATO-NUEVO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-JAGUA-DEL-PILAR	850	3,0345	3,793125	0	0	0	5.000	17,85	22,3125
	MAICAO	4.300	15,351	19,18875	0	0	0	4.000	14,28	17,85
	MANAURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RIOHACHA	1.500	5,355	6,69375	0	0	0	7.900	28,203	35,25375
	SAN-JUAN-DEL-CESAR	3.000	10,71	13,3875	0	0	0	0	0	0
	URIBIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	URUMITA	7.750	27,6675	34,584375	0	0	0	0	0	0
	VILLANUEVA-LG	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAGDALENA	ALGARROBO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARACATACA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARIGUANI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CERRO-DE-SAN-ANTONIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHIVOLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CIENAGA-Ma	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CONCORDIA-Ma	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-BANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-PINON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-RETEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FUNDACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GUAMAL-Ma	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NUEVA-GRANADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PEDRAZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PIJINO-DEL-CARMEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PIVIJAY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PLATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	PUEBLOVIEJO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	REMOLINO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SABANAS-DE-SAN-ANGEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SALAMINA-Ma	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-SEBASTIAN-DE-BUENAVISTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTA-ANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTA-BARBARA-DE-PINTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTA-MARTA	337.000	1203,09	1503,8625	23.520	83,9664	104,958	77.884	278,04588	347,55735
	SAN-ZENON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SITIONUEVO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TENERIFE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ZAPAYAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ZONA-BANANERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
META	ACACIAS	80.000	285,6	357	0	0	0	16.000	57,12	71,4
	BARRANCA-DE-UIPIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CABUYARO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CASTILLA-LA-NUEVA	222.000	792,54	990,675	0	0	0	0	0	0
	CUBARRAL	16.500	58,905	73,63125	0	0	0	0	0	0
	CUMARAL	152.000	542,64	678,3	0	0	0	10.000	35,7	44,625
	EL-CALVARIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-CASTILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-DORADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FUENTE-DE-ORO	34.000	121,38	151,725	0	0	0	0	0	0
	GRANADA-Me	60.000	214,2	267,75	0	0	0	0	0	0
	GUAMAL-Me	189.000	674,73	843,4125	0	0	0	52.100	185,997	232,49625

	LA-MACARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LEJANIAS	32.000	114,24	142,8	0	0	0	0	0	0
	MAPIRIPAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MESETAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-CONCORDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-GAITAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-LLERAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-LOPEZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-RICO-Me	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RESTREPO-Me	1.145.700	4090,149	5112,6863	0	0	0	35.000	124,95	156,1875
	SAN-CARLOS-DE-GUAROA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-JUAN-DE-ARAMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-JUANITO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-MARTIN-Me	19.000	67,83	84,7875	0	0	0	3.200	11,424	14,28
	URIBE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VILLAVICENCIO	167.000	596,19	745,2375	0	0	0	77.000	274,89	343,6125
	VISTAHERMOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NARIÑO	ALBAN	22.000	78,54	98,175	0	0	0	0	0	0
	ALDANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ANCUYA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARBOLEDA	49.000	174,93	218,6625	0	0	0	14.300	51,051	63,81375
	BARBACOAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BELEN-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BUESACO	54.000	192,78	240,975	0	0	0	0	0	0
	CHACHAGUI	545.000	1945,65	2432,0625	0	0	0	7.000	24,99	31,2375
	COLON-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CONSACA	21.500	76,755	95,94375	0	0	0	0	0	0

CONTADERO	146.000	521,22	651,525	0	0	0	0	0	0
CORDOBA-N	28.800	102,816	128,52	0	0	0	0	0	0
CUASPUD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUMBAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUMBITARA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-CHARCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-PENOL-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-ROSARIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-TABLON-DE-GOMEZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-TAMBO-N	4.050	14,4585	18,073125	0	0	0	0	0	0
FRANCISCO-PIZARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FUNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUACHUCAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUAITARILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUALMATAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ILES	70.200	250,614	313,2675	0	0	0	0	0	0
IMUES	17.200	61,404	76,755	0	0	0	0	0	0
IPIALES	17.850	63,7245	79,655625	0	0	0	1.900	6,783	8,47875
LA-CRUZ	900	3,213	4,01625	0	0	0	0	0	0
LA-FLORIDA	40.000	142,8	178,5	0	0	0	2.000	7,14	8,925
LA-LLANADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-TOLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-UNION-N	1.500	5,355	6,69375	0	0	0	0	0	0
LEIVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LINARES	2.200	7,854	9,8175	0	0	0	0	0	0
LOS-ANDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAGUI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MALLAMA	7.500	26,775	33,46875	0	0	0	0	0	0
MOSQUERA-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NARINO-N	59.500	212,415	265,51875	0	0	0	0	0	0
OLAYA-HERRERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OSPINA	0	0	0	0	0	0	1.000	3,57	4,4625
PASTO	5.800	20,706	25,8825	0	0	0	28.100	100,317	125,39625
POLICARPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTOSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	PROVIDENCIA-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERRES	6.100	21,777	27,22125	0	0	0	0	0	0
	PUPIALES	4.400	15,708	19,635	0	0	0	510	1,8207	2,275875
	RICAURTE-N	7.500	26,775	33,46875	0	0	0	0	0	0
	ROBERTO-PAYAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAMANIEGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-ANDRES-DE-TUMACO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-BERNARDO-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANDONA	28.000	99,96	124,95	0	0	0	12.000	42,84	53,55
	SAN-LORENZO	68.000	242,76	303,45	0	0	0	0	0	0
	SAN-PABLO-N	1.100	3,927	4,90875	0	0	0	0	0	0
	SAN-PEDRO-DE-CARTAGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTA-BARBARA-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTACRUZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAPUYES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TAMINANGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TANGUA	45.000	160,65	200,8125	0	0	0	9.500	33,915	42,39375
	TUQUERRES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	YACUANQUER	140.400	501,228	626,535	0	0	0	4	0,01428	0,01785
PUTUMAYO	COLON-P	2.693	9,61401	12,017513	0	0	0	0	0	0
	MOCOA	30.438	108,66366	135,82958	0	0	0	0	0	0
	ORITO	5.586	19,94202	24,927525	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-ASIS	16.222	57,91254	72,390675	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-CAICEDO	1.026	3,66282	4,578525	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-GUZMAN	2.493	8,90001	11,125013	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-LEGUIZAMO	1.985	7,08645	8,8580625	0	0	0	0	0	0
	SAN-FRANCISCO-P	1.276	4,55532	5,69415	0	0	0	0	0	0

	SAN-MIGUEL-P	2.822	10,07454	12,593175	0	0	0	0	0	0
	SANTIAGO-P	3.491	12,46287	15,578588	0	0	0	0	0	0
	SIBUNDOY	762	2,72034	3,400425	0	0	0	0	0	0
	VALLE-DEL-GUAMUEZ	877	3,13089	3,9136125	0	0	0	0	0	0
	VILLAGARZON	1.197	4,27329	5,3416125	0	0	0	0	0	0
	COLON-P	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MOCOA	0	0	0	0	0	0	20.300	72,471	90,58875
	ORITO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-ASIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-CAICEDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-GUZMAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-LEGUIZAMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-FRANCISCO-P	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN-MIGUEL-P	132.765	473,97105	592,46381	0	0	0	396.394	1415,1266	1768,9082
	SANTIAGO-P	0	0	0	0	0	0	5.500	19,635	24,54375
	SIBUNDOY	0	0	0	0	0	0	13.000	46,41	58,0125
	VALLE-DEL-GUAMUEZ	0	0	0	0	0	0	185.429	661,98153	827,47691
	VILLAGARZON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NORTE-SANTANDER	EL-TARRA	1.800	6,426	8,0325	0	0	0	10.605	37,85985	47,324813
	EL-ZULIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GRAMALOTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HACARI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HERRAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0

LABATECA	0	0	0	0	0	0	9.060	32,3442	40,43025
LA-ESPERANZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-PLAYA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOS-PATIOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOURDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MUTISCUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OCANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAMPLONA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAMPLONITA	131.500	469,455	586,81875	0	0	0	155.900	556,563	695,70375
PUERTO-SANTANDER-NS	2.693	9,61401	12,017513	0	0	0	0	0	0
RAGONVALIA	30.438	108,66366	135,82958	0	0	0	0	0	0
SALAZAR	5.586	19,94202	24,927525	0	0	0	0	0	0
SAN-CALIXTO	16.222	57,91254	72,390675	0	0	0	0	0	0
SAN-CAYETANO-NS	1.026	3,66282	4,578525	0	0	0	0	0	0
SANTIAGO-NS	2.493	8,90001	11,125013	0	0	0	0	0	0
SARDINATA	1.985	7,08645	8,8580625	0	0	0	0	0	0
SILOS	1.276	4,55532	5,69415	0	0	0	0	0	0
TEORAMA	2.822	10,07454	12,593175	0	0	0	0	0	0
TIBU	3.491	12,46287	15,578588	0	0	0	0	0	0

	TOLEDO-NS	762	2,72034	3,400425	0	0	0	0	0	0
	VILLA-CARO	877	3,13089	3,9136125	0	0	0	0	0	0
	VILLA-DEL-ROSARIO	1.197	4,27329	5,3416125	0	0	0	0	0	0
QUINDIO	ARMENIA-Q	2.208.500	7884,345	9855,4313	0	0	0	0	0	0
	BUENAVISTA-Q	256.000	913,92	1142,4	0	0	0	0	0	0
	CALARCA	831.200	2967,384	3709,23	24.000	85,68	107,1	140.000	499,8	624,75
	CIRCASIA	671.700	2397,969	2997,4613	0	0	0	47.531	169,68567	212,10709
	CORDOBA-Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FILANDIA	226.000	806,82	1008,525	74.000	264,18	330,225	202.487	722,87859	903,59824
	GENOVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-TEBAIDA	432.000	1542,24	1927,8	0	0	0	36.000	128,52	160,65
	MONTENEGRO	1.235.600	4411,092	5513,865	29.000	103,53	129,4125	261.100	932,127	1165,1588
	PIJAO	144.000	514,08	642,6	0	0	0	0	0	0
	QUIMBAYA	1.350.095	4819,8392	6024,7989	0	0	0	0	0	0
	SALENTO	179.000	639,03	798,7875	0	0	0	0	0	0
RISARALDA	APIA	0	0	0	0	0	0	4.000	14,28	17,85
	BALBOA-R	2.000	7,14	8,925	0	0	0	0	0	0
	BELEN-DE-UMBRIA	5.000	17,85	22,3125	3.000	10,71	13,3875	0	0	0
	DOSQUEBRADAS	136.500	487,305	609,13125	0	0	0	16.000	57,12	71,4
	GUATICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-CELIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-VIRGINIA	170.000	606,9	758,625	0	0	0	0	0	0
	MARSELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MISTRATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PEREIRA	2.628.500	9383,745	11729,681	56.000	199,92	249,9	316.884	1131,2759	1414,0949
	PUEBLO-RICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	QUINCHIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTA-ROSA-DE-CABAL	6.000	21,42	26,775	0	0	0	367.300	1311,261	1639,0763
	SANTUARIO	0	0	0	0	0	0	2.000	7,14	8,925

S.ANDRES/PROVID	PROVIDENCIA-SAYP	0	0	0	0	0	0	1.250	4,4625	5,578125
	SAN-ANDRES-SAYP	0	0	0	0	0	0	15.000	53,55	66,9375
SANTANDER	AGUADA-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALBANIA-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARATOCA	277.580	990,9606	1238,7008	0	0	0	23.500	83,895	104,86875
	BARBOSA-Sa	237.500	847,875	1059,8438	0	0	0	103.000	367,71	459,6375
	BARICHARA	169.300	604,401	755,50125	0	0	0	5.700	20,349	25,43625
	BARRANCABERMEJA	1.211.400	4324,698	5405,8725	0	0	0	0	0	0
	BETULIA-Sa	282.000	1006,74	1258,425	0	0	0	0	0	0
	BOLIVAR-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BUCARAMANGA	135.000	481,95	602,4375	0	0	0	227.500	812,175	1015,2188
	CABRERA-Sa	7.600	27,132	33,915	0	0	0	0	0	0
	CALIFORNIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CAPITANEJO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CARCASI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CEPITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CERRITO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHARALA	72.000	257,04	321,3	37.000	132,09	165,1125	24.400	87,108	108,885
	CHARTA	0	0	0	0	0	0	5.600	19,992	24,99
	CHIMA-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHIPATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CIMITARRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CONCEPCION-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CONFINES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CONTRATACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	COROMORO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CURITI	58.000	207,06	258,825	0	0	0	39.000	139,23	174,0375
	EL-CARMEN-DE-CHUCURI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-GUACAMAYO	0	0	0	0	0	0	0	0	0

EL-PENON-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL-PLAYON	319.000	1138,83	1423,5375	295.496	1054,9207	1318,6509	80.000	285,6	357
ENCINO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENCISO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLORIAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLORIDABLANCA	975.382	3482,1137	4352,6422	10.000	35,7	44,625	343.350	1225,7595	1532,1994
GALAN	10.600	37,842	47,3025	0	0	0	0	0	0
GAMBITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GIRON	3.300.000	11781	14726,25	0	0	0	2.079.918	7425,3073	9281,6341
GUACA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUADALUPE-Sa	0	0	0	0	0	0	2.000	7,14	8,925
GUAPOTA	26.000	92,82	116,025	0	0	0	50.600	180,642	225,8025
GUAVATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUEPSA	2.200	7,854	9,8175	0	0	0	4.800	17,136	21,42
HATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JESUS-MARIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JORDAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-BELLEZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LANDAZURI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-PAZ-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LEBRIJA	4.935.634	17620,213	22025,267	82.000	292,74	365,925	3.905.000	13940,85	17426,063
LOS-SANTOS	3.014.726	10762,572	13453,215	0	0	0	486.100	1735,377	2169,2213
MACARAVITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MALAGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MATANZA	26.000	92,82	116,025	0	0	0	0	0	0
MOGOTES	16.300	58,191	72,73875	17.000	60,69	75,8625	0	0	0
MOLAGAVITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OCAMONTE	12.600	44,982	56,2275	0	0	0	18.000	64,26	80,325
OIBA	0	0	0	0	0	0	4.000	14,28	17,85
ONZAGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PALMAR	10.000	35,7	44,625	0	0	0	0	0	0
PALMAS-DEL-SOCORRO	9.000	32,13	40,1625	0	0	0	10.000	35,7	44,625
PARAMO	15.000	53,55	66,9375	0	0	0	0	0	0
PIEDECUESTA	4.393.506	15684,816	19606,021	61.000	217,77	272,2125	2.650.000	9460,5	11825,625
PINCHOTE	284.000	1013,88	1267,35	0	0	0	9.700	34,629	43,28625

PUENTE-NACIONAL	25.800	92,106	115,1325	0	0	0	154.993	553,32501	691,65626
PUERTO-PARRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PUERTO-WILCHES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RIONEGRO-Sa	1.169.304	4174,4153	5218,0191	0	0	0	53.200	189,924	237,405
SABANA-DE-TORRES	1.137.800	4061,946	5077,4325	0	0	0	0	0	0
SAN-ANDRES-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-BENITO	0	0	0	0	0	0	1.500	5,355	6,69375
SAN-GIL	137.674	491,49618	614,37023	20.000	71,4	89,25	58.000	207,06	258,825
SAN-JOAQUIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-JOSE-DE-MIRANDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-MIGUEL-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA-BARBARA-Sa	0	0	0	0	0	0	25.100	89,607	112,00875
SANTA-HELENA-DEL-OPON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-VICENTE-DE-CHUCURI	239.798	856,07886	1070,0986	0	0	0	10.600	37,842	47,3025
SIMACOTA	0	0	0	0	0	0	5.000	17,85	22,3125
SOCORRO	65.500	233,835	292,29375	0	0	0	44.000	157,08	196,35
SUAITA	4.300	15,351	19,18875	0	0	0	110.700	395,199	493,99875
SUCRE-Sa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SURATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TONA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VALLE-SAN-JOSE	25.000	89,25	111,5625	0	0	0	14.200	50,694	63,3675
VELEZ	8.000	28,56	35,7	0	0	0	19.800	70,686	88,3575
VETAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VILLANUEVA-Sa	7.500	26,775	33,46875	0	0	0	38.900	138,873	173,59125
ZAPATOCA	349.000	1245,93	1557,4125	0	0	0	100.000	357	446,25

SUCRE	BUENAVISTA-Su	2.000	7,14	8,925	0	0	0	0	0	0
	CAIMITO	600	2,142	2,6775	0	0	0	0	0	0
	CHALAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	COLOSO	350	1,2495	1,561875	0	0	0	0	0	0
	COROZAL	385.000	1374,45	1718,0625	0	0	0	1.000	3,57	4,4625
	COVENAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-ROBLE	550	1,9635	2,454375	0	0	0	0	0	0
	GALERAS	16.250	58,0125	72,515625	0	0	0	550	1,9635	2,454375
	GUARANDA	0	0	0	0	0	0	8.500	30,345	37,93125
	LA-UNION-Su	1.250	4,4625	5,578125	0	0	0	0	0	0
	LOS-PALMITOS	32.000	114,24	142,8	0	0	0	0	0	0
	MAJAGUAL	1.850	6,6045	8,255625	0	0	0	0	0	0
	MORROA	28.000	99,96	124,95	0	0	0	0	0	0
	OVEJAS	350	1,2495	1,561875	0	0	0	0	0	0
	PALMITO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAMPUES	0	0	0	0	0	0	25.000	89,25	111,5625
	SAN-BENITO-ABAD	550	1,9635	2,454375	0	0	0	0	0	0
	SAN-JUAN-DE-BETULIA	93.000	332,01	415,0125	0	0	0	2.000	7,14	8,925
	SAN-LUIS-DE-SINCE	5.500	19,635	24,54375	0	0	0	0	0	0
	SAN-MARCOS	3.550	12,6735	15,841875	0	0	0	1.250	4,4625	5,578125
	SAN-ONOFRE	3.600	12,852	16,065	0	0	0	750	2,6775	3,346875
	SAN-PEDRO-Su	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTIAGO-DE-TOLU	0	0	0	0	0	0	8.000	28,56	35,7
	SINCELEJO	2.500	8,925	11,15625	0	0	0	27.000	96,39	120,4875
	SUCRE-Su	2.500	8,925	11,15625	0	0	0	0	0	0
	TOLUVIEJO	350	1,2495	1,561875	0	0	0	0	0	0
TOLIMA	ALPUJARRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALVARADO	0	0	0	500.000	1785	2231,25	18.000	64,26	80,325
	AMBALEMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ANZOATEGUI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARMERO-GUAYABAL	0	0	0	0	0	0	1.600	5,712	7,14

ATACO	600	2,142	2,6775	0	0	0	2.000	7,14	8,925
CAJAMARCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARMEN-DE- APICALA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CASABIANCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHAPARRAL	16.000	57,12	71,4	0	0	0	3.000	10,71	13,3875
COELLO	20.000	71,4	89,25	0	0	0	0	0	0
COYAIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUNDAY	0	0	0	0	0	0	14.000	49,98	62,475
DOLORES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESPINAL	60.000	214,2	267,75	0	0	0	0	0	0
FALAN	2.800	9,996	12,495	0	0	0	0	0	0
FLANDES	12.000	42,84	53,55	0	0	0	0	0	0
FRESNO	2.000	7,14	8,925	0	0	0	1.200	4,284	5,355
GUAMO	70.000	249,9	312,375	0	0	0	0	0	0
HERVEO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HONDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IBAGUE	1.009.500	3603,915	4504,8938	0	0	0	2.930.000	10460,1	13075,125
ICONONZO	82.000	292,74	365,925	0	0	0	14.000	49,98	62,475
LERIDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIBANO	4.000	14,28	17,85	0	0	0	0	0	0
MELGAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MURILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NATAGAIMA	2.000	7,14	8,925	0	0	0	0	0	0
ORTEGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PALOCABILDO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIEDRAS	20.000	71,4	89,25	0	0	0	975.000	3480,75	4350,9375
PLANADAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PURIFICACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RIOBLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RONCESVALLES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROVIRA	21.000	74,97	93,7125	0	0	0	0	0	0
SALDANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN-ANTONIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	SAN-LUIS-T	1.000	3,57	4,4625	0	0	0	0	0	0
	SAN-SEBASTIAN-DE-MARIQUITA	12.000	42,84	53,55	0	0	0	30.000	107,1	133,875
	SANTA-ISABEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SUAREZ-T	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VALLE-DE-SAN-JUAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VENADILLO	20.000	71,4	89,25	0	0	0	90.000	321,3	401,625
	VILLAHERMOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VILLARRICA	1.000	3,57	4,4625	0	0	0	0	0	0
VALLE	ALCALA	149.000	531,93	664,9125	0	0	0	0	0	0
	ANDALUCIA	461.328	1646,941	2058,6762	0	0	0	0	0	0
	ANSERMANUEVO	190.600	680,442	850,5525	0	0	0	330.000	1178,1	1472,625
	ARGELIA-V	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BOLIVAR-V	60.000	214,2	267,75	0	0	0	0	0	0
	BUENAVENTURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BUGALAGRANDE	49.176	175,55832	219,4479	0	0	0	0	0	0
	CAICEDONIA	330.000	1178,1	1472,625	0	0	0	0	0	0
	CALI	160.801	574,05957	717,57446	0	0	0	278.394	993,86658	1242,3332
	CALIMA	0	0	0	19.000	67,83	84,7875	0	0	0
	CANDELARIA-V	1.313.289	4688,4417	5860,5522	0	0	0	995.078	3552,4285	4440,5356
	CARTAGO	393.853	1406,0552	1757,569	0	0	0	98.030	349,9671	437,45888
	DAGUA	35.500	126,735	158,41875	91.500	326,655	408,31875	112.775	402,60675	503,25844
	EL-AGUILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EL-CAIRO	0	0	0	0	0	0	3.620	12,9234	16,15425
	EL-CERRITO	251.606	898,23342	1122,7918	0	0	0	36.492	130,27644	162,84555
	EL-DOVIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FLORIDA	92.423	329,95011	412,43764	0	0	0	0	0	0
	GINEBRA	562.510	2008,1607	2510,2009	0	0	0	109.000	389,13	486,4125
	GUACARI	916.336	3271,3195	4089,1494	28.700	102,459	128,07375	272.272	972,01104	1215,0138

	GUADALAJARA-DE-BUGA	742.480	2650,6536	3313,317	0	0	0	1.054.827	3765,7324	4707,1655
	JAMUNDI	627.670	2240,7819	2800,9774	24.000	85,68	107,1	246.339	879,43023	1099,2878
	LA-CUMBRE	330	1,1781	1,472625	16.500	58,905	73,63125	29.371	104,85447	131,06809
	LA-UNION-V	674.643	2408,4755	3010,5944	0	0	0	45.460	162,2922	202,86525
	LA-VICTORIA-V	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OBANDO	265.900	949,263	1186,5788	0	0	0	0	0	0
	PALMIRA	940.551	3357,7671	4197,2088	0	0	0	818.074	2920,5242	3650,6552
	PRADERA	0	0	0	0	0	0	672.000	2399,04	2998,8
	RESTREPO-V	103.800	370,566	463,2075	25.000	89,25	111,5625	0	0	0
	RIOFRIO	208.166	743,15262	928,94078	0	0	0	0	0	0
	ROLDANILLO	245.567	876,67419	1095,8427	0	0	0	0	0	0
	SAN-PEDRO-V	702.082	2506,4327	3133,0409	60.000	214,2	267,75	1.684.116	6012,2941	7515,3677
	SEVILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TORO	33.000	117,81	147,2625	0	0	0	0	0	0
	TRUJILLO	0	0	0	0	0	0	10.000	35,7	44,625
	TULUA	471.002	1681,4771	2101,8464	0	0	0	487.192	1739,2754	2174,0943
	ULLOA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VERSALLES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VIJES	0	0	0	30.000	107,1	133,875	70.000	249,9	312,375
	YOTOCO	278.260	993,3882	1241,7353	0	0	0	22.812	81,43884	101,79855
	YUMBO	29.988	107,05716	133,82145	0	0	0	340	1,2138	1,51725
	ZARZAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VAUPES	CARURU	0	0	0	0	0	0	4.000	14,28	17,85
	MITU	0	0	0	0	0	0	2.000	7,14	8,925
	PACOA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PAPUNAHUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TARAIRA	0	0	0	0	0	0	2.000	7,14	8,925
	YAVARATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VICHADA	CUMARIBO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LA-PRIMAVERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PUERTO-CARRENO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTA-ROSALIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0

De la anterior tabla se puede consultar cualquier municipio de Colombia y observar que tan viable es implementar esta tecnología en ese lugar.