REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

USO DE SISTEMAS ANAEROBIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS APARTIRDE BIOMASA

PRESENTADO POR:
Tatiana Cañas

TUTOR:
Juan Sebastián Arcila

Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Católica de Manizales
2019

Tabla de contenido

1. Capítulo

1.1. Resumen.....4
1.2. Introducción…….....5
1.3. Planteamiento delproblema…….....6
1.4. Objetivos...……....6
1.5. Marco teórico……....7
1.6. Política de las energías renovables no convencionales 9
1.7. Metodología……..9

2. Capítulo. Potencial energético de las principales cadenas productivas agrícolas de Caldas

2.1. Energía eléctrica en Colombia …….....11
2.2. Potencial de biomasa en Colombia…….....15
2.3. Plan Indicativo de Expansión de Cobertura PIEC 2013-2017….....18
2.4. Demanda energética en Colombia
2.5. Producción agrícola del departamento de Caldas…….19
2.6. Sector agrícola del departamento de Caldas…….20
2.7. Cultivos más representativos del departamento……...……...23
2.8. Características fisicoquímicas de los diferentes desechos y su composición…….....29
2.9. Cantidad de residuos producidos por cultivo……....34
2.10. Consolidado de cantidad de biomasa producida en Caldas……...38

3. Capítulo. Digestión anaerobia

3.1. Etapas de la digestión anaerobia……...41
3.2. Factores relevantes de operación en la digestión anaerobia de residuos sólidos……..42
3.3. Desechos agrícolas de la región cafetera empleados para la digestión anaerobia……...44
3.4. Potencial energético de los sustratos agrícolas ……....46
3.5. Rendimiento de los diferentes residuos……47

4. Capitulo

4.0. Conclusiones……66
4.1. Convenciones……...68
4.2. Bibliografía……..69

TABLAS

1. Demanda de energía a nivel regional 2016-2017…….....18
2. Resultados plan indicativo de energía eléctrica en Colombia 2013-2017……....19
3. Cultivos agrícolas del departamento de Caldas …….....22
4. Área sembrada y cosechada de café en Caldas …….....25
5. Área sembrada y cosechada de plátano en Caldas…….....26
6. Área sembrada y cosechada de caña panelera……28
7. Compuestos químicos de la pulpa de café……..31
8. Composición teórica de residuos foliares……..32
9. Composición química de la pulpa y la cascara de plátano…….33
10. Composición química de los principales subproductos …….....34
11. Residuos obtenidos del beneficio del café……..35
12. Consolidado de cantidad de residuos producidos en Caldas , por los cultivos de café, plátano, y caña panelera……...39
13. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación ……44
14. Potencial de biogás que posee los diferentes residuos de café……...48
15. Investigaciones realizadas en cuanto a la digestión anaerobia de
16. residuos de café……..48
17. Residuos de la caña panelera con sus contenidos de carbohidratos y producción de metano……55
18. Investigaciones realizadas en cuanto a la digestión anaerobia de residuos de caña panelera…….....56
19. Residuos de plátano con características ST, VS y producción de metano..……..60
20. Convenciones……68

Figuras

1. 10 mejores en crecimiento y desarrollo económico , sostenibilidad ambiental, acceso a la energía y seguridad……13
2. Informe environmental perfomace index (EPI)……..14
3. Disponibilidad de recursos energéticos en Colombia…….15
4. Capacidad efectiva de generación de energía por tipo de combustible..15
5. Aproximación del potencial energético de la biomasa residual en Colombia ……17
6. Comportamiento de la demanda energética anual en Colombia hasta el año 2017……..18
7. Área sembrada y cosechada de café en caldas 2017……...25
8. Área sembrada y cosechada de plátano en Caldas 2017…….27
9. Área sembrada y cosechada de caña panelera en Caldas 2017……..29
10. Etapas de la digestión anaerobia ……42

Capítulo 1

1.1 Resumen

El presente trabajo de investigación está encaminado al uso y aprovechamiento de los residuos agrícolas provenientes de las diferentes actividades económicas que se realizan en nuestro entorno y que a su vez dejan como subproducto este tipo de biomasa, esto se hace con el fin de hacer uso eficiente de este residuo para la generación de energías limpias, para garantizar un medio ambiente más limpio y apropiado para nosotros y futuras generaciones, la investigación se realizara en el departamento de Caldas teniendo en cuenta los cultivos de café, plátano, y caña panelera del departamento, y analizando sus respectivas características. El desarrollo del trabajo se realizará por medio de una revisión bibliográfica la cual estará orientada al análisis de la tecnología de digestión anaerobia para la utilización de la biomasa, como fuente de energía. De tal manera se analizará las diferentes características físicas y químicas del desecho tales como: Carbohidratos, lípidos, celulosa entre otros. La información será tomada de los diferentes portales del ministerio de minas y energía, y realizando búsqueda de artículos en bases de datos (SCOPUS), PROQUEST, AMBIENTALEX.

Abstrac

This research work is aimed at the use and use of agricultural waste from different economic activities that are carried out in our environment and that in turn leave this type of biomass as a byproduct, this is done in order to make efficient use of this waste for the generation of clean energies, to ensure a cleaner and more appropriate environment for us and future generations, the research will be carried out in the department of Caldas taking into account the coffee, plantain, and sugarcane crops of the department, and analyzing their respective characteristics. The development of the work will be carried out through a bibliographic review which will be oriented to the analysis of anaerobic digestion technology for the use of biomass, as an energy source. In this way, the different physical and chemical characteristics of the waste will be analyzed, such as: Carbohydrates, lipids, cellulose, among others. The information will be taken from the different portals of the mines and energy ministry, and searching for articles in databases (SCOPUS), PROQUEST, AMBIENTALEX.

Palabras claves: Digestión anerobia, biomasa agricola, potencial energetico,

1.2 Introducción

Actualmente se ha venido evidenciando un incremento en las actividades agrícolas y con ello los residuos que resultan de estas actividades tales como (paja, cachaza, hojas, cascaras, aguas mieles entre otros), estos residuos han venido ocasionando impactos importantes al medio ambiente, específicamente al suelo y a las fuentes hídricas. Si bien los impactos ambientales y sociales generados por la mala disposición de los residuos agrícolas se da principalmente por el desconocimiento de estrategias que se puedan implementar para el aprovechamiento y reutilización de estos residuos.

A diario se producen cantidades de desperdicios, tanto en las ciudades como en las zonas rurales. Teniendo en cuenta que la mayor parte de estos residuos son de carácter orgánico y constituyen la denominada "Biomasa Residual", se puede llegar a comprender el hecho de que estas grandes cantidades de residuos, que no se aprovechan y que contaminan el ambiente, pueden constituir un enorme potencial para la producción de energía. La biomasa residual ofrece una perspectiva favorable de aprovechamiento ya que se produce de forma continua y creciente como consecuencia de la actividad humana.(Atlas potencial energético de la biomasa residual en Colombia 2011)

La biomasa residual está conformada por los subproductos que se generan durante los procesos de recolección y transformación de las cosechas, estos son definidos como residuos agrícolas de cosechas y residuos agroindustriales, estáncompuestos principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno los cuales reaccionan exotérmicamente cuando el residuo cede energía por ende estosaportan ventajas al esquema energético de cualquier país, la utilización de residuos para producir energía presenta beneficios de carácter ambiental, como lo es una considerable reducción de su volumen, eliminación de plagas, incendios forestales y olores, mejoras al paisaje y reducción de la contaminación del aire, agua, y suelo. (Fernández J., 2009)

Uno de los métodos de transformación de la biomasa agrícola como fuente de energía es la digestión anaerobia el cual es un proceso de biometización en el que se utilizan bacterias naturales para descomponer la materia orgánica, de este proceso se obtiene productos con valor, como el biogás y el compost. El compost tiene potencial de comercialización para su utilización como fertilizante orgánico. El biogás producido en sistemas de digestión anaeróbica puede ser valorizado, tanto a través de la generación de energía eléctrica y térmica, que puede ser usada para autoconsumo o comercializada, la digestión anaerobia ofrece varias ventajas como una solución ambientalmente segura para el tratamiento de residuos, y también reducción de la huella de carbonó entre otras ventajas.

La presente investigación se enfoca en el uso y aprovechamiento de los residuos agrícolas del departamento de Caldas específicamente los residuos de café, plátano, y caña de azúcar siendo estos los cultivos más representativos del departamento y los cuales se denominan

como permanentes en el departamento, esto se hace con el fin de generar estrategias de aprovechamiento de estos residuos por medio de la digestión anaerobia para la generación de energías alternativas.

La Agricultura en el departamento de Caldas ocupa el segundo lugar en su economía, este sector representado en su mayoría por el cultivo de café con 68.969 ha de áreas sembradas, convirtiendo a Caldas en el segundo productor a nivel nacional con el (15%), después de Antioquia, su principal procesadora de grano a nivel departamental se encuentra en Chinchiná; en segundo lugar se tiene el plátano con 23.245 ha de áreas sembradas, y le sigue la caña de azúcar 14.939 ha de áreas sembradas (AGRONET 2017). De los anteriores cultivos se producen alrededor de 11.507.022 t/año (Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia)de residuos al año lo que significa que los residuos agrícolas en el departamento podrían ser una alternativa de aprovechamiento para la generación de energía en el departamento.

También es importante resaltar que dentro del departamento de Caldas se encuentran asentadas comunidades indígenas específicamente en los municipios de Riosucio y Supia, estas comunidades poseen problemáticas en el componente de residuos sólidos, esta problemática está asociada a la falta de conciencia y conocimiento de técnicas de aprovechamiento y reutilización, actualmente en el plan de vida de los resguardos del municipio de Riosucio se tienen proyectos de implementación de sistemas de aprovechamiento de la materia orgánica que se produce en las diferentes actividades agrícolas. Los resguardos también cuentan con asociaciones como (AIPAN) que es la asociación indígena de paneleros, (ACICAFE) asociación de productores de café. Agenda ambiental comunidades indígenas de Caldas 2017)

1.3.Planteamiento del problema

La biomasa residual del sector agrícola en Caldas, podría ser un sustrato de alto interés para la producción de biocombustibles gaseosos mediantes procesos de digestión anaerobia

1.4. Objetivos

Objetivo general

Identificar el potencial uso de sistemas anaerobios, para la producción de energía a partir de biomasa proveniente de residuos agroindustriales en el departamento de caldas

Objetivos específicos

- Reconocer cual es la demanda energética de Colombia.
- Conocer la cantidad de biomasa agrícola que se produce en el departamento de Caldas.
- Analizar la tecnología de digestión anaerobia para la utilización de la biomasa, como fuente de energía.

1.5 Marco teórico

Durante gran parte de la historia de la humanidad y hasta la revolución industrial, la biomasa ha servido para cubrir las necesidades de calor e iluminación tanto en la vida cotidiana como en las distintas industrias. Se utilizaba para cocinar, calefaccionar, hacer cerámica, producir metales y, posteriormente, para alimentar las máquinas de vapor. Estos nuevos usos que progresivamente requerían una mayor cantidad de energía en un espacio cada vez más reducido promocionaron el uso del carbón como combustible sustitutivo a mediados del siglo XVIII. Desde ese momento se empezaron a utilizar fuentes energéticas con un mayor poder calorífico, y el uso de la biomasa declinó hasta mínimos históricos. Actualmente según datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ´algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles. (Centrales de energía Biomasa- 2016)

En la actualidad y pensando en las preocupaciones mundiales por la conservación del medio ambiente, en particular lo relacionado con las emisiones de gases que contribuyen al efecto de invernadero y la disposición de residuos agroindustriales han impulsado el desarrollo de diversas tecnologías que buscan la utilización de fuentes renovables de energía, dentro de las cuales se encuentra el aprovechamiento de bosques maderables, plantas oleaginosas y la optimización de procesos industriales para la utilización de los residuos orgánicos de la agroindustria. (Centrales energía Biomasa- 2016)

La utilización de la biomasa como fuente energética no es nueva, por el contrario, esta se ha aprovechado desde el descubrimiento del fuego, como fuente de luz y calor en las cavernas (madera, turbas y aceites vegetales), hasta la utilización de grandes cantidades de madera en el sector residencial, comercial, en la industria metal mecánica y de alimentos hacia los siglos 18 y 19, y en máquinas y barcos de vapor aún a principios del siglo 20. Sin embargo, en los últimos doscientos años la energía para el sector residencial e industrial ha tenido como fuente el carbón e hidrocarburos (petróleo y gas) y solamente en el tercer mundo, la población más pobre, sigue utilizando biomasa como fuente energética, de manera intensiva y sin criterios claros de renovabilidad.

La biomasa ha venido siendo estudiada y se ha identificado que tiene atributos y un potencial energético que además de ayudarnos a mitigar los efectos del cambio climático

nos permite mejorar la calidad de vida de miles de colombianos a través de la generación de empleo, como fuente alimentaria y por supuesto, en generación eléctrica.

Pero también se debe tener en cuenta que la biomasa posee algunas desventajas como lo es su naturaleza, la cual posee una baja densidad relativa de energía; en pocas palabras se necesita una buena disponibilidad de recursos para ser capaces de obtener potencia. Para solucionar este problema, las centrales ubican sus procesos de conversión cerca de las materias primas de biomasa, tales como granjas, aserraderos, trapiches de caña panelera, etc. Aún no existe una plataforma económica y política generalizada para facilitar el desarrollo de las tecnologías de biomasa, en cuanto a impuestos, subsidios y políticas que cubren, por lo general, el uso de hidrocarburos. Los precios de la energía no compensan los beneficios ambientales de la biomasa o de otros recursos energéticos renovables. El potencial calórico de la biomasa es muy dependiente de las variaciones en el contenido de humedad, clima y la densidad de la materia prima. (Centrales energía Biomasa- 2016)

La utilización de la biomasa, frente a los hidrocarburos, presenta ventajas comparativas que la hacen atractiva para su utilización en procesos de generación de energía, térmica, motriz o eléctrica, bien sea en sistemas centralizados, en sistemas de generación de energía distribuida o para zonas no interconectadas. (UPME, 2003)

Colombia tiene un gran potencial en biomasa de residuos agrícolas (banano, cascarilla de arroz, pulpa de café, y desperdicios de animales) pero se están realizando estudios con el bagazo de caña, puesto que este produce 1,5 millones de toneladas anuales. También se está estudiando la cascarilla de arroz que produce 457.000 toneladas al año. (Centrales energía Biomasa- 2016)

El potencial utilizable de biomasa en Colombia es de alrededor de 449.800 PJ/año (Zapata, 2010). Estos se pueden dividir en 3 categorías: Residuos Agrícolas de los Cultivos (RAC) de palma africana, caña de azúcar, caña panelera, café, maíz y arroz con un total de 330.350 PJ/año, Biomasa Residual Pecuaria (BRP) de los sectores bovino, porcino y avícola para un total del de 117.748 PJ/año y Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de centros de abasto, plazas de mercado y poda con un total de 608 PJ/año, y un gran total de 449.800 PJ/año.

En 2016, en Colombia se generaron 65.935 GWh de electricidad en el Sistema Interconectado Nacional, de los cuales 597,81 GWh fueron generados a partir de biomasa, lo cual equivale al 0,9 % del total producido, siendo el bagazo y el biogás las fuentes principales de materia prima para la generación eléctrica. Además, el sector industrial del país utiliza un 16% de este energético para la generación de calor industrial, elemento indispensable para la producción del sector.

Gracias a los estímulos de la Ley 1715 actualmente en Colombia hay 11 proyectos en diferentes zonas del país que generan 40 MW a partir de la biomasa.

Proyectos como la planta de Bioenergy, que aporta el 38% del etanol que se produce en el país, o la recién inaugurada Planta Incubadora Santander, que aporta 4,4 MW de energía eléctrica, son claros ejemplos del potencial energético de la biomasa en Colombia.

En un trabajo conjunto entre el Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, se desarrolla un estudio que permitirá mejorar el conocimiento de los recursos y el potencial de la biomasa en el país. Particularmente las oportunidades en biogás, biometano, biocombustibles, y los residuos de cultivos como el banano, el arroz, el café y otras actividades silvícolas, ubican al país como el tercero en América Latina en generación de biomasa de todos los tipos.

“Somos conscientes de que aún tenemos muchos retos por cumplir y la sostenibilidad energética del país es una de nuestras prioridades. De acuerdo con algunos escenarios indicativos de la UPME, la matriz energética del país para los próximos años podría llegar a incluir hasta un 50% de fuentes no convencionales de energía, siendo la biomasa una de nuestras grandes apuestas” concluyó el Ministro Arce.

1.6. Política de la Energías renovables no convencionales

Con el objeto de promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Se crea la Ley 1715 de 2014, "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.", que busca además, promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

El Ministerio de Minas y Energía a través de esta sección de su Portal WEB pone a disposición de la ciudadanía los decretos que se han expedido en el marco de la reglamentación de la Ley 1715 de 2014.

- **Resolución MinAmbiente 1312 de 11 agosto de 2016**, "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones".
- **Resolución Min Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016**, "Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que

tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones".

- **Decreto 2143 de 2015,** "Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014".
- **Resolución UPME 0281 de 2015**, "Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala".
- **Resolución CREG 024 de 2015**, "Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)".
- **Decreto 1623 de 2015,** "Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas".
- **Decreto 2492 de 2014,** "Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda".
- **Decreto 2469 de 2014,** "Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración"

1.7. Metodología

La realización de revisión bibliográfica se desarrollará en varias fases, en la primera fase se ejecutara la investigación del potencial energético en Colombia con el fin de identificar como se encuentra el país en oferta y demanda; tal investigación se realizará en los geo portales del ministerio de minas y energía, y realizando revisión de la (UPME) unidad de planeación minero energética. La segunda fase se enfocará en el sector agrícola del departamento de Caldas, teniendo en cuenta los cultivos más representativos de la región, e identificando cuál es el potencial de biomasa que se genera en la región, esta información se obtendrá en documentos públicos del departamento, artículos relacionados y proyectos implementados.

En la última fase se analizaran las características del desecho como lo son (Carbohidratos, proteínas, lípidos, celulosa) del desecho, también se realizara la revisión bibliográfica del uso energético del sustrato correspondiente de los 3 cultivos más representativos del departamento, tal revisión se realizara en diferentes bases de datos, obteniendo artículos en inglés y español que puedan aportar información para el desarrollo de la investigación.

Capítulo 2

Potencial energético de las principales cadenas productivas agrícolas de Caldas

2.1 Energía eléctrica en Colombia

Actualmente Colombia se posiciona en el noveno país más competitivo en cuanto a producción energética según el último informe de ***Global Energy Competitiveness 2015*** el cual tiene como objetivo proporcionar datos para ayudar a los líderes a comparar el desempeño actual de los sistemas energéticos nacionales, este informe fue lanzado en 2015 y ha evolucionado para incluir los últimos datos de energía disponibles de 125 países. El informe mostro que Colombia ocuparía el noveno puesto entre 144 naciones, por detrás de países de primera línea como Suiza, Noruega, Francia, Nueva Zelanda, España, Suecia, Dinamarca y Austria, y por delante de Portugal, Costa Rica y Reino Unido. El estudio evalúa el desarrollo económico del país, en conjunto con su sostenibilidad, y la seguridad en el acceso a la energía y figurar entre los diez primeros países del mundo (y ser el primero de Latinoamérica).

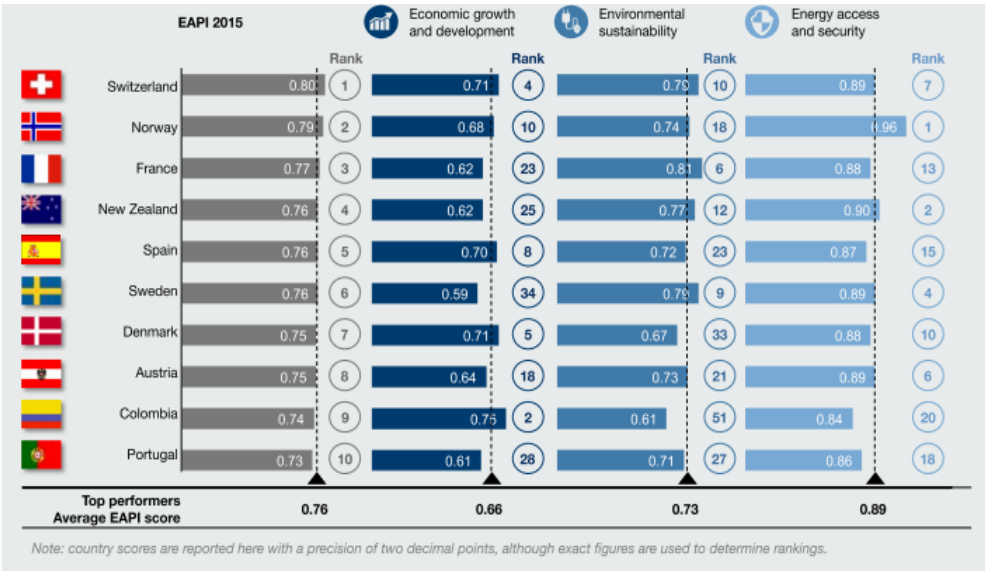

Figura 1. Se muestra los 10 Mejores países en Crecimiento y desarrollo económico, Sostenibilidad ambiental, Acceso a la energía y seguridad
Fuente: Global Energy Competitiveness (2015)

Este éxito se refleja en el desempeño de EAPI de Colombia, con el país logrando el 9º lugar y liderando a otros países de América Latina y el Caribe por un amplio margen. Su puntuación es particularmente alta para el crecimiento económico y el desarrollo (0,75), donde ocupa el segundo lugar en el índice, y para el acceso a la energía y la seguridad (0,84). Como exportador neto de petróleo, Colombia ha explotado con éxito sus recursos naturales con fines económicos, como lo destaca su alta puntuación en las importaciones de combustible por (PIB) Producto interno bruto (0,89).

Otro estudió que puede dar una visión de cómo esta Colombia a nivel energético es ***Environmetal Performance Index (EPI***) el cual es un informe de índice de desempeño ambiental de 2018 que se realiza a 180 países en 24 indicadores que cubren la salud ambiental y la vitalidad del ecosistema, dentro de estos indicadores se tiene Energía y clima, la posición actual de Colombia es 85 con un puntaje de 85.01. Estos puntajes se determinaron por medio de las emisiones de los gases de efecto invernadero ya que los sistemas globales de energía y transporte liberan gases que atrapan el calor en la atmosfera que calientan la superficie del planeta y degradan la salud pública.

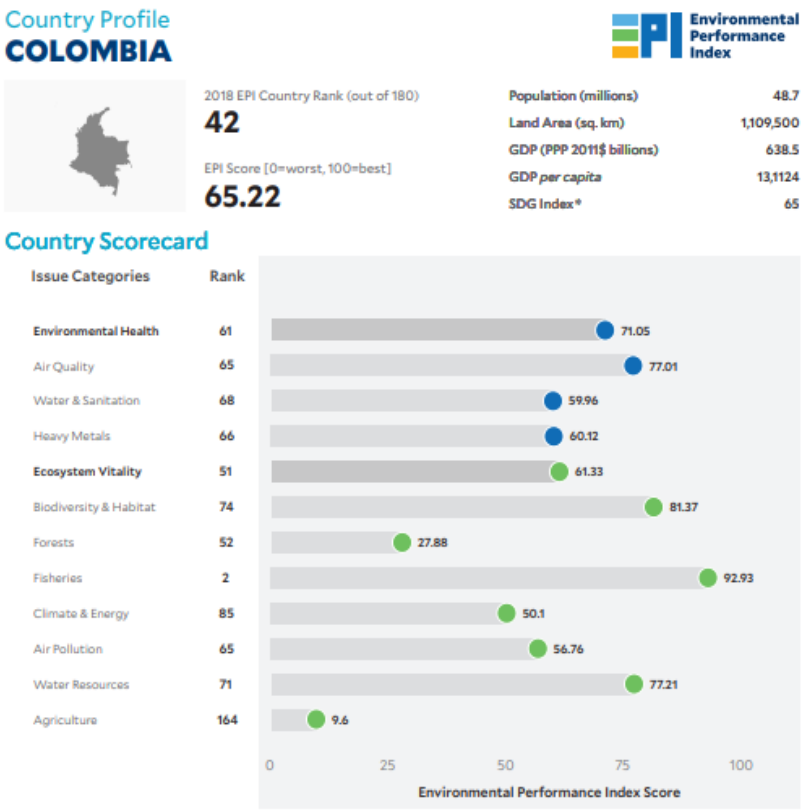

Figura 2: Informe environmetal performance Index (EPI)

Fuente:Environmental Performance Index (2018)

Estos informes pueden dar un panorama a nivel energético para Colombia, y pensar que tan cerca o lejos se está de alcanzar los ODS, específicamente el séptimo el cual es Energía asequible y no contaminante, el documento CONPES 3934 de 2018plantea unas metas a 2030 las cuales dicen que se debe aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias, Colombia en el año 2015 tenía una línea de base en el objetivo de energía asequible y no contaminante de 96,9% de cobertura de energía y la meta nacional a 2018 era 97,2% correspondiente a 13.595.192 usuarios, la meta a 2030 es tener una cobertura de energía al 100%.

La generación de energia de Colombia se da principalmente por medio de hidroelectricas , ya que la oferta hidrica del pais es seis veces superior a la oferta mundial y tres veces mayor que la de latinoamerica, esto quiere decir que Colombia es uno de los paises del mundo con mayor cantidad de ecosistemas que producen agua, el 86,01% de le generación de energia se realiza por medio de este recurso, el resto se genera principalmete de combustibles fosiles como el gas que genera un 9,29% de electrcidad, 3,60% carbón, en

menor proporcion se tiene el ACPM con un 0,02%, Red solar 0,01%. (UPME_Boletín año 2018)

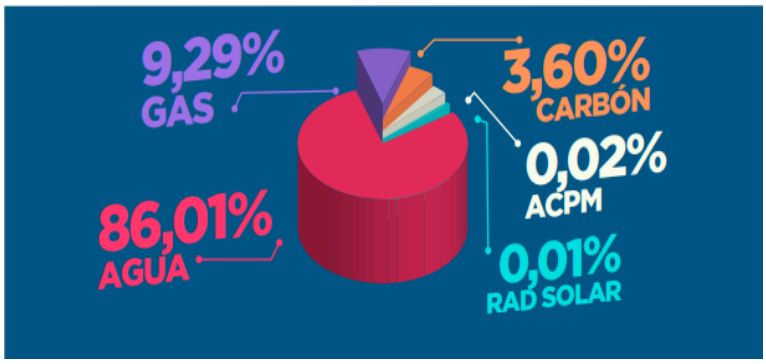

Figura 3: Disponibilidad recursos energéticos en Colombia

Fuente: UPME (2018)

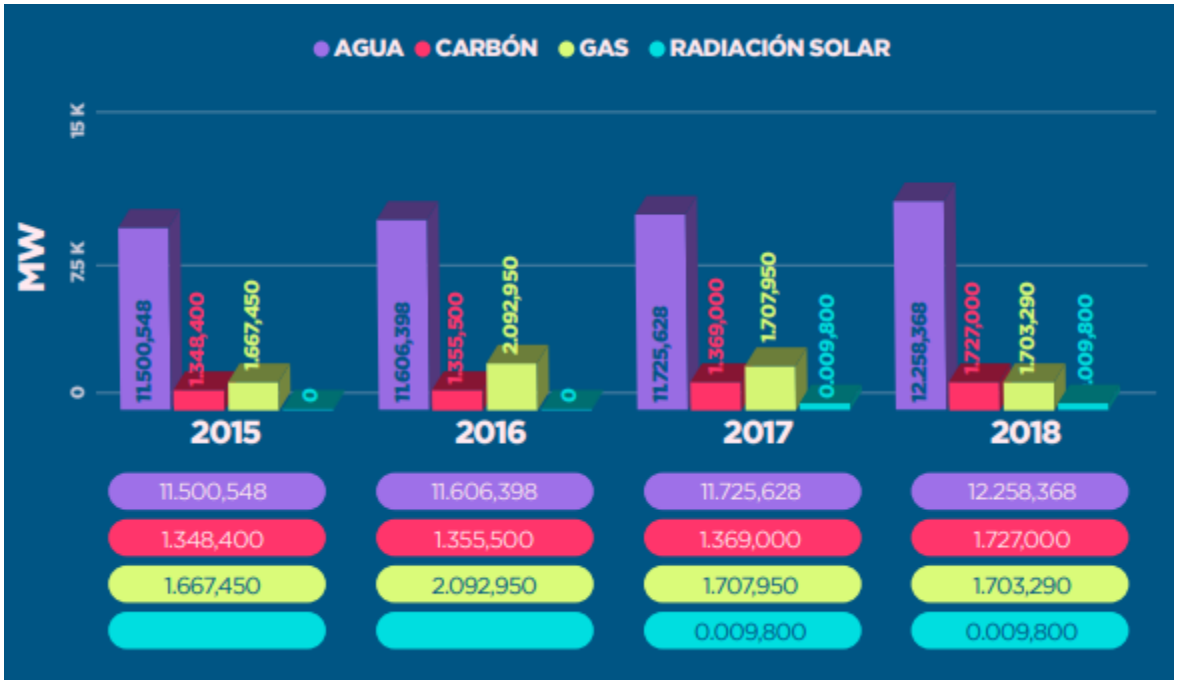

Figura 4: Capacidad efectiva de generación por tipo de combustible

Fuente: UPME (2018)

Se puede observar que a partir del año 2017 se empezó a implementar la generación de energía por medio de radiación solar, este recurso actualmente tiene inscritos 325 proyectos en la UPME (Unidad de planeación minero energético) los cuales generaran alrededor de 3.729,19 MW de energía que será llevada principalmente a los lugares no interconectados del país.

2.2 Potencial de biomasa en Colombia

Teniendo en cuenta las actuales circunstancias que se han presentado en los últimos años en Colombia en temas como el crecimiento poblacional, impactos ambientales y sociales que se están generando en las zonas aledañas a proyectos de generación de energía, las actuales dinámicas climáticas que se están evidenciando, el déficit de electricidad que se tiene en las zonas apartadas o no interconectadas del país, hacen necesario la implementación de políticas y estrategias que le apuesten a las energías alternativas que sean eficientes, que generen seguridad energética al país y sostenibilidad ambiental. Es por ello que en 2011 la unidad de planeación minero energética (UPME) creo el atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia , en el que se recopila el potencial de los cultivos energéticos y su potencial energético, en Colombia se reportan 29 millones t/año de biomasa residual agrícola, procedentes del bagazo de caña de azúcar y panelera, cascarilla de arroz, fibra de cocotero, pulpa de café, palma de aceite, frijol, caña de azúcar y cebada, los cálculos indican que esta biomasa puede tener un potencial de capacidad energética de aproximadamente 12.000 MWh/año. (Atlas de potencial de biomasa en Colombia, 2011). Teniendo en cuenta el potencial de biomasa que Colombia posee podría generar grandes ventajas en las poblaciones aisladas y contribuir al desarrollo rural y al cuidado del medio ambiente.

Teniendo en cuenta el boletín estadístico de minas y energía del 2018, se pudo identificar que en el año 2015 se empieza a generar electricidad por medio del bagazo de caña teniendo una producción de energía de **513,9** GWh, para el año 2016 se incorpora la BIOMASA como fuente alternativa de generación de energía con 597,81 GWh, esto equivale al 0,9 % del total producido, siendo el bagazo y el biogás las fuentes principales de materia prima para la generación eléctrica, en el año en el 2018 Bagazo vuelve a tener una importante participación en la generación de energía del país **339,4** GWh y adicional a esto ya se encuentran inscritos en la unidad de planeación minero energética 11 proyectos de generación de energía por medio de la biomasa con una capacidad de **35,70 MW** lo que equivale a un 0,25% de energía. (Boletín estadístico de minas y energía, 2018). El bagazo de la de la caña de azúcar ha incursionado en la generación de energía desde 1925, y hoy en día el sector cuenta con 11 plantas de cogeneración que han requerido inversiones de más de US$400 millones y que dan firmeza al sistema eléctrico colombiano de manera sostenible con el medioambiente. En Colombia existen 14 ingenios de los cuales 6 tiene plantas de bioentanol y 11 cogeneran es decir, generan energía para su consumo, además de proveer electricidad para la red de interconexión nacional, según información de Asocaña. (Fedebiocombustibles).

El potencial utilizable de biomasa en Colombia es de alrededor de 449.800 PJ/año (Zapata, 2010). Estos se pueden dividir en 3 categorías: Residuos Agrícolas de los Cultivos (RAC) de palma africana, caña de azúcar, caña panelera, café, maíz y arroz con un total de 330.350

PJ/año, Biomasa Residual Pecuaria (BRP) de los sectores bovino, porcino y avícola para un total del de 117.748 PJ/año y Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de centros de abasto, plazas de mercado y poda con un total de 608 PJ/año, y un gran total de 449.800 PJ/año.

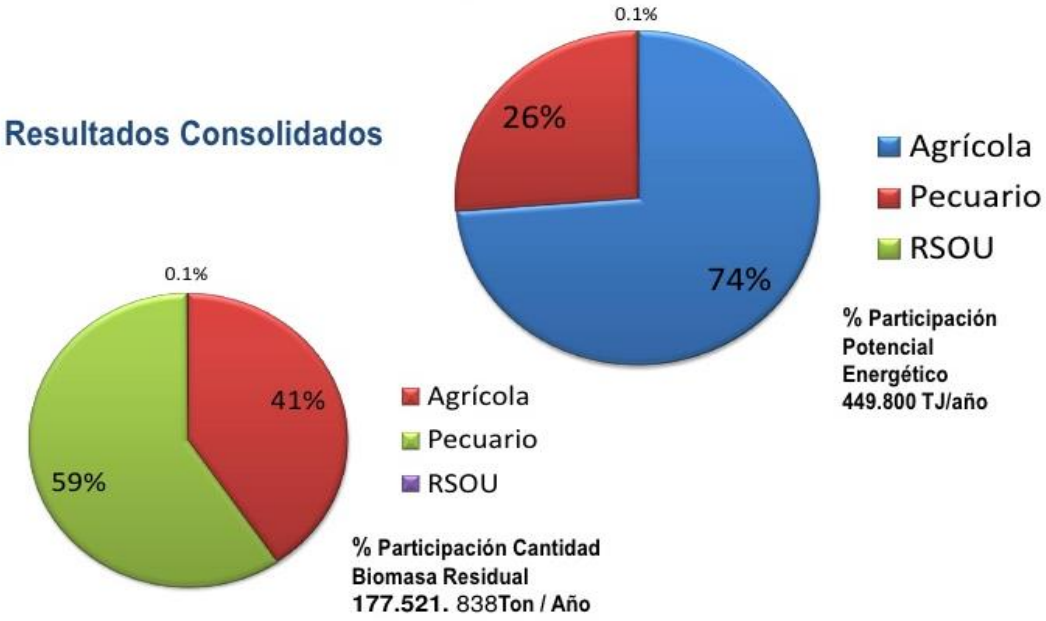

Figura 5. Aproximación del potencial energético de la biomasa residual en Colombia (2012)

Fuente: UPME (2012)

2.4. Reconocer cual es la Demanda energética en Colombia

En el año 2017 la demanda de energía eléctrica del SIN (Sistema interconectado Nacional) creció 1.3% respecto al año 2016, con un consumo de 66,893 GWh, este crecimiento obedece principalmente a la recuperación de los hábitos de consumo en el sector residencial y pequeños negocios, acorde con el comportamiento observado del consumo de energía en el mercado Regulado y a una menor escala en el mercado no regulado donde el consumo de energía no reacciona, debido posiblemente a la baja producción, aspecto que se observa en la conformación del PIB de estas actividades en los primeros tres trimestres de 2017.

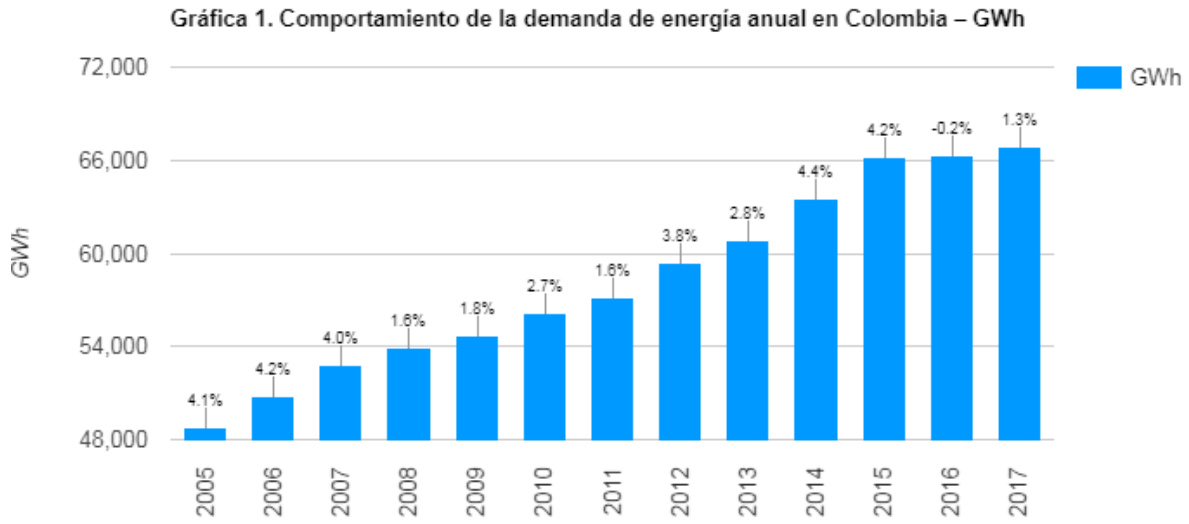

Figura 6: Muestra el comportamiento de la demanda de energía anual en Colombia hasta el año 2017

Fuente: Informe de operación del SIN (2017)

A nivel regional con excepción de la región del Valle y Antioquia, se observa un crecimiento en el consumo de la demanda comercial de energía como se muestra en Tabla 1. Respecto a la región de Antioquia este decrecimiento se debe especialmente al mercado no regulado y al crecimiento desacelerado del mercado regulado, mientras que para la región del Valle este decrecimiento es de forma generalizada, es decir, para el mercado regulado y el no regulado.(Informe del SIN 2017)

Tabla 1. Demanda de energía a nivel regional 2016- 2017

Comportamiento de la demanda de energía comercial en 2016 y 2017 a nivel regional (GWh)				
Región	**2016**	**Crecimiento**	**2017**	**Crecimiento**
Centro	16,259.1	-1.6%	16,491.5	1.9%
Antioquia	9,290.0	-0.8%	9,190.8	-0.6%
Costa Atlántica	15,274.4	1.8%	15,802.9	3.8%
Valle	7,285.4	1.2%	6,960.1	-4.0%
Oriente	6,930.9	0.5%	6,967.4	0.9%

CQR	2,680.4	0.3%	2,672.0	0.1%
THC	2,725.1	1.4%	2,770.1	2.0%
Sur	1,896.7	1.6%	1,927.2	2.0%
Chocó	241.4	5.2%	243.2	1.1%
Guaviare	54.9	6.8%	56.0	2.3%

Fuente: Informe SIN 2016- 2017

2.4Plan Indicativo de Expansión de Cobertura PIEC 2013-2017

El Ministerio de Minas y Energía expidió el Decreto 388 de 2007 que se denominó de universalización del servicio de energía eléctrica, el cual propendió, mediante una planeación indicativa del sistema eléctrico de distribución, definir para cada población la mejor opción para atenderla, con un estimativo de costos de la infraestructura necesaria para incrementar su cobertura. El decreto y su reglamentación, propenden por la interacción de los actores del proceso de universalización del servicio y por la organización en la asignación de recursos financieros del Estado.

Estas directrices fueron incorporadas en la elaboración del Plan Indicativo de Expansión de Cobertura PIEC 2013-2017, que como resultado indicó una inversión necesaria de $4.3 billones para extender el servicio de energía eléctrica a 470.244 viviendas que se estimó no contaban con dicho servicio a diciembre de 2012, con el fin de alcanzar la universalización de este servicio en Colombia.

El plan indicativo de expansión identifico que el total Nacional de Viviendas Sin Servicio (VSS) se estimó en un valor de 470.244, las viviendas sin servicio a nivel urbano corresponden a 37.734 y a nivel rural a 432.511. Dicho dato se convierte en el objetivo del Plan Indicativo de Cobertura, dado que éste busca estimar las inversiones que se requieren para ampliar el servicio a estas viviendas con la mejor opción económica. (PIEC, 2013-2017).

Tabla 2.Resultados Plan Indicativo de Energía Eléctrica en Colombia 2013 – 2017.

Estado actual cobertura	Número de usuarios	Número de viviendas	Número de viviendas sin servicio	Cobertura	Déficit de cobertura
	11.594.208	**12.064.452**	**470.244**	**96,10%**	**3,90%**

Fuente: Plan Indicativo de Energía Eléctrica en Colombia

Cabe resaltar que para cubrir aquellas áreas no interconectadas y disminuir el número de viviendas sin servicio eléctrico, el pasado 11 de marzo del presente año el Ministerio de Minas y Energía, a través del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, Fenoge, lanzaron el programa Colombia E2, con el que se busca fortalecer la industria de las energías renovables, apoyando soluciones innovadoras y sostenibles que contribuyan a aumentar el acceso a la energía en algunas regiones del país. Con esta iniciativa se quiere impulsar la legalidad, el emprendimiento y la equidad en las regiones más apartadas del país.(iNNpulsa Colombia, 2019)

2.5 Producción agrícola en el departamento de Caldas

El territorio caldense se localiza en la parte centro-occidental del país, en la región andina. Comprende áreas predominantemente montañosas, que hacen parte de las cordilleras Central y Occidental; posee al oriente zonas planas y onduladas pertenecientes al valle medio del río Magdalena, y al occidente los valles de los ríos Risaralda y Cauca. El bloque montañoso central corresponde al macizo volcánico de la cordillera Central de los Andes. Cuenta además con pisos térmicos desde cálido hasta nival; goza de suelos fértiles y pluviosidad adecuada, lo cual le ofrece grandes posibilidades en términos de diversificación agrícola y de utilización del suelo. Caldas se ubica equidistante entre el norte y el sur del país, enmarcado entre los polos de desarrollo y de crecimiento industrial, correspondientes al denominado triángulo de oro, constituido por Bogotá, Medellín y Cali, ubicación geográfica privilegiada que le permite un gran intercambio comercial con estos centros.

La estructura económica del departamento está basada en tres sectores económicos, el primero es el sector de servicios sociales, comunales, y personales con una participación promedio del 24%, en segundo lugar se ubica la actividad agropecuaria silvicultura y pesca con un 20%, cuya evolución ha sido influenciada por la producción cafetera. El tercer sector es la industria manufacturera, cuya participación en el PBI departamental es el 12%, su principal subsector es la fabricación de productos alimenticios**. (**PGAR 2016- 2019)

2.6Sector agrícola del departamento de Caldas

La agricultura en Caldas ocupa un segundo lugar en su economía, este sector representado en su mayoría por el cultivo de café, convirtiendo a Caldas en el segundo productor a nivel nacional con el (15%), después de Antioquia, su principal procesadora de grano a nivel departamental se encuentra en Chinchiná; además del café se cultivan otros productos como el plátano, la macadamia, feijoa, la caña de azúcar, soya, limón, granadilla, aguacate, remolacha, pepino cohombro, caña panelera, habichuela y zanahoria, entre otros.

El café se ha convertido en el primer sector económico del departamento; este cultivo ha favorecido los mayores cambios en la ecología paisajística. Actualmente el comité de cafeteros reporta 91.421,5 hectáreas sembradas; entre los cultivos que siguen en importancia al café figuran el plátano tradicional, la caña panelera, los frutales, papa y maíz entre otros.

Situación de la frutas en el departamento

En Caldas la producción de frutales ha venido aumentando desde 1990 a tasas superiores al 10% en el área sembrada y en la producción. El departamento de Caldas cuenta con áreas y suelos aptos para la producción de una gran variedad de frutales de clima frío con la calidad necesaria para satisfacer los mercados nacionales e internacionales. En los últimos años la producción de frutales se ha venido integrando a las necesidades agroindustriales existentes, empresas como Empresas como Passicol, Frugy, Coldes y Frutasa las cuales han venido apoyando y fortaleciendo la siembra de frutas como maracuyá, mora, lulo, papaya y tomate de árbol, entre otras. La comercialización de estos frutales se ha basado en contratos de suministros con asociaciones y compra directa con los productores. (Desarrollo frutícola de Caldas., 2006)

En los municipios de la Región Centro – Sur, en las zonas marginales bajas cafeteras, se ha presentado un aumento de las siembras de guayaba tipo pera y manzana como acompañantes de la gama de cítricos para los mercados de Medellín y Bogotá. En frutas exóticas, se tiene la granadilla con aumentos anuales del 25% del área, realizado por emigrantes del municipio de Urrao – Antioquia, los cuales dieron inicio a la cultura de la siembra de esta passiflora en los municipios de Anserma y Aguadas.

Uso del suelo, área cultivada, tipos de cultivos y actividades

En el año 2016, de acuerdo con los datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria-ENA, el área cultivada en Caldas fue de aproximadamente 655.832 hectáreas. Las actividades con una mayor participación fueron para uso pecuario (63,79%), uso en bosques (18,96%), uso agrícola (16,08%) y otros usos (1,16%).

Tubérculos y plátano

En la categoría de tubérculos y plátano, el cultivo más representativo es el plátano, tanto en el total de hectáreas cultivadas como en la producción total. El plátano presenta más de 88 mil toneladas de producción y cerca de 14 mil hectáreas cultivadas. En un segundo orden, con una menor representatividad, se encuentra el cultivo de yuca y de papa.

Cereales

En cuanto al cultivo de cereales el más representativo es el maíz amarillo tanto en el total de área plantada como en la producción. En segundo lugar, el cultivo de maíz blanco. Con respecto al cultivo de arroz y otros cereales lamentablemente no hay información disponible. El maíz amarillo tiene más de 3 mil toneladas de producción y mil hectáreas de área plantada.

Hortalizas, verduras y legumbres

Para el caso de las hortalizas, verduras y legumbres los cultivos más representativos son el tomate y el frijol tanto en el total de hectáreas cultivadas como en la producción total, sin embargo es el tomate que registra una producción mucho más alta, cercana a los 49 mil toneladas. En un segundo orden de relevancia se encuentran los cultivos de habichuela, ají, zapallo y guatila.

Frutales

En la categoría de los frutales el cultivo más representativo es el aguacate, con más de 80 mil toneladas de producción y cerca de 12 mil hectáreas de área plantada. En un segundo orden se encuentran cultivos como naranja, banano, guayaba, guanábana y mandarina, con más de las mil hectáreas de área.

Tabla 3.Se presentan los cultivos agroindustriales del departamento de Caldas con su respectiva área planta, y producción.

Cultivos agroindustriales	Area Plantada (hectaréas-ha)	Producción (toneladas-t)
Café	66.400	102.725
Cacao	1.799	1.079
Caucho	2.509	7
Caña Panelera	6.805	30.757
Otros agroindustriales (caña de azúcar, palma africana, fique, entre otros)	521	-
Tuberculos y platano		
Platano	13.996	88.857
Yuca	24	719
Papa	162	711

Otros tuberculos (arracacha, ñame, bore, achiras, entre otros)	6	2
Cereales		
Arroz	-	-
Maiz amarillo	1.046	3.547
Maiz Blanco	283	266
Otros cerales (avena, cebada,sorgo,trigo, entre otros)	-	-
Hortalizas, verduras y legumbres		
Arveja	-	6
Cebolla	-	-
Frijol	652	966
Tomate	813	48.832
-Otras hortalizas, verduras y legumes (habichuela,ají, zapallo,guatila, entre otros)	149	790
Frutales		
Aguacate	11.900	82.921
Naranja	3.853	28.285
Guayaba	1.688	14.208
Banano	2.214	12.731
Guanabána	1.795	8.225
Mandarina	1.035	5.771
Limon	937	1.700
Otros frutales (piña, papaya, manzana, fresa, coco, lima, durazno, entre otros)	65	989
Maracuyá	205	862
Lulo	125	387
Mora	97	369
Tomate de árbol	28	-
Pitahaya	28	-

Fuente: Boletín económico departamento de Caldas 2018

2.7. Cultivos más representativos del departamento

Café

El departamento de Caldas actualmente ocupa el segundo lugar como productor de café a nivel nacional, con el 11.2% de la producción y aportando al PBI 12.6% para el año 2002. En Caldas se producen al año 1.907.000 sacos de 60 kilos del café de exportación, en 90.985 hectáreas, con la participación de 41.730 cafeteros. La distribución de los cultivos de café según las variedades sembradas en el departamento es: A nivel departamental en promedio el 14% del área en café corresponde a variedad típica, el 42% a caturra y el 44% a variedad Colombia, con promedio de árboles por hectárea de 2.242, 4.588 y 5.687 respectivamente. (Plan de gestión ambiental 2007-2019)

El 63 % de los productores de café son minifundistas lo que indica que laboran en fincas menores a 1.5 hectáreas. Otro 33.8% son cafeteros campesinos, (fincas entre 1.5 a 10 hectáreas) con un total de 48.165 has, siendo el café su principal fuente de ingresos y de subsistencia, se caracteriza porque aportan su mano de obra en la finca, adoptan parcialmente la tecnología, tienen poca escolaridad y obtienen bajos ingresos que complementan con cultivos asociados.

En relación a la comercialización de este producto, cabe mencionar que el café tradicionalmente se ha comercializado a través de cooperativas de caficultores con asiento en los municipios de mayor producción, que para el presente caso serían los municipios localizados en el departamento de Caldas, comercialización nacional se realiza a través de la ciudad de Manizales.

Municipios con área sembrada del cultivo de café en 2017

En el departamento de Caldas se presentan dos sistemas de cultivo: a libre exposición solar el cual es un sistema que se desarrolla en las zonas con suelos de buenas características físicas y de fertilidad y una apropiada disponibilidad de agua, la siembra de este tipo se realiza en surcos o hileras a traves de la pendiente. El otro sistema es el sombrío que está compuesto por especies productivas y protectoras como él (plátano, guamo, y maderables) Estos producen hojarasca que conserva el suelo y aumenta la materia orgánica. A su vez, el sombrío amortigua el impacto de la lluvia, evitando procesos erosivos.(Guía ambiental sector cafetero 2007)

Tabla 4.Área sembrada y cosechada de café en Caldas 2017 (AGRONET)

Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada en (ha)	Producción	Rendimiento
Manizales	6.407	4.606	7.763	1,7
Anserma	6.345	4.707	5.950	1,3
Aguadas	4.290	3.379	3.986	1,2
Chinchiná	4.218	2.581	3.321	1,3
Pensilvania	4.192	3.614	4.264	1,2
Manzanares	3.757	3.004	3.164	1,1
Samaná	3.763	3.106	3.996	1,3
Pácora	3.554	2.625	1.729	0,7
Neira	3.455	2.552	3.441	1,3
Palestina	3.322	1.973	3.598	1,8
Otros municipios	25.865	19.706	27.457	1,4
TOTAL	68.969	51.855	68.668	1,3

Fuente: (AGRONET 2017)

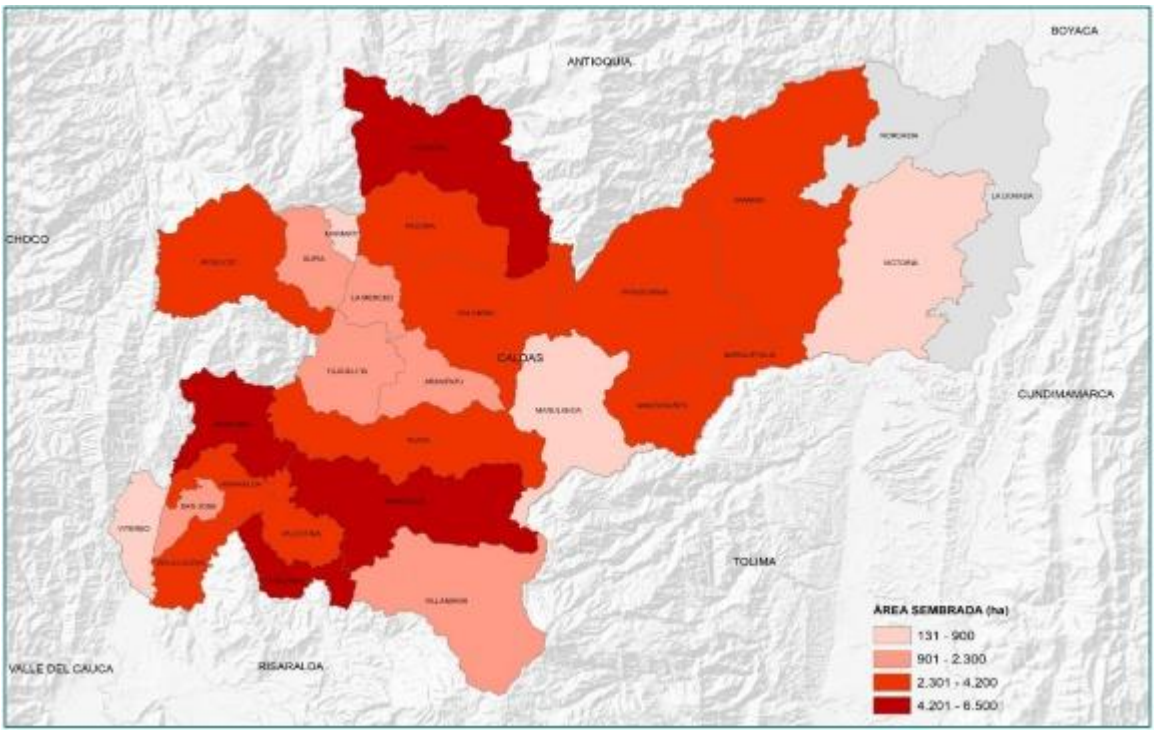

Figura 7.Área sembrada y cosechada de café en Caldas 2017 (AGRONET)

De las anteriores estadísticas podemos concluir que de los 27 municipios de departamento de Caldas, 25 son productores de café y los municipios con mayores extensiones de siembra de café se localizan en la zona centro sur de Caldas. Estos resultados demuestran que los municipios del departamento conservan hoy su dinámica alrededor del grano, permitiendo que el departamento se destaque por sus resultados en tecnificación y productividad de sus cultivos. El café en Caldas se cultiva en lugares con una precipitación que varía desde (7.500 m^3hasta 3.000 mm/anuales (30.000 m3 /ha), si bien el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1.200 a 1.700 metros, donde la precipitación pluvial anual es de 2.000 a 3.000 mm y la temperatura media anual es de 16º a 22º). (Plan de acción 2016- 2019).

Plátano

Las variedades de plátano, hartón, dominico y áfrica, son las más cultivadas en Colombia, principalmente en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda ya que han demostrado buena adaptación a sus condiciones agroecológicas (Me-neseset al., 2010). En el departamento de Caldas el área cultivable de plátano aumento aproximadamente de 22.500 hectáreas en 2015 a 23.100 en 2016, según datos de la Secretaría de Agricultura de Caldas, los productores del departamento tienen un potencial por crecer e incentivar aspectos como la producción y la apertura a nuevos mercados internacionales mediante implementaciones como las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). Los municipios donde se presenta la mayor cantidad de áreas cultivadas son Pensilvania, Pacora, Riosucio.

Asociado al cultivo del café se encuentra el plátano, que se ha convertido en la base de la alimentación tradicional y se ha destinado principalmente al autoconsumo. Sin embargo, los excedentes que ocasionalmente se generan se comercializan en los centros poblados vecinos.

Es importante tener en cuenta que esta práctica agronómica del corte de la planta de plátano para que otro cultivo crezca, genera día a día, cantidades de residuos que son descartados cerca de las orillas de los ríos o quebradas y en caminos, causando un problema ambiental significativo en las zonas de impacto(Grandaet al. , 2005)

Tabla 5. Tabla de área sembrada y cosechada de Plátano en Caldas 2017 (AGRONET)

Producción y rendimiento del cultivo de plátano en Caldas año 2017				
Municipio	**Área sembrada (ha)**	**Área Cosechada en (ha)**	**Producción (t)**	**Rendimiento (ha)**
Anserma	4.062	3.892	56.268	14,5
Belalcázar	3.020	2.940	38.220	13,0
Pácora	2.220	2.220	26.640	12,0
Salamina	2.061	2.046	14.322	7,0
Risaralda	1.750	1.610	20.310	12,6
Aguadas	1.550	1.505	10.535	7,0
Manizales	1.524	1.485	21.941	14,8
Neira	1.168	1.126	4.518	4,0
Supia	1.020	820	9.020	11,0
San José	876	706	10.498	14,9
Otros Municipios	3.994	3.303	38.098	11,5
TOTAL	23.245	21.653	250.370	11,6

Fuente: AGRONET (2017)

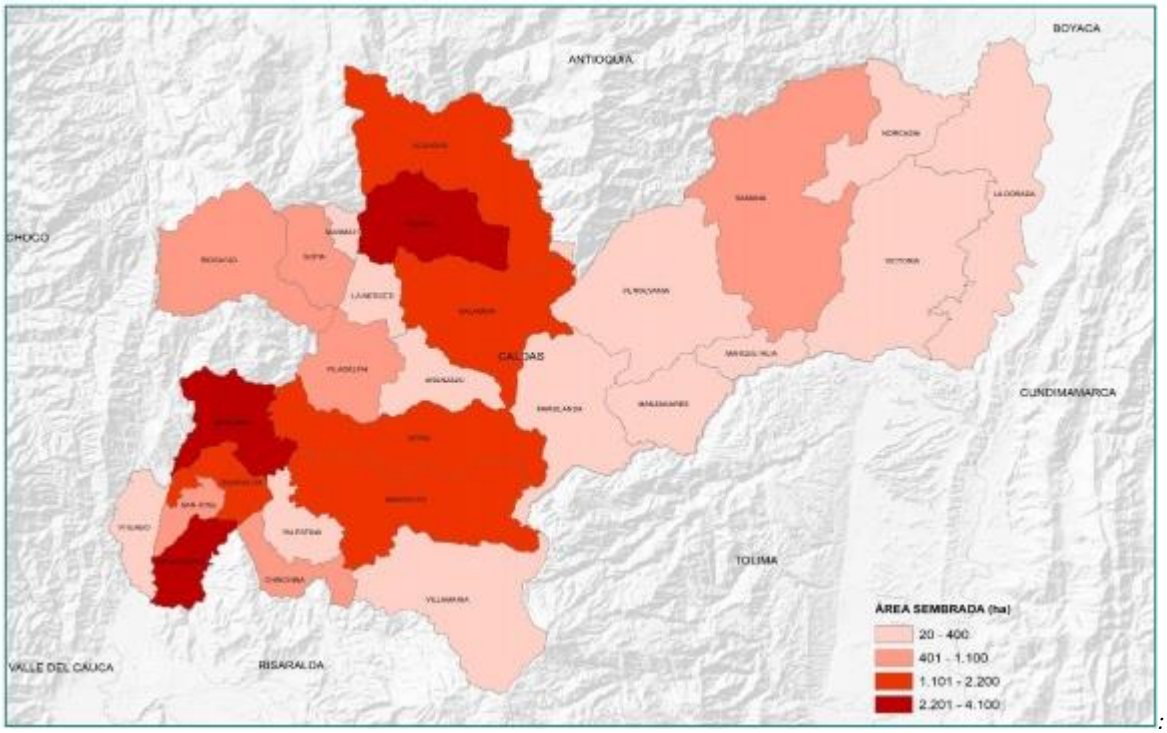

Figura 8:Área sembrada y cosechada de plátano en Caldas 2017

En la anterior estadística se puede concluir que todos los municipios del departamento de Caldas poseen cultivos de plátano, pero la mayoría de los municipios presentan áreas que van desde 20 a 400 (ha) de siembra de plátano lo que nos indica que son áreas

relativamente pequeñas, en comparación a los municipios de Anserma (4.022 ha), Belalcazar (3.020 ha), Pacora (2.220 ha), que son los municipios que presentan mayores extensiones de cultivo de plátano.

Caña de azúcar

La industria panelera en los departamentos de Caldas y Risaralda tiene importancia socio economica como renglón prioritaritario de 3.270 familias campesinas. El area sembrada en caña panelera en estos departamentos es de 12.603 hectáreas con una producción de 48.887 toneladas de panela anuales. La agroindustria genera alrededor de 13.000 empleos y produccciones promedio de 4 toneladas de panela por hectárea año. La panela es un producto básico en la alimentación diaria de la zona cafetera: Es un alimento natural que posee altos contenidos de azúcares,minerales, proteinas, vitaminas, grasas y agua. Tambien la caña es importante para el desarrollo del sector pecuario pues se utiliza como forraje en bovinos, esquinos y, el jugo, en alimentación de cerdos.

La caña es cultivada tradicionalmente mediante siembra por mateado y cosecha por entresaca, la siembra por mateado consiste en sembrar la calla, preferiblemente el cogollo o la punta de la mata de caña, en orificios realizados a una distancia de 50 a 80 cm aproximadamente entre si la cantidad de cogollos que se ubican en cada orificio varía entre 2 a 4. En la produccion de la panela se observan desventajas por la deficiencia en la infraestructura y maquinaria lo que genera emisiones contaminantes, sin embargo, la capacidad de resiliencia del ecosistema hace que dicha contaminación no genere efectos nocivos irremediables, el cultivo de caña en su producción y transformación generalmente es trabajado por la mano de obra familiar.

Desde el punto de la conservacion del medio ambiente es un cultivo bien adaptado a las condiciones de ladera, util para conservar el suelo y el agua, por el bajo uso de agroquimicos en su producción se puede clasificar como producto “biologico”, sin riesgo para la salud humana y con potencial para mercados de exportación a paises desarrollados que estan incrementando el consumo de productos biologicos.

Tabla 6.Área sembrada y cosechada de Caña panelera en Caldas 2017 (AGRONET*)*

Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de Caña panelera en Caldas 2017				
Municipio	**Área Sembrada (ha)**	**Área Cultivada (ha)**	**Producción (t)**	**Rendimiento (ha)**
Viterbo	2.883	1.850	26.955	10,4
Riosucio	2.533	1.560	9.450	4,5
Supia	2.075	1.050	7.820	4,0
Filadelfia	1.617	408	8.085	5,0
Samaná	1.340	625	4.455	4,5
Salamina	680	500	4.080	4,0
Manzanares	650	431	2.500	8,0
Pácora	550	400	4.400	6,2
Aguadas	485	300	2.945	5,0
Neira	462	442	2.210	
Otros municipios	1.664	941	9.757	6,6
TOTAL	14.939	13.503	82.657	6,1

Fuente: AGRONET (2017)

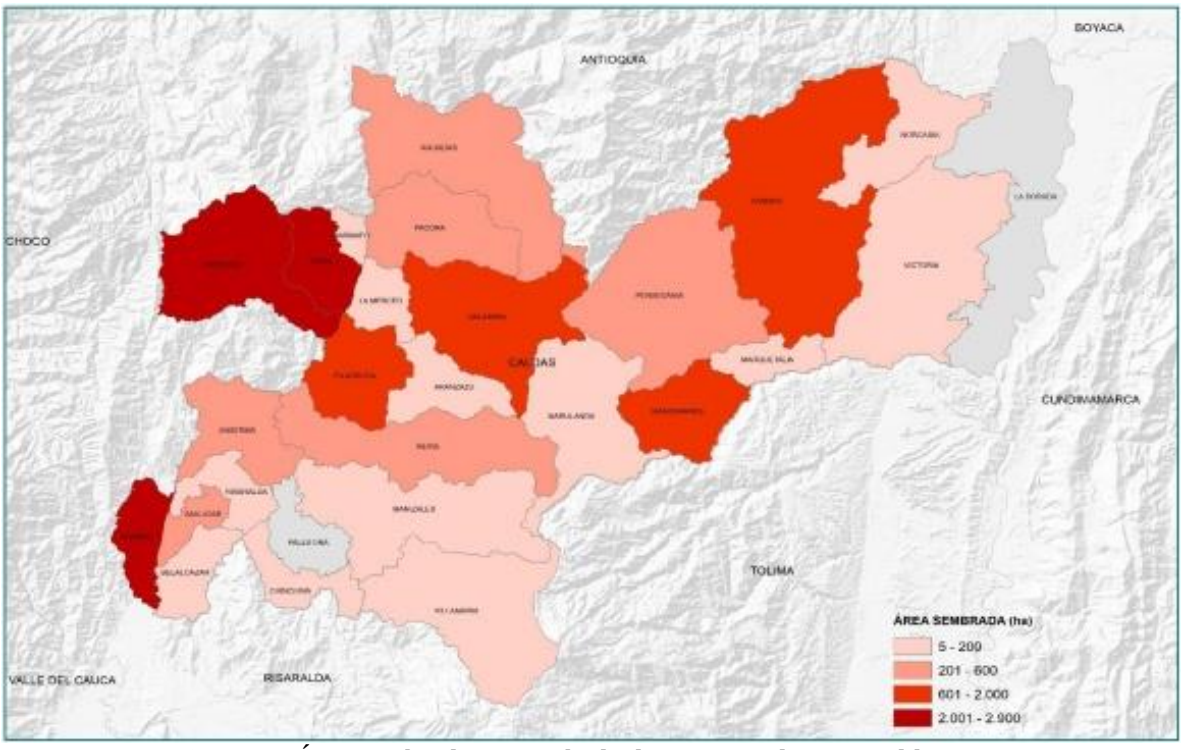

Figura 9: Área sembrada y cosechada de caña panelera en Caldas 2017

El departamento de Caldas esta conformado por 27 municipios, en 25 de ellos se produce la caña panelera destacandose Viterbo, Riosucio, Supia, esto se da principalmente a la altura de los municipios ya que la caña se cultiva desde 1.000 m.s.n.m hasta 2.000 m.s.n.m. Entre mas alto mas tarda en madurar, por lo que los rendimientos por hectarea son mas escasos,

los tallos son bajos y delgados. La altura ideal es de 1.500 m.s.n.m y por ende los municipios con mayores areas cultivadas son los que tienen una aproximación a tal altura.

Cabe resaltar que uno de los municipos donde se presenta mayor areas sembradas de caña panelera es el municipio de Riosucio, el cual cuenta con cuatro resguardos indígenas los cuales basan su economía en el procesamiento de la panela y en poca cantidad derivados de ella como alfandoques, panela pulverizada y colaciones, al interior de estas comunidades indigenas del departamento también se presentan problemáticas ambientales en lo que respecta con la mala dispocisión de los residuos agrícolas.

2.8 Características fisicoquímicas de los diferentes desechos y su composición

Café

Residuos generados de la industria del café

En el proceso del café se estima que menos del 5% de la biomasa generada se aprovecha en la elaboración de la bebida y otros productos, el resto queda en forma residual representado en materiales lignolelósicos como hojas, ramas y tallos, los cuales sirven de abono en el proceso de renovación de los cafetales; frutos verdes que se caen durante la recolección o que se retiran de la masa café recolectado; pulpa exocarpio del fruto, que representa aproximadamente el 44% del fruto fresco; y la borra o ripio, que se genera en las fábricas de producción de café soluble y cuando se prepara la bebida a partir del grano tostado y molido, que representa cerca del 10% del peso del fruto fresco y con un contenido de aceite entre 10% y el 15 % en base seca. (Valencia, Franco 2010)

Otros compuestos orgánicos que están presentes en la pulpa de café se muestran en el Tabla 7. Estas sustancias son de interés con respecto a su uso potencial como materia prima para uso industrial y para la formulación de dietas para animales, ya que se cree que estos compuestos son los responsables de la toxicidad observada en la pulpa de café. Los valores que se encuentran en la literatura para estas sustancias son variables. El contenido de cafeína puede ser de 0,51 % con base al peso seco (Jaffé y Ortiz 1952) aunque otros resultados han indicado valores de 1,3% (Bressani y col. 1972; citado por Braham, J. et al., 1978), éstos datos también calculados en base seca. Con respecto al contenido de taninos se han encontrado los siguientes valores en la literatura: 4,5% (Aguirre 1966), 1,44% (Jaffé y Ortiz 1952), y 2,4% (Malina y col. 1974). En lo que se refiere a los ácidos clorogénico y caféico, las cifras informadas han sido 2,71% y 0,31% (Malina y col. 1974), mientras que otros autores (Bressani y Elías 1976citado por Braham, J. et al., 1978) han encontrado valores de 2,6% y 1,6% para estos mismos compuestos, respectivamente. Debido a las implicaciones previamente descritas, se necesita información adicional sobre la

concentración de estas sustancias con el propósito de asociarlas con variedades de café, prácticas agrícolas o técnicas de procesamiento. El posible papel de estos compuestos en la utilización de la pulpa de café en nutrición animal, o por parte de la industria, se discute en otra parte de esta monografía.

Tabla 7: Compuestos químicos de la pulpa de café

Contenido de otros compuestos en la pulpa del café	
Compuesto	**Base seca %**
Taninos	1,80 – 8,56
Sustancias pécticas totales	6,5
Azucares reductores	12,4
Azucares no reductores	2,0
Cafeina	1,3
Ácido clorogénico	2,6
Ácido Cafeico total	1,6

Fuente: Recuperada de Pulpa de café (1978)

El otro subproducto de interés es el mucílago el cual se localiza entre la pulpa y la cáscara del grano de café y representa alrededor del 5% del peso seco de éste (Bressani y col. 1972, citado por Braham, J. et al., 1978). El mucílago constituye una capa de aproximadamente 0.5 a 2 mm de espesor que está fuertemente adherida a la cáscara del grano de café. Desde el punto de vista físico, el mucílago es un sistema coloidal líquido, liofílico, es decir un hidrogel. Químicamente, el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos. Durante la maduración del grano de café, el pectato de calcio, localizado en la laminilla media, y la protopectina de la pared celular son convertidos en pectinas.

Plátano

Residuos generados por la industria platanera

El plátano pertenece a la familia de las Musáceas, son nativas del sudeste asiático, y comprende las especies: Musa Cavendish (Bananos) y Musa paradisiaca (plátanos). (Gob.Est.Colima, 2005, citado por Mendieta, L. et al., 2010). Por su parte, las variedades de plátano Dominico-Hartón, Hartón, Dominico y Africa son las más cultivadas en el departamento de Caldas, ya que han demostrado buena adaptación a sus condiciones agroecológicas. (Gobernación de Caldas - Corpoica, 2005).

Cuando se cosecha el racimo, solo se está utilizando del 20 al 30% de su biomasa (Belalcazar C. et al., 1991, citado por Mendieta, L. et al., 2010), quedando de un 70 a 80% por utilizar, lo que ha generado una de las principales problemáticas ambientales, puesto que en la mayoría de los casos son incinerados o vertidos a los causes receptores sin

tratamiento previo, contribuyendo a la degradación del ecosistema; aunque, algunos productores aprovechan los residuos en la plantación en forma de abono verde y alimentación animal (Vidal F.I., et al., 2001).

Los principales residuos de la industria platanera son el pseudo tallo, raquis segundas y terceras del plátano.

El pseudo tallo: es una fuente de fibra y, en especial, las especies de Musa textilis de Musa (el abacá, manila, el cáñamo) sirven para hacer ropas, cordones, hilos, forros interiores de vehículos. La fibra común que se extrae de los pecíolos secos y el pseudo tallo de la planta son utilizados en la fabricación de ciertos papeles (INFOMUSA, 1994). También se han demostrado las propiedades antioxidantes del polvo del pseudo tallo, las cuales le confieren al producto cualidades promotoras de salud (Pérez M.R. et al., 2008).

Por su parte, el vástago o raquis, comúnmente se utiliza como alimento para ganado, pero también se ha venido utilizando en forma de harinas con el mismo fin; últimamente se han desarrollado productos para alimentación humana (INIBAP ,1997) y también pueden ser fuente de materiales fibrosos como papel, materiales de construcción y artesanías (Duque A. et al., 2000).

En lo que respecta a las segundas y terceras de plátano, en estado verde o maduro representan un 50% del plátano producido y comercializado en Caldas, lo que determina un alto volumen de producto comercializado a bajo costo (Gobernación de Caldas - Corpoica, 2005). A lo anterior, debemos sumar los plátanos que se deterioran por daños mecánicos (18,3%), y patológicos (23.9%) en los sitios de comercialización, al ser manipulados inadecuadamente. (Duque A. et al., 2000).

Tabla 8: Composición teórica de residuos foliares

Composición teórica de los residuos foliares (hojas y tallos) del plátano		
INDICE %	**Mínimo**	**Máximo**
Materia seca	91.78	93.71
Cenizas	11.31	15.94
Extracto etéro acidificado	2.49	4.23
Fibra bruta	40.15	43.96
Nitrogeno	1.19	1.85
Energia bruta MJ/kgMS	15.66	17.83

Fuente: Recuperada de revista educación e ingeniería (2010)

Tabla 9: Composición química de la pulpa y la cascara de plátano

Composición de la pulpa y cascara de plátano				
Índice % (MS)	**Plátano verde**		**Plátano Maduro**	
	Fruto	**Cascara**	**Fruto**	**Cascara**
Materia seca	2.0	18.0	20.0	13.0
Extracto libre	88.2	33.5	82.9	67.7
Proteína	5.5	9.5	5.6	7.0
Extracto etéreo	1.1	8.3	0.9	7.0
Fibra bruta	1.3	26.7	5.2	5.7
Cenizas	4.0	22.0	5.5	12.6

Fuente: Recuperada de revista educación e ingeniería (2010)

Tanto la composición de los residuos de hojas y tallos como la de los frutos del plátano, presentan un porcentaje de fibra bruta alto, al igual que su porcentaje de proteína, lo que hace necesario que todo el potencial que presentan estos residuos sea aprovechado adecuadamente.

La mejor combinación para la producción de las enzimas ligninoperoxidasa y manganesoperoxidasa es la conformada por hojas-tallos de plátano *Musa paradisiaca*. Estas enzimas tienen muchas aplicaciones en el campo del tratamiento de aguas residuales, en el proceso de blanqueamiento durante la elaboración del papel, en la degradación de colorantes, etc. Este sustrato para la producción de estas enzimas resulta muy económico, se aprovechan residuos de poco valor comercial y no requiere la adición de medios enriquecidos para favorecer el desarrollo del microorganismo, haciendo muy viable económicamente la purificación de estas enzimas y su comercialización.

Caña de azúcar

Los residuos generados por la industria panelera

Es inmenso el potencial de la caña de azúcar y de los subproductos industriales derivados de la elaboración de azúcar y panela. La melaza, el bagazo, el cogollo o las puntas de caña pueden ser usados en la alimentación de animales en las zonas tropicales y subtropicales, gracias al alto nivel tecnológico de su cultivo y, consecuentemente, a su alto rendimiento (Sierra, 1981, citado por GAIBOR J. 2013). Teniendo en cuenta el gran volumen de subproductos que se pueden aprovechar, su potencial aún está por constatar, ya que por cada tonelada de panela se obtiene una tonelada de subproductos, cuya utilización en alimentación animal ha sido bien documentada (Becerra, 1992, citado por GAIBOR J. 2013). Además de sus subproductos, la caña completa también es utilizable. En épocas de escasez de pasto, la caña picada puede ser suministrada como única fuente de forraje para

los animales, suplementada con sales mineralizadas (Sierra, 1981, citado por GAIBOR J. 2013)

Los subproductos del procesamiento de la caña que son utilizables son los siguientes:

Cachaza

Es un subproducto en forma de torta, de color verde oscuro, obtenido por la acción de la temperatura en el momento de la clarificación del jugo durante la elaboración de la panela (CIMPA, 1994). Constituye cerca del 3% del residuo de la caña (Becerra, 1992 citado por GAIBOR J. 2013). Su uso es poco usual, puesto que su alto contenido de azúcares y agua lo hacen muy inestable. Al cabo de pocas horas se fermenta y puede producir desórdenes gástricos en los animales.

Melote

Se obtiene al deshidratar la cachaza. Representa de 25 a 34 kg por cada 1.000 kg de caña que entran al trapiche (Preston, 1987). En el melote se garantiza un tiempo mínimo de conservación de dos meses y la estabilidad de sus características nutricionales. El melote tiene color café oscuro, consistencia pastosa, olor característico y alta densidad (CIMPA, 1994). Este producto es deficiente en contenido de proteína cruda, por lo que puede suplementarse con nitrógeno no proteínico (urea).

Bagazo

Éste se obtiene al extraer el jugo de la caña. Está formado por dos tipos de tejidos: uno de formación más compacta, llamado tejido fibroso, y otro de constitución menos densa, proveniente del parénquima vegetal, llamado meollo o bagacillo (Sierra, 1981, citado por GAIBOR J. 2013)). El bagazo representa cerca del 25% de la cosecha de caña. En los trapiches, luego de su procesamiento, el bagazo conserva el 50% de los azúcares, lo que, de alguna manera, es una ventaja para la alimentación de los animales (Becerra, 1992, citado por GAIBOR J. 2013), pero, al mismo tiempo, una pérdida para el productor panelero.

Tabla 10:Composición química de los principales subproductos de la caña panelera composición de los tres principales subproductos obtenidos de la caña.

Composición de los tres principales subproductos obtenidos de la caña			
Ítem	Cachaza %	Melote %	Bagazo %
Materia seca, %	25,16	53,66	95,3
Hierro,ppm	35.75	92.50	-
Proteína	1,8	2,9	5.25
Fibra cruda	1,5	2,2	15.1
Grasa (E.E)	1,2	1,9	23.1
Cenizas	1,5	2,9	1,94

Fósforo	0,03	0,07	-
Calcio	0,15	0,29	-
Sacarosa	17.09	30.00	
Azúcares reductores	2.52	6,80	

Fuente: Recuperada de uso de subproductos de la caña panelera (2005)

Por su disponibilidad, principalmente en zonas paneleras, los subproductos de la caña son de fácil utilización en la alimentación, no sólo de bovinos, sino también de otras especies animales. Además de ello, la caña puede brindarse completa al animal y complementar el pastoreo cuando los pastos son de baja calidad. También puede ser ensilada durante la época seca, pero teniendo en cuenta que, cuando se ensila sola, produce una fermentación de tipo alcohólico, indeseable por su alto contenido de azúcares (Sierra, 1981citado por GAIBOR J. 2013)).

2.9. CANTIDAD DE RESIDUOS PRODUCIDOS POR CULTIVO

En el sector agrícola se debe tener en cuenta que los residuos de la biomasa contienen una porción del producto principal del cultivo, esta fracción normalmente es mayor que la unidad.

- **Café**

En la industria del café el primer producto que se obtiene en el procesamiento del fruto se presenta en la siguiente tabla, y representa en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco. El promedio de la producción de pulpa es 2,25 t/ha-año. Por cada millón de sacos de 60kg de café almendra, se generan 162 t de pulpa fresca, que si no se utilizan adecuadamente producirán una contaminación equivalente a la generada durante un año.

Tabla 6. Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización de 1000 g de café cereza

Tabla 11: Residuos obtenidos del beneficio del café

Residuos obtenidos en el procesos de beneficio e industrialización de 1000g de café cereza		
Proceso	**Residuo Obtenido**	**Pérdida (en gramos)**
Despulpado	Pulpa fresca	436
Desmucilaginado	Mucílago	149
Secado	Agua	171
Trilla	Pergamino Película plateada	42
Torrefacción	Volátiles	22
Preparación bebida	Borra	104
Pérdida acumulada		**924**

Fuente: Recuperada de CENICAFE (2010)

En esta tabla 6 se representan los subproductos generados del procesamiento del café con sus respectivas cantidades representadas en g, lo que nos indica que en 1000g de producción de café se generan 924 g de residuos.

Para el departamento de Caldas se producen 68.969 toneladas de café al año, estas cifras están representadas en la tabla

Se obtiene 66,661.000 Kg/año de producción de café, pero se debe tener en cuenta que dentro de este valor va incluido el porcentaje de residuos que se generan por esta cantidad de producción. Para obtener un valor aproximado de la cantidad de residuos que se generan se realiza lo siguiente:

Teniendo en cuenta la tabla,

1000g $\longrightarrow$ 924 g, estos valores se convierten a Kg

Tenemos que si 1kg de café produce 0,924 kg de residuos, ¿cuantos residuos generan 66,661.00 Kg?

$$X=\frac{66{,}661{,}000\ Kg\ X\ 0{,}924kg}{1\ Kg}=\mathbf{61,594,764\ Kg}\ Residuos$$

Los residuos generados son 61,594.764 Kg/año lo que nos indica que el potencial de biomasa en el departamento de Caldas en la industria del café, puede ser una buena alternativa para la generación de energías renovables o biocombustibles ya que las propiedades que este desecho posee son óptimas y por ende se reducirían los impactos ambientales que estos generan al no ser aprovechados o reutilizados en otras actividades.

- **Caña Panelera**

De la industria de la caña panelera se obtiene un gran porcentaje de subproductos industriales los cuales son derivados de la elaboración de la panela, estos subproductos son La melaza, el bagazo, y el cogollo.

Para calcular la cantidad de residuos generados en esta industria, se tuvo en cuenta los datos suministrados por un artículo, el cual nos indica que "la cachaza constituye cerca del 3% del residuo de la caña" (Becerra, 1992citado por GAIBOR J. 2013), que el "Melote Representa de 25 a 34 kg por cada 1.000 kg de caña que entran al trapiche (Preston, 1987, citado por GAIBOR J. 2013), y por ultimo "El bagazo que representa cerca del 25% de la cosecha de caña. (Becerra, 1992, citado por GAIBOR J. 2013)

En el departamento de Caldas se producen 39,362 toneladas de caña de azúcar al año, estas cifras están representadas en la tabla

Conversión de t a Kg

$$39{,}362\ ton\ x\frac{1000kg}{1\ ton} = 39{,}362.000 Kg/\ año$$

Se obtiene 39,362.000 Kg/año de producción de caña panelera, pero se debe tener en cuenta que dentro de este valor va incluido el porcentaje de residuos que se generan por esta cantidad de producción. Para obtener un valor aproximado de la cantidad de residuos que se generan se realiza lo siguiente:

- 25 % de Bagazo 39,362 x 0, 25 = 9,840 t
- 30 % de Cachaza 39,362x 0,30 = 11,808 t

Para el calcular el valor del melote realizamos una regla de tres teniendo en cuenta que:

1000 Kg producen $\longrightarrow$ 32 kg de residuos

¿Cuantos kg de residuos producen 39,362.000 kg?

$$X = \frac{39{,}362.000\ Kg\ X\ 32kg}{1\ 000\ Kg} = 5{,}195{,}784\ Kg\ Residuos \text{ de melote}$$

Para calcular la producción de residuos se realiza la suma de los valores de la cachaza, melote, bagazo.

Total residuos = 9,840 t + 11,808 t = **21,648 t/año** Residuos

Se obtienen 21,648t/año de residuos generados por la industria panelera, lo que nos indica que en el departamento de caldas hay un gran potencial en cuanto a esta industria y que los subproductos pueden ser aprovechados de una forma fresca y productiva.

- **Plátano**

Los residuos de las cosechas de plátano son en su mayoría hojas, pseudotallos y restos de fruto. Las hojas y los pseudotallos contienen niveles importantes de ligninocelulosa, mientras que los restos de fruto presentan en su composición gran cantidad de micronutrientes.

Para calcular la cantidad de residuos generados en esta industria, se tuvo en cuenta los datos suministrados por un artículo, el cual nos indica que "cuando se cosecha el racimo, solo se está utilizando del 20 al 30% de su biomasa (Belalcazar C. et al., 1991), quedando de un 70 a 80% por utilizar, y generando grandes problemáticas ambientales.

En el departamento de caldas se producen 245.284 t/ año de producción de plátano.

Conversión de t a kg $$245{,}284 ton\ x \frac{1000 kg}{1\ ton} = 245{,}284.000 Kg/\ año$$

Se obtiene 245,284.000 Kg/año de producción de plátano, pero se debe tener en cuenta que dentro de este valor va incluido el porcentaje de residuos que se generan por esta cantidad de producción. Para obtener un valor aproximado de la cantidad de residuos que se generan se realiza lo siguiente:

Teniendo en cuenta que los residuos que se generan por cosecha de racimo de plátano son aproximadamente 80%, calculamos el 80% de la producción del departamento que son 245,284.000Kg.

- 80 % de residuos 245,284.000Kg x 0,8 = **196,227.200 Kg** de residuos de plátano.

Se obtienen 196,227.200 kg de residuos de plátano en el Departamento de Caldas, lo que nos indica que hay un gran potencial de biomasa en la industria platanera, la cual puede ser utilizada para generar alimentos para animales, u otros subproductos que se derivan de estos gracias a las propiedades que estos poseen.

2.10 Consolidado

Tabla 12: Consolidado de la cantidad de residuos producidos en Caldas, por los cultivos de café, plátano, y caña panelera

Cultivo	**Biomasa producida en Kg/ año**
Café	61,594.764 Kg/año
Plátano	196,227.200 Kg/año
Caña panelera	39,362.000 Kg/año

En la anterior tabla se muestra el consolidado total de biomasa que se produce en las atapas de poscosecha, recolección, y transformación de los cultivos de Café, plátano y caña panelera. Se puede observar que el cultivo que más produce residuos es el plátano ya que se debe tener en cuenta que cuando se cosecha un racimo de plátano solo se está utilizando del 20 al 30%, también hay que tener en cuenta los plátanos que se deterioran por daños mecánicos, o patológicos.

Capítulo 3

Digestión anaerobia

Actualmente a nivel nacional e internacional se ha venido observando un incremento en el volumen de residuos que contaminan el medio ambiente, específicamente los residuos sólidos generados por las actividades agrícolas.Según (Dávila et al.,(2012)la digestión anaerobia es una tecnología atractiva, de bajos costos y cuyos productos (biogás y bio-abono) generan viabilidad al proceso, siendo una alternativa de sostenibilidad ambiental en los países en vía de desarrollo. Esta tecnología constituye una solución viable para reducir el volumen y concentración de materia orgánica de los residuos, mejorando la calidad de los desechos.

La digestión anaerobia en los últimos años ha sido utilizada para diversos procesos entre los que se cuentan, el tratamiento de aguas residuales, tratamiento de residuos industriales (industrias licoreras, lechera, alimentaria, química, farmaceutica), residuos agrícolas (ganadería porcina, avícola, vacuno, residuos de granjas, biomasa resultante de cosechas) y residuos de tipo urbano, agua residual brutal, y fracción orgánica de residuos sólidos urbanos). Sin embrago algunos residuos agrícolas como caña de azúcar, café, plátano, evidencian altos contenidos de compuestos lignocelulosicos como celulosa, lignocelulosa y lignina, los cuales limitan los procesos de hidrolisis de la materia orgánica, lo cual disminuye el material metanogénico del residuo agroindustrial. (Acosta L. et al., 2005). Por lo tanto es necesaria la búsqueda de estrategias tecnológicas, microbiológicas, bioquímicas e ingenieriles que permitan mejorar el proceso de digestión anaerobia. En lo asociado con con pre tratamientos de hidrolisis y metanogenesis. Es importante saber que los residuos de café, caña de azúcar o panelera y plátano poseen contenidos de lignina de 23.4 % de 23.4%, celulosa 31.3 %, hemicelulosa 11.2%" (Battista. F, et al 2015)los cuales son compuestos difíciles de degradar y por ende se debe realizar pre tratamiento para lograr su degradación y una óptima producción de biogás.

La degradación de los lípidos en sistemas anaerobios comienza con la ruptura de las grasas por acción de enzimas hidrolíticas denominadas lipasas, las cuales producen ácidos grasos de cadena largo y glicerol. La velocidad de degradación de los compuestos lignocelulosicos, principalmente lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que puede ser la etapa limitante para el proceso de hidrolisis. Esto se debe a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos, y por ende tambiénafecta la degradabilidad de la celulosa, hemiceluosa, y otros de hidratos de carbono. Los principales productos de la celulosa en la hidrolisis son celobisa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos (Ortega., 2006).

Los pretratamientos fisicoquímicos se realizan principalmente para lograr una reducción del tamaño de las partículas, lo que genera un aumento en la tasa de hidrólisis, esta fase siendo la limitante del proceso, tendría un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactores menores. (Manual de biogás 2011)

3.1 Etapas en la digestión anaerobia para producción de metano

La digestión anaerobia de residuos agrícolas es el desarrollo tecnológico de procesos que ocurren espontáneamente en la naturaleza, las etapas fundamentales para que se desarrolle correctamente la oxidación anaerobia son, la hidrolisis en la cual el material particulado se convierte en compuestos solubles que puede hidrolizarse a monómeros simples los cuales son utilizadospor las bacterias que realizan la fermentación. La segunda etapa es la acidogenesis en la que los sustratos orgánicos sirven como donantes y aceptores de electrones. Los principales productos de la fermentación son acetato, hidrogeno, CO_2, propinato y butirato (Metcalf and Eddy). El propinato y butirato se fermentan más para producir también hidrogeno, CO_2y acetato. Así, los productos finales de la fermentación (acetato, hidrogeno y CO_2) son los precursores de la formación de metano (metanogénesis). Se requiere que el acetaro y el hidrogeno esté en bajas concentraciones en el sistema (0-2%) (Acosta et al, 2005) o la reacción no continuara. La tercera etapa es la metanogénesis que se lleva a cabo por un grupo de organismos conocidos colectivamente como metanógenos.

Para la producción de metano hay dos grupos de organismos metanogénicos que están involucrados, el primero se denomina metanógenos acetogénicos, los cuales dividen el acetato en metano y dióxido de carbono. El segundo grupo es el denominado metanógenos que utiliza hidrógeno como donador de electrones y CO_2como aceptor de electrones para la producción de metano. Las bacterias dentro de los procesos anaerobios, son nombradas acetógenos, también pueden usar CO_2para oxidar el hidrogeno y formar ácido acético. Sin embargo, el ácido acético se puede convertirá en metano producido en la digestión anaeróbica a partir de la formación de acetato (Metcalf and Eddy).En el proceso más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, ocupando sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano, comparado con el 50% empleado en los sistemas aerobios. En la figura 1, las cuatro fases son descritas （Drapcho 2008 citado por Bastidas 2011)

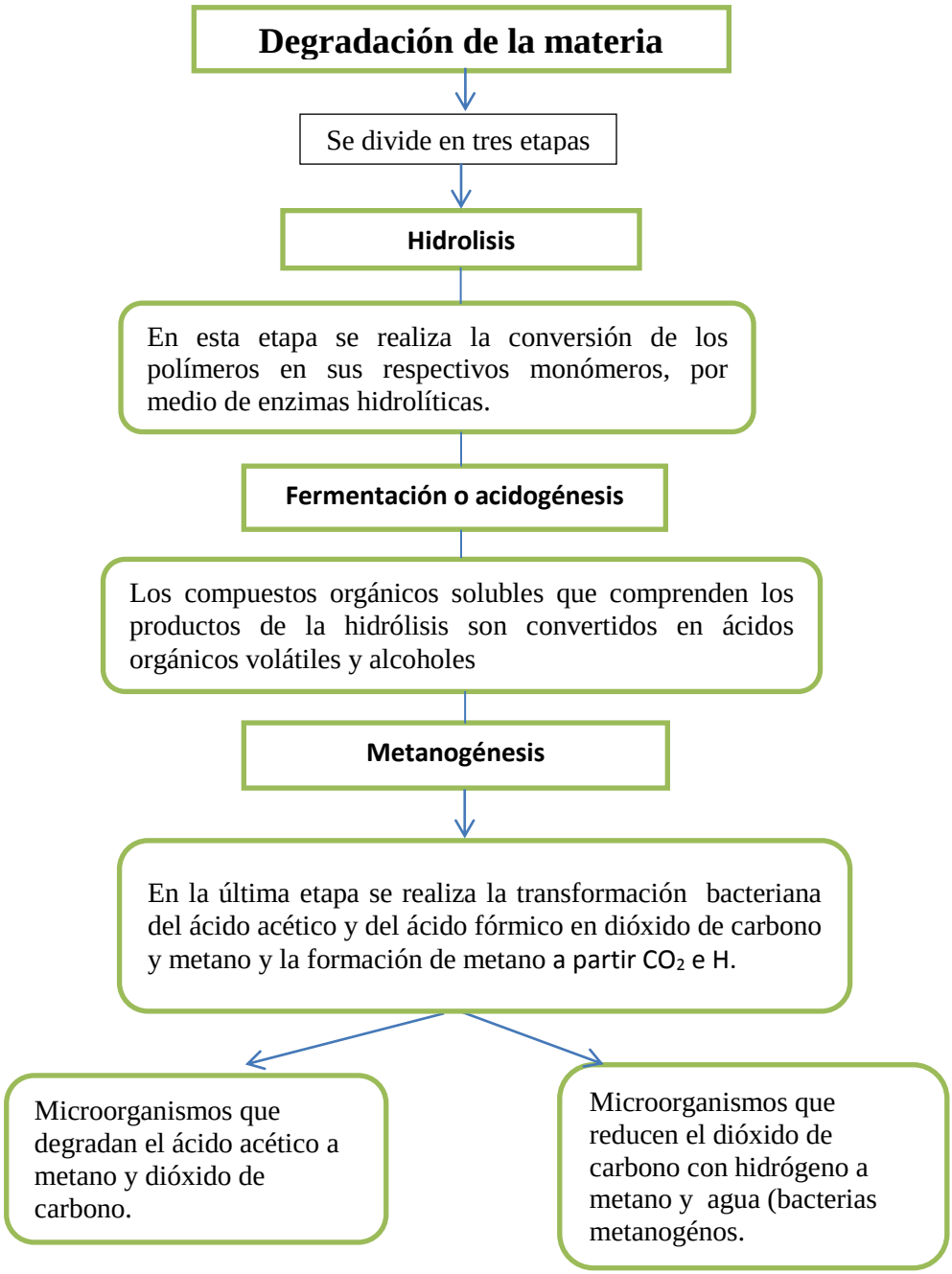

Figura 10: Etapas de la digestión anaerobia

No en todas las etapas de la digestión ocurre disminución de la demanda bioquímica de oxígeno(DBO). Así, la hidrólisis ocurre sin variación detectable de la DBO. En general,

durante la acidificación la disminución de la DBO es mínima. Por tanto, es en la metanogénesis donde ocurren las mayores disminuciones de la DBO4.

Las bacterias metanogenicas se pueden considerar como constituyentes del grupo biológico que determina el mayor o menor éxito del proceso ya que presenta una velocidad baja de crecimiento y los estrictos requerimientos de bajo potencial redox (-300 mV) y de pH (6,6 y 7,6,) asi como su alta sensiblidad a la inhibición por presencia de oxígeno molecular (Acosta L., et al.2005).

3.1 Factores relevantes de operación en la digestión anaerobia de residuos sólidos

pH y alcalinidad

El pH es un factor debe mantenerse próximo a la neutralidad, pudiendo tener fluctuaciones entre 6,5 y 7,5. Su valor en el digestor no solo determina la producción de biogás sino también su composición.

La relación de alcalinidad se define como la relación entre la alcalinidad debida a los ácidos grasos volátiles (AGV) y la debida al bicarbonato (alcalinidad), recomendándose nosobrepasar un valor de 0,3-0,4 para evitar la acidificación del reactor.

Temperatura

La temperatura de operación en el digestor, está considerada uno de los principales parámetros de diseño, ya que las variaciones bruscas de temperatura en el mismo, pueden provocar desestabilización en el proceso.Se distinguen dos rangos fundamentalmente, el rango *mesófilo* (entre 25 y 45ºC) y *termófilo* (entre 45 y 65ºC). El rango mesófilo es el más utilizado a pesar de que cada vez más se estáutilizando también el termófilo para conseguir una mayor velocidad del proceso y una mejoreliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el rango termófilo suele ser más inestablea cualquier cambio en las condiciones de operación y presenta además mayores problemas deinhibición del proceso por la sensibilidad a algunos compuestos, como el amoniaco.(Ghatak et al, 2014)

Factores inhibidores

En la digestión anaerobia existen compuestos y sustancias que actúan de forma letal sobre los microorganismos que llevan a cabo el proceso anaerobio. Se destacan sobre éstos, los

metales pesados fenoles, tiosulfatos, tiocianatos, cianuros, agentes oxidantes fuertes como cromatos y cloro, tensoactivos aniónicos, antibióticos, pesticidas y sales.(Acosta et al., 2005)

Estas sustancias reducen el rendimiento de la digestión e incluso pueden llegar a causar la desestabilización completa del proceso. A determinados niveles estos pueden generan serios problemas de inhibición sobre todo en combinación con niveles bajos de pH.

En los procesos de co-digestión anaerobia es importante regular el pH de 6.5-7.5 ya que es el óptimo para que las bacterias metanogenicas puedan trabajar adecuadamente. De acuerdo con (Bastidas., 2011) se debe regular el pH para mejorar las condiciones del medio donde se desenvuelven las bacterias, si el pH baja y se vuelve más ácido la acción de las bacterias metanogénicas puede inhibirse y, esto puede ocasionar el aumento de la proporción de gas carbónico en el biogás.

Tiempos de retención hidráulicos y retención de sólidos

El tiempo de retención hidráulico es el tiempo que tarda la materia orgánica en biodegradarse dentro del digestor, el TRH está directamente relacionado con la temperatura ya que de esta depende la velocidad de degradación del sustrato, se debe tener en cuenta que mientras la temperatura sea mayor el TRH o degradación va hacer menor. (Arboleda Y, et al., 2009). Sin embargo, algunos autores han sugerido que para cada ambiente se deben tener los respectivos tiempos de retención, que comúnmente se presentan en biodigestores, (Olaya 2006 citado por Arboleda Y, et al., 2009). El rango de temperatura y el periodo de retención dentro del biodigestor, se clasifican de la siguiente manera (Alcayaga et al. 1999):

Tabla 13: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación aeróbica.

Fermentación	Mínimo	Optimo	Máximo	TRH
Psycrofilica	4- 10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesofilia	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-36 días
Termofilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Fuente: Recuperada de (Manual de biogás 2011)

Existe otro parámetro para identificar el tiempo de retención de las sustancias en el digestor, denominado Tiempo de Retención de Sólidos (TRS), se determina como la relación entre la cantidad de MO (materia orgánica) o SV (materia seca) que entra al digestor y la cantidad de MO o SV que sale del sistema cada día. El TRS es asumido para representar la media del tiempo de retención de los microorganismos en el digestor.

3.3. Desechos agrícolas de la región cafetera empleados para la digestión anaerobia.

El departamento de Caldas posee gran variedad de frutales y cultivos que son la base de la economía Caldense, en esta revisión bibliográfica se identificaron los tres cultivos más representativos de la región los cuales son café, plátano y caña de azúcar. De acuerdo con (AGRONET 2016) en el año 2016 se tuvo una producción de café 66.661to, Plátano 245.284t, caña de azúcar 39.362. Estas actividades agrícolas a su vez también generan subproductos que son utilizados en muchos casos para abono orgánico de los cultivos, o simplemente son desechados al aire libre. "En el proceso del café se estima que menos del 5% de la biomasa generada se aprovecha en la elaboración de la bebida y otros productos, el resto queda en forma residual representado en materiales lignolelósicos como hojas, ramas y tallos, generados en el proceso de renovación de los cafetales; frutos verdes que se caen durante la recolección o que se retiran de la masa café recolectado; pulpa exocarpio del fruto, que representa aproximadamente el 44% del fruto fresco; y la borra o ripio, que se genera en las fábricas de producción de café soluble y cuando se prepara la bebida a partir del grano tostado y molido, que representa cerca del 10% del peso del fruto fresco y con un contenido de aceite entre 10% y el 15 % en base seca de café" (Valencia, Franco 2010).En el proceso del plátano, cuando se cultiva este solo se está utilizando del 20 al 30% de su biomasa (Belalcazar C. et al., 1991), quedando de un 70 a 80% por utilizar, lo que ha generado una de las principales problemáticas ambientales, puesto que en la mayoría de los casos son incinerados o vertidos a los causes receptores sin tratamiento previo, contribuyendo a la degradación del ecosistema; aunque, algunos productores aprovechan los residuos en la plantación en forma de abono verde y alimentación animal (Vidal F.I., et al., 2001).

La caña de azúcar en su proceso de transformación deja como subproductos la melaza, el bagazo, el cogollo o las puntas de caña estos pueden ser usados en la alimentación de animales en las zonas tropicales y subtropicales, gracias al alto nivel tecnológico de su cultivo y, consecuentemente, a su alto rendimiento (Sierra, 1981citado por GAIBOR J. 2013). Teniendo en cuenta el gran volumen de subproductos que se pueden aprovechar, su potencial aún está por constatar, ya que por cada tonelada de panela se obtiene una tonelada de subproductos, cuya utilización en alimentación animal ha sido bien documentada (Becerra, 1992). Además de sus subproductos, la caña completa también es utilizable. En épocas de escasez de pasto, la caña picada puede ser suministrada como única fuente de forraje para los animales, suplementada con sales mineralizadas (Sierra, 1981citado por GAIBOR J. 2013).

Para el funcionamiento del sistema microbiologíco en los procesos anaerobios, se ha especificado las necesidades de un balance entre las fuentesde carbono(C), nitrógeno(N) y fósforo (P) en el sustrato a degradar para lograr una alta eficiencia metabólica en el

proceso, considerándose que la relación C/N debe oscilar entre 15-30:1, y la C/P de 75-113. (Dávila et al., 2012).

En la literatura se encuentran abundantes aportes en cuanto a este tema, por ejemplo la co-digestion que se realiza con residuos cítricos más estiércol de bovino (Ladino, 2011). También se han realizado estudios donde se analiza la productividad de los diferentes residuos de café para la producción de metano, teniendo en cuenta la caracterización de la cáscara, pulpa, pergamino y mucílago del café. (Chala, et al., 2018).

La tasa de recuperación de energía varía de 4.6% (pergamino) a 66% (mucílago), mientras que la pulpa y la cáscara mostraron 56% y 33%, respectivamente. Se esperaba la tasa de recuperación más baja del pergamino debido amuy altos contenidos recalcitrantes en la biomasa. Dado que el contenido de cenizas del pergamino es muy bajo, podría ser adecuado para otros tipos de tecnologías de conversión de energía, como la granulación y la fabricación de briquetas. La cáscara es básicamente una combinación de pulpa, mucílago y pergamino; Por lo tanto, refleja valores intermedios de los componentes.

En Europa esta tecnología es muy empleada, ya que hay países que han logrado obtener el 30% de su energía a partir de la Digestión anaerobia. Allí se han construido varias plantas de biogás empleando residuos agrícolas y cultivos energéticos en particular silage de cereales y maíz, en su mayoría utilizando co-digestión de estos con residuos ganaderos.(Dávila, et al., 2012)

Según (Ghosh, S. et al 2005) La digestión anaerobia se ha convertido en una alternativa con diversos fines los cuales apuntan a tener soluciones sostenibles y viables para la reducción de diversos impactos ambientales, entre estos la depuración de aguas residuales y residuos orgánicos fermentables. La generación de biogás que producen los sistemas anaerobios puede ser utilizado en la misma planta con finalidades energéticas y por ende ser auto sostenible, esto nos permite identificar que la digestión anaerobia es una alternativa favorable económicamente, ya que en muchos casos permite la autosuficiencia de las plantas de tratamiento. La digestión anaerobia era tradicionalmente aplicada para tratar suspensiones diluidas (1.5 % solidos totales) o material particulado (lodo primario o lodo activado). En los años 70 hubo un déficit en la generación de energía, lo que conllevo a buscar otras alternativas de generación de energía por medio de residuos agrícolas como sustituyente del petróleo. Como primer paso se realizaron estudios encaminados hacia la trituración y dilución del residuo para preparar el lodo utilizado en la digestión convencional, esta etapa es conocida como etapa simple, este proceso presentaba inconvenientes como (necesidad de grandes volúmenes de reactor y de grandes volúmenes de agua, gasto de energía para calentar los digestores, bombear lodos, secar y realizar la disposición final de efluentes, entre otros) lo que lo hace inviable económicamente, de allí

surgió el interés por digerir sustratos sólidos con concentraciones elevadas de sólidos totales. *(*Acosta, et al., 2005)

A partir de estos sucesos se desarrollaron proyectos energéticos a partir de residuos secos agrícolas y residuos sólidos municipales, en sistemas continuos y de tipo lote. Los proyectos realizados dieron buenos resultados lo que conllevo a investigar la digestión anaeróbica de residuos sólidos de alimentos.

A partir de entonces, se desarrollaron procesos que consideraban los residuos agrícolas secos y municipales, en sistemas continuos y de tipo lote. Los buenos resultados obtenidos con este tipo de residuo dieron pie para investigar la digestión anaerobia con otro tipo de residuo sólido. En el proceso de digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose solo un 10% de la energía en el crecimiento bacteriano frente a un 50 % de crecimiento que se observa en el proceso aerobio(Acosta, et al., 2005).Cabe resaltar que la baja generación de lodos en los procesos anaerobios, reducen los costos de tratamiento y los impactos ambientales, ya que estos son uno de los grandes problemas que poseen las PTAR, al no realizar una adecuada disposición o aprovechamiento. Es por ello que la digestión anaerobia es un proceso eficiente para el tratamiento de aguas residuales mediana y alta carga orgánica.

El uso de la biomasa (cultivos energéticos y desechos orgánicos) como fuente de energía representa un equilibrado ciclo cerrado del carbono con respecto al dióxido de carbono de la atmósfera(Bastidas, et al 2011). En países Latinoamericanos se desarrollaron investigaciones que demostraron lo viable que es implementar proyectos y tecnologías de generación de biogás ya que estos no necesitan de gran inversión e infraestructura, son alternativas que se pueden implementar y construir en comunidades no interconectadas o rurales donde las personas no tienen acceso a la energía. (Lokey 2009)

3.4 Potencial energético de los sustratos agrícolas

CAFÉ

La producción de biogás utilizando residuos agrícolas es una de las tecnologías más exigentes para lageneración de energía en forma sostenible teniendo en cuenta las preocupaciones ambientales. Sin embargo,a pesar de que los desechos agrícolas están disponibles en abundancia, las tecnologías utilizadas para laproducción de biogás, tales como los procesos biológicos y termoquímicos no son muy eficientes.
En el presente trabajo se muestran los resultados de investigaciones que se han realizado en el proceso de producción de biogás en sistemas anaerobios,a partir de los subproductos del café tales como cascara, mucilago, pergamino, aguas residuales. En la literatura existen

estudios que evalúan la producción de metano a partir de estos subproductos como es el caso de Etiopia que es una ciudad donde la producción de café es un medio de vida de aproximadamente 125 millones de personas en todo el mundo, particularmente de países en desarrollo. Etiopía es el origen y el acervo genético del café arábica. En la última década, Etiopía ha sido el mayor productor de café en África, y sigue siendo el quinto en el mundo, contribuyendo con una participación de alrededor del 4,5% a la producción mundial. La producción anual de café aumentó de 273,400 Mg en 2007 a 469,091 Mg en 2016, mientras que el área de cultivo aumentó de 407,147 ha a 700,475 ha. La cantidad de subproductos del café está directamente relacionada con la producción de café. El café es el principal producto de exportación de Etiopía; y el sustento de más de un millón de hogares depende de la producción de café, es por ello que se hace cinco décadas se ha introducido la tecnología del biogás como una fuente de energía descentralizada para mejorar los medios de vida y una fuente de fertilizante orgánico. **(**Chala et al., 2018)

3.5. Rendimiento de los diferentes residuos del café

Tabla 14. Potencial de biogás que posee los diferentes residuos de café (Ethiopia 2018)

	Residuos Café				
	Rendimiento de metano ($L.kg^{-1}$ VS)	**Metano contenido (%)**	**Degradabilidad (%)**	**Energía de metano ($MJ\ kg^{-1}$ VS)**	**Recuperación de energía**
Cascara	159.4± 1.8	51.5	35.3	6.33	33.7%
Mucilago	294.5±9.6	55.5	68.0	11.7	66.1%
Pergamino	31.1 ± 2.0	84.2	3.4	1.12	5.7%

La tasa de recuperación de energía varía de 4.6% (pergamino) a 66% (mucílago), mientras que la pulpa y la cáscara mostraron 56% y 33%, respectivamente. Se esperaba la tasa de recuperación más baja del pergamino debido a los muy altos contenidos recalcitrantes en la biomasa. Dado que el contenido de cenizas del pergamino es muy bajo, podría ser adecuado para otros tipos de tecnologías de conversión de energía, como la granulación y la fabricación de briquetas. La cáscara es básicamente una combinación de pulpa mucílago y pergamino; por lo tanto refleja valores intermedios de los componentes. (Chala et al., 2018)

Tabla 15*:* En el siguiente se muestran las investigaciones que se han realizado en cuanto a la digestión anaerobia de residuos de café.

	Digestión Anaerobia- Café					
Autor	**País o región**	**Condiciones de operación**	**Producción de metano**	**Factores Inhibitorios**	**Codigestión**	**Condición sustrato**
Bastidas	Zamorano, Honduras	Se realizaron 12 pruebas de 4 repeticiones : Tratamiento 1 mezcla de estiércol 40 %, aguas miel 20 %, pulpa de café 40 %, tratamiento 2 mezcla de estiércol 40 %, agua 20 %, pulpa de café 40 %, tratamiento 3 mezcla de estiércol 70 %, aguas 30 %. TRH de 47 días El trata= 1 tuvo un pH de 6.86 El trata= 2 tuvo un pH de 6.88 El trata= 4 tuvo un pH de 6.90 Temperatura °C Tra1= 30.33 Temperatura °C Tra2= 30.78 Temperatura °C Tra3= 30.62	Producción de biogás vs. Kilogramo de sustrato: 126.88 L/ Kg kilogramo de estiércol, 128 L/Kg de biogás por Kilogramo de pulpa de café y 126.98 L de biogás por litro de aguas mieles, con un	Temperatura ambiente máxima y mínima, se observó que estas variables tuvieron un impacto en la producción de biogás.	Producción de biogás a partir de estiércol de ganado, pulpa de café, aguas mieles	DQO removido de -17 % para el T1, 18 %para el T2 y 69 % para el T3. ST 1= -0,20% ST 2= -0,09% ST 3= 0,35% C/N 1= 14.05 C/N 2= 8.79 C/N 3= 9.98 SV 1(mg/l)=28,465 SV 2(mg/l)=16,438 SV3(mg/l)= 3,600
A. Beyene., D. Yemane., T. Addis., A.Assayie., L. Triest		Producción de metano con aguas residuales de café. Reactor anaerobio por lotes a escala de laboratorio. TRH 70 días. Temperatura ambiente (20–23 °C) y un pH 7.0	Se estimó que el residuo de café tiene un potencial para producir un rendimiento energético teórico de 4 a 10 millones de KJ / día.	El agua residual del café tiene la característica que es ácida esto se debe al hecho de que la pectina y el azúcar fermentan en alcohol y vinagre o ácido acético. Este resultado indica que el pH debe ser neutralizado a un nivel entre 6.5 y 7.5 para iniciar y optimizar el proceso de digestión	No co-digestión	En el día 70 se tuvo una DQO de 889.0 mg/l. Nitrógeno total 63.0 mg/l. TSS= 195.0 mg/l VSS= 74.0 mg/l DBO_5= 410.3 mg/l

				anaerobia.		
G. Corro, U.Pal , S. Cebada1	Puebla, México	Producción de biogás a partir de pulpa de café la cual utilizo Cu / TiO2 como un fotocatalizador eficiente en su tratamiento previo. Las pruebas se realizaron en 2 biodigestores. pH 1Bio= 7.1 pH 2Bio= 7.0 Temperatura máxima de 35°C a 45°C. TRH 30 días.	La producción de biogásosciló entre 271 y 325 L/kg de materia orgánica seca. producción de metano	Un efecto de inhibición debido a las trazas de 10% de Cu / TiO 2. Variaciones en la temperatura dentro del digestor.	Codigestion de pulpa de café y estiércol de ganado	ST(%) 1Biod= 5.45 ST(%) 2Biod= 10.15 SV(%) 1Biod= 10.86 SV(%) 2Biod= 89.03
Battista. F, Fino.D , Mancini.G	Indonesia	Producción de biogás a partir de una mezcla de residuos de café con una concentración de TS del 10% p / p. Pretratamientos básicos y ácidos en modo discontinuo. La temperatura (35° C). (TRH) de aproximadamente 40 días	En esta investigación se realizaron pruebas pretratamientos y sin pretratamiento, y se observó que la mayor producción de metano la obtuvo la prueba a la cual se le realizo pre tratamiento con un porcentaje de metano de 327 L CH4 / Kg. VS v / v respectivamente).	La lignina no es soluble en agua, y por ende es difícil de degradar, se debe realizar previo tratamiento con ácido, para que sea fácil de degradar y no afecte la producción de metano.	Noco- digestión	(ST) 19.76% (SV) 24.92% Contenido de celulosa 31.3 %. hemicelulosa 11.2% Lignina 23.4% en la cascara de la semilla del café. Contenido de celulosa 18.2%, hemicelulosa 25.6%, Lignina 10.8%. en los desechos de semillas de café.
Ginting.N	Indonesia	En esta investigacion se realizaron 5 tratamientos y 4 repeticiones. El es T1 = 100% heces de búfalo; T2 = 75% heces de búfalo y 25% cereza del café; T3 = 50% heces de búfalo y 50% cereza del café; T4 = 25% heces de búfalo y 75% cereza del café; T5 = 100% café cereza. Heces de búfalo y cereza del café. TRH de 25 días, la temperatura	Se encuentra que diseña T1 y T2 fueron superiores en la producción de metano, y alrededor de 400 L/kg de metano	La ubicación de la investigación está en una zona de tierras altas, donde la temperatura ambiente alrededor de 22 - 23 ° C en agosto y septiembre así la temperatura del subterráneo donde se colocaron	Codigestion con estiércol de búfalo	La relación C / N en esta investigación en T1 hasta T4 eran alrededor de 21 hasta 25 y T5 era 29

		utilizada en esta investigación fue de 19°C. pH de 5.2- 7.0		biodigestores está por debajo de 20 ° C y esta temperatura afecta el interior biodigestor		
Espinosa.,H	Medellín	Producción de metano a partir de pulpa de café y lodo activado procedente de una PTAR, se realizó en un reactor de flujo pistón. La dosificación del sustrato, para un PFR de 400 L .se determinó con base en ensayos de laboratorio realizados en 10 biodigestores discontinuos o por lotes de 3,0 L de capacidad cada uno, durante 100 días. Ph 7,2	Los biodigestores 5 y 6fueronlos que produjeron mayor cantidad de metano estos fueron alimentados por las mismas proporciones de lodo estabilizado y pulpa de caféy agua natural 226, 18 L/Kg CH_4	La temperatura ambiente	Co- digestión con lodo activado de una PTAR municipales y pulpa de café y agua natural	
B.Chala, H.Oechsner ,S.Latif, Joachim Müller 1	**ID** Alemania	En este estudio se realizó la caracterización y el potencial de cáscara, pulpa, pergamino y mucílago para la producción de metano se examinaron en un análisis bioquímico de potencial de metano realizado a 37ºC. Este estudio se realizó a escala de laboratorio	Los rendimientos medios específicos de metano de cáscara, pulpa, pergamino y mucílago fueron 159.4± 1.8, 244.7 ±6.4, 31.1 ±2.0 y 294.5 ±9.6 L kg $^{-1}$ VS, respectivamente. El rendimiento anaeróbico del pergamino fue muy bajo, y por lo tanto se encontró que no era adecuado para la fermentación anaeróbica	El pH ácido y polifenoles en la cáscara de café lo hace resistente a la conversión anaerobia, y por ende afecta la producción de metano	No	El inóculo tenía un contenido total de sólidos volátiles de 5,0% y 61,6% (de TS), respectivamente.

En la revisión de los diferentesartículos se pudo identificar que la digestión anaerobia de residuos de café nos da como resultado una producción 126 L/Kg a 400L/kg de metano. El rendimiento de biogás de los subproductos del procesamiento del café ha sido investigado ampliamente, pero sus potenciales de rendimiento de biometano varían sustancialmente [17]. Ulsido, et al. [18] encontraron un potencial de producción de metano de 132 L kg^{-1} VS de cáscara, mientras que Kivaisi et al. [19] informaron 650 L kg^{-1} VS de Robusta y 730 L kg^{-1} VS de residuos sólidos mixtos de Arábica (cáscara y pulpa). De manera similar, Baier y Schleiss [20] determinaron un potencial de biogás de 380 L kg^{-1} VS (57–66% de metano) (Chala et al., 2018)

En algunas de las investigaciones se presenta una mayor producción de biogás, esto se da principalmente porque realizan pre tratamientos para la degradación de los compuestos lignocelulosicos, hoy en día hay una gran variedad de tratamientos tales como, los procesos térmicos en los cuales se aplica temperaturas de ebullición por ciertos periodos de tiempo), procesos químicos que utilizan ácidos y bases a pH extremos) o procesos enzimáticos, para hidrolizar el almidón y la celulosa y dejar el medio con carbohidratos libres para la fermentación" (Bedoya. A., et. al, 2007). En otro caso se aplico sulfato lo que condujo a la hidrólisis de lignina y celulosa, estos compuestos se transformaron principalmente en ácido propiónico, que luego se degradó en biogás. (Battista. A etal 2015). (Corro. et.al 2014) propuso como pretratamiento fotocatalítico al Cu / TiO 2, este es un proceso que puede ser considerado como un ejemplo de tecnologías innovadoras colectivamente conocidos como procesos de oxidación avanzada. Estos pre tratamientos se deben realizar ya que los desechos de café tienen contenidos de lignina 23.4%, celulosa 31.3 % y hemicuelosa 11.2%, los cuales son compuestos que son difíciles de degradar, es por ello que se debe hacer pre tratamiento.

Otro de los factores importantes que influyen en la producción de metano es la co-digestión que se da principalmente con estiércol de animal, en una de las investigaciones se realizó co-digestión con estiércol de ganado, pulpa de café, y aguas mieles, se evaluó cuál de los tres sustratos producía mayor volumen de biogás, lo que dio como resultado que la pulpa de café produce mayor volumen de biogás en comparación con los otros dos sustratos. De acuerdo a Dinsdale (1996), el contenido de metano que puede contener la pulpa de café varía entre los valores de 61 a 70 %, mientras que Botero (1987) y Ntengwe *et al.* (2010) reportan un valor de 50 % - 70 % de contenido de metano para el estiércol de ganado vacuno. (Bastidas C. et., al 2011)
(Abouelenien et al. (2014) también realizó un proceso de co-digestión de desechos de café con estiércol de pollo y otros residuos agrícolas (desechos de yuca y coco), y se obtuvo una fermentación de metano mejorada en comparación con la fermentación de estiércol de pollo por si sola.

El rango de pH que es más óptimo para trabajar este tipo de sustrato es 7, aunque se puede operar en un intervalo de 6.5-7.5, teniendo en cuenta que el pH no puede estar ni muy acido ni muy básico ya que puede generar un efecto inhibidor en la producción de metano. El TRH óptimo para la degradación del sustrato de café corresponde a 40-50 días lo que indica que los residuos de café necesitan mucho más tiempo de retención para estabilizarse en comparación con otros residuos orgánicos, es importante tener en cuenta que el TRH

vadirectamente relacionado con las propiedades del sustrato y a los compuestos que posee los residuos de café, por ende su degradación se da en tiempos prolongados.

La temperatura adecuada para la velocidad de producción de metano seda en condiciones mesofilas (de 30°C a 34°C), sin embargo en algunas de las investigaciones, se tiene una mayor producción de metano en condiciones termofílicas (T = 55 C) mejoraron la producción de biogás 1,5 veces más que en condiciones mesofilicas (T = 35 C). (Battista A. et al., 2015)

Caña de azúcar

Las industrias de transformación de la caña de azúcar y panelera son las responsables de la excesiva generación de diferentes tipos de residuos orgánicos, que en la mayoría de los casos, todavía no están siendo tratados correctamente, especialmente desde el punto de vista energético.

Aunque algunos de estos residuos orgánicos se aplican directamente como fertilizantes orgánicos en los campos de la caña de azúcar para el reciclaje de nutrientes sin una utilización energética previa (es decir, vinaza y torta de filtración), la otra parte de los residuos se utiliza principalmente como combustible en sistemas de cogeneración de baja eficiencia (es decir, bagazo) o incluso dejarse decaer en los campos (es decir, paja) debido a la falta de incentivos para producir bioenergía a partir de ellos . (Janke, L., et al., (2015). Indica que el residuo de la caña es rico en azúcar soluble, celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que promueve la capacidad de investigación en los procesos de bioconversión de este material para la producción de bioetanol, biogás, y otros bioproducto.

La inadecuada y no controlada disposición de dichos desechos en los campos puede conducir a la liberación de grandes cantidades de metano, lo que puede dificultar el efecto positivo de la utilización de bioenergía en la mitigación del cambio climático.

En la literatura actualmente se han podido identificar estudios que demuestran la productividad de metano a partir de estos subproductos como lo es el caso del estado de "Sao Paulo, el cual es un importante productor de caña de azúcar en Brasil, es responsable de más del 56% de la caña procesada en la temporada 2013-2014. El estado está comprometido con un ambicioso plan para aumentar aún más la cuota de energía renovable a partir de 55% a 69% hasta 2020, así como para reducir el CO_2 las emisiones en un 20% en comparación con los niveles de 2005. Para lograr estos objetivos, entre otras medidas, un programa de biogás se puso en marcha en 2012 para estimular y aumentar el uso sostenible de la biomasa para la producción de biogás, incluyendo en un futuro cuota obligatoria de biometano en la red de gas natural**(**Janke, L. et al, 2015)

La digestión anaerobia (DA) de los residuos de caña de azúcar se puede considerar una estrategia prometedora, ya que el digestato todavía podría ser utilizado para reemplazar parcialmente los fertilizantes minerales en los campos de caña de azúcar y el biogás producido se puede actualizar a biometano y se vende como un nuevo producto de energía por las plantas de caña de azúcar. Sin embargo, antes de su aplicación a gran escala, el proceso de AD debe ser evaluado cuidadosamente, especialmente con respecto a las características de los sustratos, como materia orgánica y el valor nutricional, macronutrientes, elementos traza, y la producción específica de biogás. Estos parámetros influyen directamente en otros parámetros del proceso importantes, tales como el pH, la acumulación de los inhibidores, macronutrientes potenciales, y oligoelementos deficiencias, ya que las tasas de degradación así**.(**Janke, L. et al, 2015)

En cuanto a la co-digestion se han identificado estudios en la literatura que determinan la producción de biogás mezclando residuos de caña con estiércol de animal, teniendo como base la relación entre C/N que debe tener una base de 20- 30 que permite que el proceso de digestión y producción de biogás sea alta. Se ha realizado el proceso de co-digestion con "vinaza de caña de azúcar y gallinaza de jaula la mezcla entre estos dos sustratos presenta un efecto sinérgico positivo, la gallinaza de jaula mejora la capacidad de amortiguación de la mezcla, disminuyendo el riesgo de acidificación por cambio drástico en el pH durante la digestión de la vinaza. Por otra parte, la vinaza permite diluir la concentración total de nitrógeno amoniacal evitando la inhibición de amoniaco. Dado el aumento de la producción de metano, el co-tratamiento de vinaza y gallinaza mejora la recuperación de energía y la viabilidad económica de la instalación de la planta de biogás como parte de la cadena de producción de etanol.(Marín et al., (2016)

Tabla 16: En esta tabla se presentan los diferentes residuos de la caña panelera, con sus contenidos de carbohidratos, y producción de metano (Janke et al., 2015)

Caña de azúcar					
Sustratos	**Lignina**	**Hemicelulosa**	**Metano producido ($ml \cdot g_{VS}$) mililitro sobre gramos de solidos volátiles)**	**ST (%)**	**SV (%)**
Paja	162	277	252	76.7	86.3
Bagazo	124	233	326	55.4	96.0
Vinaza	34.4	101	273	3.44	70.6

Tabla 17: En la siguiente tabla se muestran las investigaciones que se han realizado en cuanto a la digestión anaerobia de residuos de caña de azúcar, producción, de metano, factores operacionales.

Digestión anaerobia de Caña de azúcar						
Autor	**País**	**Condiciones de operación**	**Producción de metano**	**Factores inhibitorios**	**Co-digestión**	**Condiciones sustrato**
S.Sumardiono, A., Riyanta, H. Matin, T. Kusworo, B. Jos, Budiyono	**Indonesia**	En esta investigación se determinó la relación entre la combinación de estiércol y bagazo de caña, y el volumen de la producción de biogás, se realizó un pre tratamiento con NaOH al 2%. Se realizó digestión por lotes a escala de laboratorio, se trabajó con temperatura ambiente, con pH neutro.	51.04 L / Kg productividad de biogás.	El contenido de TS es demasiado alto haciendo que la velocidad de producción de ácidos orgánicos en las primeras etapas sea más rápido que la velocidad de la digestión de consumo de ácido por las bacterias metanogénicas Por supuesto, esto inhibe la actividad de bacterias metanogénicas y disminuye la producción de biogás	Co-digestión estiércol de vaca combinado con bagazo de caña	ST% del bagazo de la caña 79,64 ST% del estiércol de vaca 16,67 SV% del bagazo 78,83 SV% del estiércol de vaca 13,17 Relación C / N es de 20-30
Onthong	**Tailandia**	En este estudio, se investigó la evaluación del potencial de producción de biogás a partir de 5 desechos agrícolas crudos y procesados: residuos de soja, cáscaras de papaya, bagazo de caña de azúcar, pajitas de arroz, En primer lugar, el experimento se realizó en condiciones mesofílicas (30 ° C), con cinco diferentes tiempos de retención hidráulica (TRH): 15 días, 20 días, 25 días, 30 días y 35 días. Se realizó digestión por lotes y	Los resultados revelaron que el bagazo genera un rendimiento de biogás de 0.263L /día en un TRH de 25 días.		no	Muestras de 5 mm de tamaño

		discontinuos				
Talha Z., Ding W., Mehryar E., Hassan M, Bi J.	**China**	Se realizó un pretratamiento al bagazo de la caña y el lodo de filtro con hidróxido de sodio NaOH 1N a 100 ° C durante 15, 30 y 45 minutos, respectivamente. Se estudió la generación de biometano a partir de un reactor discontinuo de 1 litro a temperatura mesofílica (37 ± 1) C, concentraciones sólidas del 6%.Se trabajó en un rango de pH de rango de 6.9–8.1 mediante la adición de ácido clorhídrico (HCl)	Se obtuvo un rendimiento acumulativo de biometano (195,8 L· kgVS-1,)	Cuando se trabaja con concentraciones superiores a 2,5 g / kg (basadas en el peso total) causan una reducción significativa de los rendimientos de metano en un 50%	Co-digestión del bagazo de caña de azúcar y el lodo de filtro	Relación C / N de 24.70) cuando la relación de co-digestión entre el filtro y el bagazo fue de 25: 75 en comparación con la del filtro como único sustrato (relación C / N de 9.68). ST de Bagazo=58.900 ± 0.001 ST Lodo de filtro= 47.850 ± 0.002 SV de bagazo= 97.590 ± 0.003 SV de lodo de filtro=34.780 ± 0.013
Janke L., Leite A, Nikolausz., Schmidt MT., LiebetrauE , Nelles M , . Stinner W.	**Alemania**	En este estudio, se evaluaron los desafíos cinéticos para la producción de biogás a partir de diferentes tipos de residuos de caña de azúcar. Las muestras de la vinaza, torta de filtro, bagazo, paja y se analizaron en términos de sólidos totales y volátiles, demanda química de oxígeno, macronutrientes, elementos traza, y el valor nutricional. El estudio se realizó en un reactor de tanque agitado continuo con tiempos de retención hidráulicos Largos (> 35 días). Temperatura constante de 35 °	Se obtuvieron rendimientos de metano que variaban considerablemente (236 L/´ Kg VS-1)	Si un determinado sustrato tiene una relación C: N demasiado alta, o en otras palabras, tiene deficiencia de nitrógeno, puede influir negativamente en el funcionamiento de la comunidad microbiana.	No co- digestión	El bagazo y la paja presentaron valores de TS y VS medios relativamente similares (55.4% y 96.0% de TS para bagazo; 76.7% y 86.3% de TS para paja), debido a que están formados principalmente por fibras de caña de azúcar.
Ghatak M., Mahanta P.	**India**	En la presente investigación, se realizaron experimentos a nivel de laboratorio para investigar el	A un 9% de TS, la producción de gas fue alta desde el inicio.	A mayor tiempo de TRH menor va hacer la producción de	No co-digestion	(ST) % del bagazo de caña 86.170. (SV) % 84.175.

		efecto de la temperatura y los TS (solidos Totales) en la generación de biogás a partir de biomasa lignocelulósica, como bagazo de caña de azúcar. El estudio se realizó a concentraciones de TS del 6%, 9% y 12%, Los digestores se mantuvieron a una temperatura constante de 35 ° C, 40 ° C, 45 ° C, 50 ° C y 55 ° C. TRH de 25 días.	Aumentó cada día y la producción máxima (0.284L) ocurrió el día 25; Y después de eso, la producción declinó. Con un 12% de TS, la producción de gas fue inferior a 15 días, pero después de eso, aumentó considerablemente y alcanzó el valor máximo (0.186 L) entre los 20 y los 25 días de la TRH.	metano, ya que en el estudio se evidencia que a partir del día 25 que fue el TRH, se genera menor producción de metano. También es importante regular los factores como la temperatura del digestato y los ST.		La relación C:N del bagazo de caña fue 60:1. Celulosa (%) 41.000
Koyama M., Júnior M., Zaiat M., Júnior A.	**Brasil**	En esta investigación se determinó el potencial de producción de biogás a partir de la vinaza de caña de azúcar, teniendo en cuenta dos tipos de pretratamiento: cal o peróxido de hidrógeno alcalino. El bagazo se hidrolizó enzimáticamente y los residuos del tratamiento y la hidrólisis se utilizaron para producir biogás. pH 6.5. Temperatura 55°C	La mayor producción global de metano se obtiene con el tratamiento previo de peróxido: 72.1 L de metano / kg de bagazo		No co- digestión	Carbohidratos totales: 5.7 ± 0.9 g L DQO soluble (0.45 mm): 25.8 ± 4.5 g L 1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): 16.7 ± 1.1 g L

La digestión anaerobia de residuos de caña azúcar dio como resultado 51L/Kg a 195.8 L/Kg VS de metano, estos compuestos como la mayoría de los residuos agrícolas, es rico en azúcar soluble, Celulosa, hemicelulosa y lignina, características que deben tenerse en cuenta en el proceso de digestión anaerobia ya que puede generar disminución en la producción de metano. En los residuos de caña de azúcar, específicamente en la paja y el bagazo se identificaron compuestos que son difíciles de degradar, lo que genera restricciones en el rendimiento de metano. Para mejorar la degradabilidad de estos compuestos se realizan pre tratamientos con NaOH aplicado al proceso de tratamiento de la biomasa. Esto hace que los componentes de la lignocelulosa sufran una reacción de solvatación y saponificación. (Sumardiono et al., 2016).

Se identificó que dentro de los residuos generados en el proceso de transformación de la caña panelera el lodo de filtro en uno de los residuos más óptimos para la generación de energía, ya que posee características físico-químicas tales como hidrocarburos, azúcar y otros componentes, este posee una buena proporción de carbono a nitrógeno (C / N) de aproximadamente 10-20; estas se consideran como características significativamente atractivas para la generación de bioenergía por fermentación anaeróbica. (Talha et al., 2016)

La producción de metano también se relaciona con el porcentaje de ST que se tenga en el sistema ya que si se tiene un 6% de ST, la producción de metano va hacer menor porque las partículas se asientan y afectan el sistema, que cuando se tiene ST de un 12%. La temperatura óptima para lograr un buen rendimiento de metano se da en condiciones mesofilicas 35°C y termofilicas 55°C (Acosta et al., 2005).

El TRH óptimo para este tipo de residuo va desde 8 días hasta 25 ya que si se tiene un tiempo muy prolongado disminuye la producción de metano, este TRH se debe realizar en biomasa con altos contenidos lignocelulósicos para lograr su degradabilidad, este parámetro también depende en gran medida de la composición fisicoquímica de los desechos agrícolas.

El proceso de co-digestión anaeróbica se convierte en una solución importante, ya que este permite la combinancion de desechos agrícolas, con estiércol animal para obtener una alta producción de biogás y lograr una relación C / N ideal. (Sumardiono et al., 2016). En una de las investigaciones se pudo determinar que la co-digestion de residuos de caña de azúcar y estiércol de vaca, dio resultados favorables ya que el estiércol de vaca contiene bacterias que tienen la capacidad de degradar el contenido lignina que contenga los residuos, lo que genera una producción de metanomáxima de 6,3 L /kg.

Plátano

(María et al, 2013) establece que el cultivo de banano está extendido principalmente en las regiones tropicales y subtropicales donde existen muchas comunidades agrícolas rurales.La planta de banano da frutos una vez en su ciclo de vida, van dejando una cantidad significativa de residuos agrícolas utilizables. La práctica actual deja este residuo para descomponerse en el campo, propagando enfermedades y contaminando los suministros de agua.

El residuo de banano incluye fruta de plátano no comercializable (pulpa y cáscara) y biomasa lignocelulósica (pseudotema y tallo floral). Los residuos de fruta de banano se han utilizado tradicionalmente para la alimentación animal y / o se han compostado, mientras que los residuos lignocelulósicos se han utilizado para producir diversas artesanías, utensilios para comer, envoltura de alimentos, en aplicaciones de fibra y textiles, pulpa para la industria del papel y utilizada como material absorbente para el agua residual.**(**Santa et al, 2013*)*

Solo recientemente se ha considerado el residuo de banano para la producción de energía. Debido a su alto contenido de almidón, la fruta de banano se ha utilizado casi directamente para la producción de etanol después de la hidrólisis enzimática con enzimas amilolíticas y celulolíticas para pulpa y cáscara, respectivamente (Santa et al, 2013). Las cáscaras de banano también se han convertido en biogás mediante fermentaciones anaeróbicas con un éxito relativo.

Sin embargo, el uso del residuo lignocelulósico se ha mantenido como un cuello de botella para la utilización de residuos de banano en su totalidad con una conversión de glucano a etanol baja y una alta demanda de energía para la transformación [7, 10]. Dada la abundancia y la distribución generalizada de los residuos de banano lignocelulósico, se deben explorar los esfuerzos para optimizar las rutas de bioconversión.**(**Santa-María, et al, 2013)

Tabla 18: En la siguiente tabla se presentan los residuos de plátano, con características como ST, VS, y producción de metano

Residuos de plátano			
Sustrato	**TS (%)**	**VS (%)**	**Producción de metano% (v/v)**
Cascara de plátano	9.70	86.29	57.8
Tallo de plátano	8.6	83.35	53.9
Pulpa de plátano	22.38	92.98	49.6

Tabla 19: En el siguiente cuadro se muestran las investigaciones que se han realizado en cuanto a la digestión anaerobia de residuos de plátano

Digestión Plátano						
Autor	**País**	Condiciones de operación	**Producción de metano**	**Factores inhibitorios**	**Co-digestión**	**Condiciones sustrato**
Latinwo G, Agarry S.	**Nigeria**	Este trabajo investigó el efecto de las cáscaras de plátano como co-sustrato en la digestión anaeróbica del estiércol de vaca para una producción eficiente y alta de biogás. TRH 40 días. La producción de biogás se obtuvo para ambos digestores a un pH de 6.7 y 6.9, así como a una temperatura de 29 y 30 ° C,	El rendimiento máximo acumulado de biogás fue de 450 L para el digestor D2 (50% de estiércol de vaca + 50% de cáscaras de plátano), respectivamente.	.	Se realizó co-digestión con estiércol de vaca y cascaras de plátano	El sólido total (TS) de las cáscaras de plátano fue del 9.2% y el del estiércol de vaca fue del 18.8%. La relación C: N de cáscaras de plátano se calculó en 21,92: 1, mientras que la de estiércol de vaca fue 14,32: 1
Li C, Liu G, Ivo A. Nges1, L. Deng, M. Nistor., Liu.	**China**	En este estudio, se realizaron tres series de experimentos simultáneamente para investigar la producción de metano a partir de pseudo-tallos de banano fresco por primera vez. Las pruebas incluyeron reducción de tamaño, adición de enzimas y co-digestión de tallos de banano con estiércol de vaca. TRH 34 días	La producción de metano del tallo de banano fresco como un solo sustrato podría alcanzar los 347 L/Kg-1 VS, que es más alto que los valores reportados de otras biomasas lignocelulósicas y especialmente de tallos de banano secos	La producción de metano se puede ver afectada por la humedad del sustrato, ya que en este estudio se pudo evidenciar que el rendimiento de metano fue bajo esto se da por la humedad del tallo de banano.	Co-digestión Tallos de banano con estiércol de vaca	ST y SV de los diferentes tamaños de la muestra STB_5= 5.53 ± 0.11 STB_{10}= 5.00 ± 0.34 STB2= 4.82 ± 0.16 SV_5= 4.47 ± 0.05 SV_{10}= 3.99 ± 0.34 SV_{20} = 3.78 ± 0.23 La relación C / N del tallo de banano fue de 31. Los componentes principales en el tallo de banano fueron celulosa (30.08%), hemicelulosas (27.79%) y bajo contenido de lignina (6.08%)

López R,. Quinto P., Aguilar H. , Garibay C	**México**	En el presente trabajo se llevó a cabo la digestión anaerobia de residuos orgánicos para la producción de biogás en tres reactores de vidrio con volumen de 4,2 l y volumen de operación de 2,0 l. Dos digestores (D1 y D2) fueron alimentados con 9 g/l de diversos residuos de frutas y verduras, el tercer digestor (D3) fue alimentado únicamente con cáscara y pulpa de plátano. Se monitoreó la producción diaria de biogás a los largo de 217 días.Temperatura de 16-26 ºC	Se obtuvo una producción promedio de 0,497 L/día y 0,477 L/día para D1 y D2 respectivamente, en el caso de D3 se obtuvieron 0,520 L/día.	Si se tiene un mayor contenido de ácidos orgánicos en un digestor esto puede ser un factor de inhibición, ya que el estudio demuestra que el Digestor que tenía mayor contenido de ácidos grasos tubo menor producción de metano, esto se puede dar por el alto contenido de almidón del plátano.	No co- digestión	ST 20% Ácido butírico 5,10 g/l de butírico Ácido propionico 6,74 g/l
Joute Y, Bari H., Belhadj S., Karouach F., Gradi Y., Stelte W, Bjerre A,.	**Kenitra, Marruecos**	Co-digestión anaerobia de estiércol de vaca (EV) y residuos de banano (RB). Se probaron diferentes relaciones de mezcla de estiércol de vaca: en términos de sólidos volátiles: 100: 0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 y 0: 100. El pH se mantuvo dentro de un intervalo pH óptimo de 7.1-7.6.	Los resultados obtenidos muestran que se obtuvo un rendimiento máximo de metano de 229 L/kg VS agregados a una relación estiércol de vaca (EV): (RB) residuos de banano de 40:60.	Si el valor de pH de los residuos que se analizarán está fuera del rango óptimo, y si no hay suficiente capacidad tampón, se inhibirá el proceso anaeróbico.	Co-digestión con estiércol de vaca y residuos de banano.	Biodegradabilidad del 86% para una tasa de carga orgánica en el rango de 1.49 3.57 kg mezcla de residuos / (m3d). ST de estiércol de vaca 24.4%. ST de residuos de banano 8.30%
Khan, M.T., Brulé, M., Maurer, C.,	**Uganda, Africa**	Se estudiaron diferentes fracciones de banano (tallo, cáscara y pulpa), así	Los rendimientos específicos de metano alcanzaron 256, 322, 367 y 349 L/ kg VS	La mono digestión de residuos de frutas y vegetales puede no ser	No co-digestion	(ST) de cascara de plátano 9.70 ±0.08 (ST) de tallo de banano

Argyropoulos, D., Müller, J., Oechsner, H.		como el banano entero sin pelar, en un ensayo de laboratorio sobre el potencial bioquímico de potencial de metano (BMP). La digestión se realizó en 35 días a 37°C en reactores de 2L.	(sólidos volátiles) para tallos, cáscaras, pulpa y bananas sin pelar respectivamente. Teniendo en cuenta el país de Uganda, África oriental, la recolección de cáscaras y tallos de la producción de banano produciría un potencial teórico de aproximadamente 60 GWh de energía eléctrica por año en plantas de biogás.	aconsejable debido al desequilibrio de nutrientes y la deficiencia de metales traza, lo que dificulta el desarrollo de bacterias anaeróbicas		8.60 ±0.26 (ST) Pulpa de plátano 22.38 ±0.24 (SV) de cascara de plátano86.29 ±0.16 (SV) de tallo de plátano 83.35 ±0.23 (SV) de pulpa de plátano92.98 ±0.75

La digestión anaerobia de residuos de plátano nos da como resultado una producción de metano de 229 L/ kg SV a 349 L/kg SV, para la cáscara de banano el rendimiento oscilo entre 223 y 336 L / kg de sólidos volátiles (VS), y entre 188 y 334 L / kg VS para el tallo de banano, respectivamente, mientras que la pulpa de banano puede alcanzar casi 400 L / kg VS.(Khan M, et al., 2016) esta producción de metano va muy ligado al tamaño del sustrato que se va a emplear para la digestión ya que como se presenta en una de las investigaciones, elsustrato de mayor tamaño de 22 mm fue el que tuvo un aumento del 21% en la producción de metano en comparación con el sustrato de menor tamaño de 5mm. Los factores operaciones que juegan un papel importante en la digestión anaerobia son la temperatura y el TRH, la temperatura óptima para que los microorganismos tengan una velocidad de crecimiento optima está en un rango de (28°C a 34°C) temperatura mesofilica, este factor es muy importante y debe ser regulado ya que de no ser así puede afectar las condiciones del sistema y la microbiana. El tiempo de TRH está directamente relacionado con la temperatura, por lo tanto para una temperatura mesofilica se debe tener un TRH de 30 a 40 días, este tiempo es el óptimo para la degradación de los residuos de plátano.

Uno de los factores de impacto que impiden la producción de metano es el alto contenido de lignina que poseen los residuos agrícolas, sin embargo se debe resaltar que el tallo de plátano tiene contenidos de celulosa (30.08%), hemicelulosas (27.79%) y bajo contenido de lignina (6.08%) lo que hace que los tallos de banano sean candidatos ideales para la generación de metano debido a su bajo contenido de lignina, estos pueden producir alrededor de 0,347 L g-1 de metano.(Li C et al., 2016)

En cuanto a la co- digestión anaeróbica con estiércol de vaca u otros animales podría generar cantidades significativas de energía en regiones aisladas, ya que la relación de C/N que presenta el estiércol de vaca es favorable para la producción de metano, realizando co-digestión con los residuos de plátano.

Capítulo 4

Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados que se muestran a nivel del modelo energético en Colombia podemos concluir que los modelos que actualmente se aplican en el país no atienden la demanda en su totalidad de la población colombiana, específicamente las zonas rurales o no interconectadas. Cabe resaltar que Colombia es uno de los países más ricos en materia de recursos para la generación de energía como los son (agua, petróleo, gas) sin embargo esto no justifica la implementación o ejecución de más modelos energéticos convencionales como lo son las hidroeléctricas y termoeléctricas que han dejado impactos irremediables al medio ambiente y a la población aledaña a estos proyectos.

Actualmente existen alternativas factibles para atender a los 11.594.208 usuarios que no cuentan con acceso al servicio de energía eléctrica, estas alternativas son las energías renovables, específicamente la biomasa agrícola el cual es un residuo que se produce en grandes cantidades en los departamentos de Caldas, Valle del Cauca, Santander. También se pudo identificar que actualmente Colombia ya tiene inscritos en la UPME 11 proyectos para la generación de energía por medio de biomasa, lo que significa un gran avance en materia energética, generando sostenibilidad ambiental, y reduciendo los impactos sociales.

A nivel del departamento de Caldas se pudo identificar, que los cultivos de café, plátano, y caña panelera, es sus etapas de poscosecha, recolección, y transformación generan grandes cantidades de residuos que van generando la degradación de los ecosistemas, esto se da principalmentepor las inadecuadas prácticas de uso, manejo y aprovechamiento, que hacen insostenibles ambiental, social y económicamente los procesos. En el cultivo de plátano se pudo calcular que se producen aproximadamente 196,227.200 Kg/año de residuos, de caña panelera 39,362.000 Kg/año y café 61,594.764 Kg/año, estos residuos generalmente son desechados en el suelo sin ningún tratamiento, aunque estos poseen ventajas como la fertilización de los cultivos al utilizarlos como abono pero se debe tener en cuenta que estos residuos en grandes cantidades provoca emisiones de gases de efecto invernadero y gases tóxicos, lo que genera impactos ambientales y problemas de salud pública. Por lo tanto la utilización de la biomasa agrícola como fuente de energía podría ser una de las estrategias para superar los problemas energéticos y los daños ambientales que se tienen al interior del departamento.

También se identificó que el departamento de Caldas aún no cuenta con proyectos de generación de energía por medio de la biomasa agrícola, los proyectos que actualmente

están implementando con los residuos orgánicos y agrícolas es una planta de bioprocesos y agroindustria que se encarga de la trasformación de esta biomasa en abono orgánico para los diferentes cultivos.

.

Dentro de las investigaciones realizadas se identificó que la caña de azúcar, caña panelera y café puede tener un rendimiento de metano de 51L/Kg a 195.8 L/Kg VS, 229 L/ kg SV a 349 L/kg SV, 126 L/kg a 400L/kg, lo que nos indica que los desechos agrícolas de estas diferentes cadenas productivas pueden considerarse una estrategia apta para la generación de energía en el departamento de Caldas, teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas del residuo ya que estas juegan un papel importante en la producción de metano por las características lignocelulosicas, las cuales deben ser tratadas con pre-tratamientos para generar la degradación de estos compuestos y por ende un mejor rendimiento de metano. Sin embrago es importante resaltar que antes de llevarse a cabo el proceso de digestión anaerobia, se debe evaluar minuciosamente las características de los sustratos ya que estos influyen directamente en los parámetros como pH, TRH, factores inhibitorios.

Convenciones

Símbolo	Descripción
ha	Hectáreas
A	Área
H	Hidrogeno
O	Oxigeno
C	Carbono
MS	Materia seca
MO	Materia orgánica
g	Gramos
Kg	Kilogramo
g/l	Gramos/ Litros
t/ ha- año	Tonelada/ hectáreas- año
Kg/ año	Kilogramos/ año
SVT	Solidos volátiles totales
ST	Solidos totales
TRH	Tiempo de retención hidráulico
TRS	Tiempo de retención de solidos
DBO	Demanda biológica de oxigeno
DQO	Demanda química de oxigeno
PJ/ año	Petajoule/ año
MJ/ Kg. MS	Megajulio/ Kilogramos de materia seca
$L.Kg^{-1}.VS$	Litros- Kilogramos de solidos volátiles

Bibliografía

1. Dávila, E.,Jiménez, J., Romero, O., yDewulf, J., (2012). Aplicación de la tecnología de digestión anaerobia para tratar residuos sólidos agroindustriales utilizando inóculo de estiércol porcino, en condiciones mesofílicas. *Tecnología Química*, *32*(3), 274-281. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852012000300011&lng=es&tlng=es

2. Castillo, E., F,Cristancho., D. E., y Arellano,V., (2003).Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, Recuperado de: https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/571/1091

3. Cendales, E.D., (2011*)* Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. *Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.*Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/4100/

4. Chala, B., Oechsner, H., Latif, S., yMüller, J. (2018). Potencial de biogás de los residuos del procesamiento del café en Etiopía. *Sustainability.* Recuperado deDisponible en https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2678

5. Acosta, L.,Obaya, M. A., (2005). La digestión anaerobia Aspectos teóricos Parte I.*Instituto cubano de investigacionesde los derivados de la caña de azúcar*. Recuperado de http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf

6. Dincă, M., Ferdeş, M., Paraschiv, G., Voicu, G., Ungureanu, N., Ionescu, M., Muşuroi, G., yZăbavă, B., (2017). "Agricultural feedstock characterization used in biogas plants", Acta technica corviniensis – Bulletin of Engineering, ISSN: 2067 – 3809. 2017.

7. Huertas, R.A, (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción más limpia* .Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000200014

8. Méndez, M. A., Canepa, J.R., Sosa, J. A., y Escalante, E., (2017). Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales. *Revista internacional de contaminación ambiental*. Recuperado de https://dx.doi.org/10.20937/rica.2017.33.01.10

9. Santa, M., Ruiz, A., Cruz, G.Jeoh, T., (2013) *BioEnergy*. Recuperado de https://doi.org/10.1007/s12155-013-9333-4

10. Latinwo, G., Agarry, S., (2015). Modelling the Kinetics of Biogas Production from Mesophilic Anaerobic Co- Digestion of Cow Dung with Plantain Peels. *Int. Journal of Renewable Energy Development*. Recuperado de http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ijred

11. Li, C., Liu, G., Nges, I.A., Deng, L., Nistor, M., y Liu, J. (2016) Fresh banana pseudo-stems as a tropical lignocellulosic feedstock for methane production. *Energy, Sustainability and Society*. Recuperadode https://doi.org/10.1186/s13705-016-0093-9

12. López, R., Quinto,P., Aguilar, H., y Garibay, C. (2015) Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos orgánicos putrescibles en la ciudad de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*. Recuperado de https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/347

13. Joute, Y. Belhadj, S., Gradi, Y.,y Stelte, W.,(2016). Semi-continuous anaerobic co-digestion of cow manure and banana waste: Effects of mixture ratio. *Applied Ecology and Environmental Research*.Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/299443246_Semi_continuous_anaerobic_co-digestion_of_cow_manure_and_banana_waste_Effects_of_mixture_ratio

14. Khan, M.T., Brulé, M., Maurer, C., Argyropoulos, D., Müller, J., Oechsner, H.(2016) Batch anaerobic digestion of banana waste - Energy potential and modelling of methane production kinetics .*Agricultural Engineering International*. Recuperado dehttp://www.cigrjournal.org/index.php/Ejounral/article/view/3244

15. Janke, L., Leite, A., Nikolausz, M., Schmidt, T., Liebetrau, J., Nelles, M., y Stinner, W. (2015). Biogas Production from Sugarcane Waste: Assessment on Kinetic Challenges for Process Designing. *International journal of molecular sciences*. Recuperado de https://www.mdpi.com/1422-0067/16/9/20685/htm

16. Sumardiono,S., Riyanta, A., Abdul, H., Kusworo, T., Bakti,J.,Budiyono (2017).Increasing biogas production from sugar cane baggase by anaerobic co-digestion with animal manure. *Emerging Concepts in Chemical Process & Energy Engineering*. Recuperado dehttps://doi.org/10.1051/matecconf/201710102014

17. Onthong,U.,Juntarachat,N., (2017). Evaluation of Biogas Production Potential from Raw and Processed Agricultural Wastes. *Energy Procedia Volume 138*. Recuperado dehttps://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.151

18. Talha Z., Ding, W., Hassan, E., y Bi,J., (2016). Alkaline Pretreatment of Sugarcane Bagasse and Filter Mud Codigested to Improve Biomethane Production. *BioMed Research International*. Recuperado de http://dx.doi.org/10.1155/2016/8650597

19. Das, M. (2016). The Effect of Temperature and Total Solid on Biomethane tion of Sugarcane Bagasse.*Scciencieand Technology*. Recuperado dehttps://www.researchgate.net/publication/303940489_The_Effect_of_Temperature_and_Total_Solid_on_Biomethanation_of_Sugarcane_Bagasse

20. Bastidas, J.C., Balseca,D.A., (2011). Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café. Recuperado dehttps://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/454/1/IAD-2011-T004.pdf

21. Beyene, A., Yemane, D., Addis, T., Assayie, A. A.,y Triest, L. (2014). Experimental evaluation of anaerobic digestion for coffee wastewater treatment and its biomethane recovery potential. *International Journal of Environmental Science and Technology:*https://search.proquest.com/docview/1665455656?accountid=36216

22. Corro, G., Umapada, P., Cebada, S. (2014). Enhanced biogas production from coffee pulp through deligninocellulosic photocatalytic pretreatment. *Ciencias de la Energía e Ingeniería*. Recuperado dehttps://doi.org/10.1002/ese3.44

23. Battista,F., Fino,D., y Mancini,G. (2016). Optimization of biogas production from coffee production waste. *Bioresource Technology, Elsevier*. Recuperado dehttps://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415015461

24. Ginting,N. (2017). Biogas Technology on Supporting "Sustainable" Coffee Farmers in North Sumatera Province, Indonesia. *IOP: Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Disponible enhttp://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/180/1/012112

25. Espinosa, H. (2017). Aprovechamiento de pulpa de café para la producción de biogás en un reactor flujo pistón. Disponible en https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/3297

26. Koyama, M., Júnior, M., Zaiat M., Júnior,A., (2016) Kinetics of thermophilic acidogenesis of typical Brazilian sugarcane vinasse. *Energy*.Recuperado dehttps://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.043

27. Borowski, S., Weatherley,L., (2013) Co-digestion of solid poultry manure with municipal sewage sludge.*Bioresource Technology*. Recuperado de .https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.047

28. Batista, J., Salazar, L., Castro, L., y Escalante, H. (2016). Co-digestión anaerobia de vinaza y gallinaza de jaula: alternativa para el manejo de residuos agrícolas colombianos. *Revista Colombiana de Biotecnología*. Recuperado de https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.53853

29. Pippo A., Garzone, P., Cornacchia, G.,(2007). Agro-industry sugarcane residues disposal: The trends of their conversion into energy carriers in Cuba.*Waste Management.*Recuperado dehttps://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.05.001

30. Rodríguez,R.P., Rodríguez, R.D., Klepacz-Smolka A., Martins R,C ., yQuina M.J ,. (2019). Comparative analysis of methods and models for predicting biochemical methane potential of various organic substrates.*Science of The Total Environment* Recuperado deDisponible en https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.270

31. Caldas. (2019, 1 de abril). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 01:05, abril 2, 2019 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Caldas&oldid=114972007.

32. Wendling, Z. A., Emerson, J.W., Esty, D.C., Levy, M.A., de Sherbinin, A., (2018). Índice de desempeño ambiental 2018. New Haven, CT: Centro de Derecho y Política Ambientales de Yale. https://epi.yale.edu/

33. Ministerio de minas y energía. (2018). Boletín estadístico de minas y energía. Recuperado de http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

34. Colombia e^2. (26 de marzo de 2019) iNNpulsa Colombia. Recuperado de http://www.innpulsacolombia.com/es/entrada/colombia-e2-el-nuevo-programa-que-llevara-energias-renovables-familias-de-la-guajira

35. Ministerio de minas y energía- Energías renovables no convencional. Recuperado de https://www.minminas.gov.co/energias-renovables-no-convencionales

36. Calleti, F. (7 de Marzo de 2007). Energía en Colombia: cómo funciona y su comportamientos en los últimos años 2016-2017.CVNO. Recuperado de https://www.cvn.com.co/energia-en-colombia-2017/

37. Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia- Anexo E- potencial energético departamental- Tomado de http://www.si3ea.gov.co/Home/Biomasa/tabid/76/language/es-ES/Default.aspx

38. Movimiento ríos vivos (Política energética colombiana y propuestas para su transformación. Recuperado de http://censat.org/es/publicaciones/politica-energetica-colombiana-y-propuestas-para-su-transformacion

39. Diálogo regional para la construcción del plan nacional de desarrollo 2014-2018- Cobertura energía eléctrica Caldas. Recuperado de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaciones/Encuentro%20Regional%20Caldas%20191214.pdf

40. Twenergy-(La biomasa en Colombia: el gran reto para generar energía sustentable). Recuperado de https://twenergy.com/co/a/la-biomasa-en-colombia-el-gran-reto-para-generar-energia-sustentable-1140

41. UPME (Unidad de planeación minero energética). Potencial biomasa. Recuperado de http://sig.simec.gov.co/GeoPortal/Mapas/Visores

42. Potencial energético departamental de la biomasa residual- Anexo E. Recuperado de http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/Anexo_E_Potencial_energetico_departamental.pdf

43. UPME (Unidad de planeación minero energética). ANEXO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS PIEC POR DEPARTAMENTO-(2012-2017). Recuperado de http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Anexo4_ResultadosPIEC2013-2017_Deptos.pdf

44. PIEC (Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica). 2013-2017, Recuperado de http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Resumen%20Ejecutivo_PIEC.pdf

45. Ministerio de agricultura. AGRONET. (2017). Principales Cultivos por Área Sembrada en 2017. Recuperado de https://www.agronet.gov.co/Documents/CALDAS_2017.pdf