



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

Fundada en 1936

COLEGIO

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DESDE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DEL MAÍZ PRODUCIDA EN LA HUERTA DEL COLEGIO DE LA U.P.B. A PARTIR DE LA LITERATURA CIENTÍFICA

Ana María Llano Buriticá

Juan David Cardona Longas

Susana Lenis Ramírez

Juan David Pemberthy González

Santiago Andrés Salazar Zea

Miguel Ángel Agudelo Agudelo

ASESORES:

Doris Carmona Pedraza

Juan Diego Castellanos Mejía

Octubre 13 de 2020

Lista de contenidos

1. Información general	5
2. Planteamiento del problema	6
2.1. Descripción del problema	6
3. Justificación	8
3.1. Impacto esperado	10
4. Objetivos	10
4.1. Objetivo general	10
4.2. Objetivos específicos	10
5. Marco teórico	11
5.1. Antecedentes	11
5.2. Marco conceptual	17
5.3. Marco legal	19
5.3.1. Tratados internacionales	23
6. Metodología	23
6.1. Etapa experimental	24
6.1.1. Materia prima	24
6.1.2. Medición de la siembra	26
6.1.3. Medición de los residuos	28
6.2. Documental – bibliográfica	28
6.2.1. Análisis del proceso de hidrólisis.	30
6.2.2. Análisis del proceso de fermentación	31
6.2.3. Análisis del proceso de destilación	31
6.3. Resultados y conclusiones	33
7. Cronograma	43
8. Referencias	50

Lista de gráficas

❖ Gráfica 1. <i>Crecimiento del cultivo de maíz en huerta del colegio</i>	33
❖ Gráfica 2. <i>Comparación de crecimiento de maíz en surcos</i>	34
❖ Gráfica 3. <i>Crecimiento de cultivo de maíz en casa</i>	34
❖ Gráfica 4. <i>Diagrama de los procesos de obtención de bioetanol encontrado</i>	38

Lista de imágenes

❖ Imagen 1. <i>Huerta ecológica del colegio de la U.P.B.</i>	25
❖ Imagen 2. <i>Siembra de maíz en la huerta del colegio</i>	26
❖ Imagen 3. <i>Fertilización del cultivo en la huerta del colegio.</i>	26
❖ Imagen 4. <i>Medición de las plantas de maíz</i>	27
❖ Imagen 5. <i>Residuos de maíz cosechados en casa</i>	29

Lista de tablas

❖ Tabla 1. <i>Referencia de la medición del crecimiento de las plantas de maíz.</i>	27
❖ Tabla 2. <i>Medición de los residuos de maíz.</i>	28
❖ Tabla 3. <i>Datos finales del cultivo de maíz</i>	29
❖ Tabla 4. <i>Métodos para el proceso de obtención de bioetanol</i>	30
❖ Tabla 5. <i>Variables para el proceso de hidrólisis</i>	31
❖ Tabla 6. <i>Variables para el proceso de fermentación</i>	32
❖ Tabla 7. <i>Variables para el proceso de destilación</i>	33

❖ Tabla 8. <i>Medición obtenida de los residuos de maíz.</i>	35
❖ Tabla 9. <i>Datos finales obtenidos del cultivo de maíz</i>	35
❖ Tabla 10. <i>Métodos obtenidos para el proceso de obtención de bioetanol</i>	36
❖ Tabla 11. <i>Variables obtenidas para el proceso de hidrolisis</i>	39
❖ Tabla 12. <i>Variables obtenidas para el proceso de fermentación</i>	40
❖ Tabla 13. <i>Variables obtenidas para el proceso de fermentación</i>	41

A. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto	Análisis de la producción de bioetanol desde la biomasa lignocelulósica del maíz producida en la huerta del colegio de la U.P.B. a partir de la literatura científica.
Pregunta de investigación	¿De qué manera producir bioetanol desde la biomasa lignocelulósica del maíz producida en la huerta del colegio de la U.P.B. a partir de la literatura científica?
Docente de la cátedra	Jerson Andrés Parra Cardona
Estudiantes responsables del proyecto	Miguel Angel Agudelo Agudelo
	Juan David Cardona Longas
	Ana María Llano Buriticá
	Susana Lenis Ramírez
	Juan David Pemberthy González
Grupo	11°5
Unidad académica	Colegio de la Universidad Pontificia Bolivariana
Palabras claves	Bioetanol, Maíz, Residuos Lignocelulósicos, Bio-refinería.

B. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

En los últimos años el concepto de bio-economía ha ganado gran relevancia dentro de la agenda global para la adopción de sistemas de producción enfocados en el uso sostenible de los recursos biológicos como alternativa a los recursos fósiles. Organismos como la CEPAL han destacado la importancia de que en estos nuevos sistemas se “minimice o elimine la generación de desechos y el uso de combustibles fósiles”. (Rodríguez, 2017, p.2).

Ante esto, la agroindustria se convierte en el principal protagonista al tratarse de una industria destacada por la elevada producción y al mismo tiempo por la gran cantidad de residuos que genera. Hasta el momento estudios como el de González, Gómez y Abad (2017) han revelado que “(...) se desecha hasta una tercera parte de los alimentos para el consumo humano, generando residuos desde el cultivo de la materia prima hasta su comercialización”. (p.142).

Estas altas cifras de residuos se convierten en una gran problemática al estar asociados a serios problemas ambientales, ya que al no ser aprovechados son destinados a malas prácticas como la quema, la deposición en rellenos sanitarios o el vertimiento a fuentes hídricas, haciendo que se conviertan en fuentes de contaminación de los recursos naturales, suelo, agua, aire y en general una problemática tanto ambiental como económica para los productores, ya que éstas se deben responsabilizar de los altos costos que genera su disposición final. (Yepes et. al, 2008).

Para el caso colombiano, el ser un país que cuenta con elementos diversos como la tierra, el clima y los recursos hídricos, hace que el sector agroindustrial sea uno de los más importantes, recientes cifras (Portafolio, 2020) muestra que el área sembrada en el 2019 fue de 4.329.016 hectáreas, siendo el sector de agroindustriales los que tuvieron mayor participación de terreno con un 48,7%, equivalente a 2.108.128 de hectáreas, que en su mayoría son sembrados productos como el café, la palma de aceite, caña de azúcar, maíz, arroz, banano y plátano de quienes se obtiene una producción de 14.974.807 t/año y se producen alrededor de 71.943.813 t/año, los cuales muchos serán destinados para prácticas como la incineración o arrojados a residuos sanitarios.

Dentro de estos productos, el maíz ha tenido un importancia destacada, ya que se ha logrado posicionar como uno de los cereales más consumidos en el mundo debido a sus amplias utilidades como un cultivo destinado a la alimentación humana y animal, y como materia prima en la producción de almidón industrial y alimenticio, en la elaboración de edulcorantes, dextrinas, aceite y otros productos derivados de su proceso de fermentación, como son el bioetanol, el alcohol industrial, el dióxido de carbono (CO₂), entre otros (Grande T, 2012, p. 97).

Sin embargo para Colombia, este cultivo al concentrar cerca del 13% del área agrícola sembrada genera una cantidad importante de materia orgánica la cual representa alrededor del 50% del total de la cosecha, es decir, solo la mitad del cultivo se aprovecha en forma de grano y el porcentaje restante corresponde a residuos como la caña, hojas, tusa, panoja, capacho, entre otras. Esto ha llevado a que los residuos de maíz en municipios como Ventaquemada (Boyacá) se empleen para malas prácticas como lo describe el trabajo de Fonseca, Rodríguez y Camargo (2017) “La mayoría de estos residuos son quemados para ser utilizados como abono, pero en ocasiones inesperadas estos residuos terminan en vertimientos de aguas residuales, provocando así una contaminación ambiental y un riesgo para la población”. (p.30).

Cabe resaltar que prácticas como la quema agrícola para eliminar los residuos no deseados, tiende a realizarse ya sea para reducir gastos económicos al evitar el desgaste de la maquinaria en el arado y el consumo de diésel o por la creencia de que se reincorporan los nutrientes al suelo, pero según estudios de la FAO (2012) “El uso del fuego en la adaptación de terrenos para la siembra del cultivo del maíz es una práctica extendida en la zona, cuyas consecuencias tienen estrecha relación con la vulnerabilidad al cambio climático”. (p. 27). Dentro de ellas está la erosión de los suelos, haciendo que pierda nutrientes y reduciendo la productividad.

Por otra parte, al ser una práctica que suele realizarse por etapas específicas en el año, genera mayores concentraciones de contaminantes, entre los que hay gases de efecto invernadero y dioxinas. Se ha estimado que la quema de biomásas y residuos “produce 40% del dióxido de carbono (CO₂), 32% del monóxido de carbono (CO), 20% de la materia o partículas de materia suspendidas (PM) y 50% de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) emitidos al ambiente a escala mundial” (CCA, 2014, p. 1), por lo que dichas partículas, en especial las inferiores a 10 micrones, tiene una gran implicación en la salud de las poblaciones cercanas debido a que el humo de las quemas agrícolas se libera a nivel del suelo lo que puede llegar a afectar la visibilidad en estas zonas y carreteras y los expone a componentes como el CO, los NMHC, el dióxido de azufre (SO₂), los NO_x, el agua (H₂O) y el CO₂; este último, responsable de reducir la habilidad de la sangre para suministrar oxígeno a los tejidos del cuerpo, y así, evitar la absorción de oxígeno en los pulmones y perjudicando su descarga a los tejidos.

Del mismo modo, la contaminación del aire o smog fotoquímico, al ser producido por la reacción entre la luz solar y compuestos como óxidos de nitrógeno (NO_x) y NMHC, forma ozono en las capas bajas de la atmósfera y es responsable de que deje de llover a los pocos días e incrementen la temperatura por la acumulación de gases de efecto invernadero, se pueden convertir en ácido nítrico llegando a dañar la estructura y función celular, y alterar la función inmune, disminuyendo la respuesta a infecciones. Incluso en concentraciones altas llega a dañar el ADN. (Fernández, 2015, p.12-13).

2. Justificación

El interés para desarrollar el presente trabajo de investigación surge a partir del desafío mundial por el cambio climático en la sustitución de combustibles fósiles y el aprovechamiento de residuos orgánicos, los cuales han venido marcando la agenda ambiental internacional, y están siendo objeto de estudio debido a la alta disponibilidad de residuos y los graves efectos que trae la quema de combustibles fósiles y de residuos. Esto ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías que utilicen los residuos o subproductos generados para la producción de materias o sustancias con un valor agregado, como lo son los biocombustibles de segunda generación que proponen la utilización de residuos orgánicos o biomásas para la generación de un biocombustible que no afecte la industria de alimentos y en los que el costo energético de producción y procesamiento llegue a tener un balance de CO₂ neutro. (Casas & Sandoval, 2014; Cabrera, 2016).

Ante esto, cada día se hace más importante la realización de proyectos que busquen el aprovechamiento de residuos agrícolas como fuente energética para la producción de bioetanol y de otros subproductos no alimentarios con el propósito de aprovechar estos residuos, también llamados residuos lignocelulósicos, como la paja de trigo y cebada, desechos de maíz, bagazo de caña, desechos de algodón, raquis de banano, pino, entre otros; y destinarlos hacia fines comerciales que generen ganancias económicas a través de la valorización de los residuos tras la cosecha y de esta forma evitar impactos ambientales al utilizar los residuos agrícolas para fines diferentes a la quema y desechos sanitarios.

Lo anterior es sustentado debido a que prácticas como la quema de residuos son una verdadera amenaza para el ambiente y la salud de las personas, empleada como técnica usual de limpieza de suelos debido a causas como la falta de información o el restringido acceso a rellenos sanitarios adecuados para esta materia, haciendo que se convierta en la manera más rápida y económica de reducir el volumen de la biomasa, despejar la zona para el nuevo cultivo, eliminar malezas y plagas pero con graves impactos al medio ambiente y la salud, como es el caso de Colombia donde la quema es una práctica que todavía se lleva a cabo en varias regiones y debido a la falta de tecnificación, los residuos corren la suerte de ser quemados y “en ocasiones inesperadas estos residuos terminan en vertimientos de aguas residuales, provocando así una contaminación ambiental y un riesgo para la población”. (Fonseca, Rodríguez y Camargo, 2017, p.2).

De esta forma, el presente trabajo investigativo, tomando como referente la siembra de maíz que se realiza en la huerta del Colegio de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín, se enfoca en el aprovechamiento de los residuos de dicho cultivo, ya que el maíz es uno de los cultivos de ciclo corto más relevantes a nivel nacional debido a que se siembran alrededor de 600.000 de maíz con una producción de 1.868.972 t/año; y sumado a que es un cultivo que genera una gran cantidad de materia orgánica la cual alrededor del 50% se cosecha solamente en forma de grano y el porcentaje restante corresponde a residuos como la caña, hojas, tusa, panoja, capacho, entre otras, lo hace un cultivo muy apetecido para el aprovechamiento de sus residuos pos-cosecha, especialmente en generación de biocombustibles como el etanol, que es una alternativa para la sustitución de combustibles fósiles como gasolina, diésel y gas.

Debido a lo anterior, el proyecto se enmarca en la descripción del proceso de obtención de bioetanol como alternativa energética, la que permite generar ventajas competitivas frente a otras fuentes primarias de energía. Ya que teniendo en cuenta que la producción global de bioetanol a partir de las materias primas dirigidas a la industria de alimentos como puede ser el grano de maíz, la caña de azúcar, la remolacha azucarera, entre otros, conllevan efectos negativos para la economía y para el medio ambiente, haciendo que los de segunda generación que son obtenidos a partir de residuos muestren cada vez más un interés mundial, ya que no representen efectos negativos sobre la industria de alimentos, siendo este el gran reto o como detalló Cortés 2007 (como se citó en Cortés, 2009) “realidad que pone de presente la imperiosa necesidad de satisfacer las necesidades alimentarias o destinar esas tierras y cultivos a satisfacer la voracidad de la industria de los automotores”. (p. 103), este objetivo ha servido como una hoja de ruta para las investigaciones que se hacen sobre las demandas de la industria de los biocombustibles como es el caso de países tales como Suecia o Brasil, que han implementado plantas pilotos para investigar la producción de etanol de segunda generación a través del concepto de bio-refinería.

Atendiendo a estas demandas, consideramos importante evaluar en profundidad los procesos que se requieren para la obtención de alcohol de segunda generación a partir de residuos de maíz, teniendo en cuenta la literatura científica existente y enfocado en el aprovechamiento de espacios escolares y la promoción de la agricultura integrada al concepto de bio-refinería sostenible, donde se genere un valor agregado a los residuos agrícolas con el propósito de poder generar investigaciones que busquen la revitalización del sector agrícola destinado a la producción de maíz e incrementar el ingreso de los productores en Colombia, cuya situación según cifras de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales (Fenalce, 2010, p. 12), el 60% de los productores son pequeños, hasta 10 hectáreas, 30% medianos hasta 30 hectáreas; y el 10% se considera grande; lo que permite dar cuenta que es un cultivo de pequeños productores.

Para esto, el presente proyecto de investigación busca la modelación de la obtención de bioetanol a partir del material lignocelulósico de los residuos de maíz por medio de la literatura científica con el fin de servir como una propuesta productiva, en tanto que sirva de modelo exploratorio para aumentar las ganancias de los cultivos de maíz, y ambiental, en la medida que resuelva los problemas que traen la quema de los residuos por lo que la importancia de su realización se propone partiendo de los proyectos de investigación que buscan el aprovechamiento de residuos agrícolas para obtener productos que generen mayor valor agregado tienen la característica que no solo lleva a una mejora ambiental, sino que también tiene un impacto considerable en dimensiones económicas y sociales.

Como bien lo han resaltado Sánchez, Gutiérrez, Muñoz y Rivera (2010, citado en Peñaranda, Montenegro y Giraldo, 2017) es un hecho que el empleo de la biomasa lignocelulósica, como materia prima en la obtención de bioetanol, representa una oportunidad relevante para la producción de este biocombustible a bajos costos, además de contribuir a la solución de la problemática ambiental generada por los desechos agroindustriales. (p. 83).

2.1 Impacto esperado

Se tiene como objetivo realizar un proyecto exploratorio en la huerta del Colegio de la Universidad Pontificia Bolivariana para la investigación de los procesos de obtención del bioetanol haciendo uso del espacio que ha sido destinado para la siembra de cultivos de maíz y los desechos que son producidos en la cosecha.

De igual forma se pretende realizar un hoja de ruta para futuras investigaciones que se enmarquen en los procesos productivos sostenibles, como lo es el aprovechamiento de residuos de la cosecha de maíz para la generación de bio-productos cuyo impacto se extiende hasta una órbita más amplia como el mejoramiento de la calidad de aire, el avance en el aprovechamiento del residuo para la extracción de etanol, y de la misma manera, el beneficio que se garantiza al evitar emplear la primera generación del maíz en dicho proceso de forma que no se entre en el conflicto entre los combustibles y la alimentación, que es una de las razones por las que se critican los biocombustibles, y así pueda ser utilizado para beneficio de los consumidores de este alimento y de la misma manera se estaría fortaleciendo el sector agrícola como la agroindustria que generan una cantidad importante de empleos que se traducen en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas que se dedican a este sector.

3.Objetivos

3.1 Objetivo general:

Realizar un modelo exploratorio de obtención de bioetanol de segunda generación desde la biomasa lignocelulósica del maíz obtenida en la huerta del Colegio de la Universidad Pontificia Bolivariana a partir de la literatura científica.

3.2 Objetivos específicos:

- Realizar el proceso de siembra en la huerta del colegio de la U.P.B.
- Establecer el crecimiento de maíz cultivado en la huerta del colegio y en casa.
- Caracterizar la biomasa cultivada a través del peso, altura y rendimiento del cultivo de maíz.
- Comparar los métodos de obtención de bioetanol a partir de residuos de maíz consultados en la literatura científica.
- Determinar el método de hidrólisis, fermentación y destilación más efectivo para la obtención de bioetanol a partir de los residuos de maíz teniendo en cuenta los alcances del proyecto.

• 4. Marco teórico

• 4.1 Antecedentes

Para el escenario nacional, es de entender que la mala calidad del aire es uno de los problemas que más afectan en la actualidad a los colombianos y buena parte de esta es originada por los combustibles fósiles que en su quema liberan a la atmósfera una gran cantidad de gases, como los GEI (gases de efecto invernadero) dentro de ellos el CO₂. En ese sentido, ciudades como Medellín, que actualmente cursa por un estado de prevención, tienen que hacer hincapié en soluciones sostenibles y que no sean perecederas en el tiempo. Para dar una respuesta a esta situación están los biocombustibles, que, por su origen vegetal, son energéticos renovables que no producen complicaciones en la calidad del aire al tener un balance de CO₂ neutro, es decir no produce más gases de este tipo de gases.

La situación en Colombia que se ha venido incursionando desde el año 2003 en la producción de biocombustibles, actualmente ocupa un lugar muy privilegiado en cuanto a ubicación geopolítica, favoreciendo la producción y la competitividad de biocombustibles en América Latina, junto con Brasil, Argentina e incluso en el Norte con Estados Unidos. A pesar de ello, su producción de biocombustibles va directamente a satisfacer la escasa demanda existente, sin embargo, es de resaltar que, en la producción de biocombustibles como el bioetanol, está estrictamente relacionada con la industria azucarera. Según cifras de Fedebiocombustibles, el 16% de la producción de caña de azúcar va dirigida a la producción de alcoholes dentro de ellos, el bioetanol (Fedebiocombustibles, 2013).

Para la producción de bioetanol de maíz en Colombia, es bastante difícil la construcción de plantas dirigida a la producción comercial de bioetanol de primera generación debido a que, para el caso de Colombia, el maíz es una materia prima dependiente de las importaciones debido a los procesos resultantes de los tratados de libre comercio, en donde actualmente “el consumo total de maíz fue de 4.053.223 toneladas y se satisface en un 85 % con importaciones y en un 15 % con la producción nacional”. (Tovar, C. et al. 2013).

Ante esto, actualmente se han venido desarrollando investigaciones y estudios exploratorios esencialmente universitarios sobre la producción de bioetanol, como es el estudio dado en una maestría de la Universidad Nacional sede Medellín sobre la obtención del mismo a partir del maíz. En dicha tesis hecha por Olmedo Jesús Cuaspué Cáliz de la Universidad Nacional de Colombia, se usó el modelo multifactorial Box-Behnken que consiste en hacer una serie de experimentos menor al de diseños factoriales para determinar la influencia que pueden tener ciertas variables independientes sobre una variable respuesta, la concentración de azúcares reductores. De esta forma se llega a la ecuación con la que se hallarán los valores de las condiciones óptimas. (Cuaspué Cáliz, 2017).

Primero se analizaron los componentes estructurales del maíz obteniendo un 26.52% de celulosa, un 42.89% de hemicelulosa y un 30.59% de lignina insoluble, lo que evidencia

que las plantas analizadas son jóvenes, debido a que su contenido de hemicelulosa es mayor que el de celulosa. (Cuaspud Cáliz, 2017, p. 44).

Al hidrolizarse con ácido sulfúrico (H₂SO₄) se nota que en concentraciones de sólido de 10 y 20 (%p/v) al pasar los 45 minutos se disminuye la cantidad de azúcares reductores obtenidos pues se vuelven inhibidores, mientras que en la concentración 30 (%p/v) esto no pasó, demostrando que los azúcares no estaban tan expuestos al ácido, lo que reduciría esta conversión. (Cuaspud Cáliz, 2017, p. 48).

En el proceso de hidrólisis, se optó por la hidrólisis ácida en la que se evalúan las variables: concentración de ácido, carga de sólido (sorgo dulce) y el tiempo, para determinar la incidencia de cada una y las condiciones óptimas, concluyendo que se obtienen niveles más altos de azúcares con mayores concentraciones de carga de sólido (30% p/v) y de ácido (6% p/v), aunque estas altas concentraciones de ácido (acético y furfural) podrían producir inhibidores de crecimiento para las levaduras. El porcentaje de contribución de azúcar fue mayor para la hemicelulosa, con un 42% mientras que la celulosa tuvo un 26,5% (Cuaspud Cáliz, 2017, p. 6).

En estudios realizados por Lloyd y colaboradores, se observó que al hacer el pretratamiento con ácido diluido en bagazo de maíz a antes de los 30 minutos de hidrólisis había valores muy bajos de azúcares reductores obtenidos, debido a que la fase creciente empieza en esa medida y es mayor cerca a los 60 minutos cuando la temperatura se encuentra entre 120 y 210°C. Después los azúcares se empiezan a convertir en inhibidores. (Cuaspud Cáliz, 2017, p. 52). El maíz que se utilizó tenía una pared celular con un 33% de celulosa, la cual es la principal fuente de carbono para que microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae* inicien la glucólisis y se obtenga bioetanol.

Para los tratamientos de detoxificación se optó por carbón activado (CA) y overliming (OV). En el experimento se evidencia que este es el mejor reteniendo glucosa pues su disminución es tan solo del 10%, esto, a pesar de ser malo reduciendo la concentración de ácido acético. Algo en lo que el overliming le supera, reduciendo el ácido hasta un 91% y ambos combinados lo reducen hasta 95%. El CA es el método más efectivo para reducir la concentración de compuestos fenólicos. “la fermentabilidad del material detoxificado puede incrementarse mediante la estrategia de adaptar previamente el microorganismo al mismo”. (Cuaspud Cáliz, 2017, p. 70).

Respecto a la adaptación de la levadura *S. cerevisiae* al hidrolizado: algunos autores reportan que en hidrolizados que contengan inhibidores en concentraciones cercana a la IMC (2.28 g/L of acetic acid, 0.36 g/L of furfural, and 0.21 g/L of HMF), es posible adaptar la cepa, cambiando la relación de la concentración del hidrolizado con un medio enriquecido (Qureshi et al., 2015). (Cuaspud Cáliz, 2017, p. 70). Por lo tanto, se realizó el proceso de adaptación desde un medio YPG (*Yeast Extract–Peptone–Glycerol*) al 100% y luego de 24 horas incrementar la concentración del hidrolizado un 10%, repitiendo este ciclo hasta alcanzar un medio de 100% de hidrolizado.

En un hidrolizado sin tratamiento de detoxificación, al sexto día, cuando la relación del medio era 1:1 la biomasa decreció en un 75% respecto al día anterior demostrando que la cepa no podía resistir cantidades de inhibidores como “ácido acético $9,69 \pm 1,6$ g/L, 5-HMF (5-Hidroximetilfurfural): $1,51 \pm 0,32$ g/L y compuestos fenólicos $3,75 \pm 0,22$ g/L” (Cuaspué Cáliz, 2017, p. 71). Se hizo el mismo procedimiento hidrolizado con los métodos de carbón activado y overliming, observando que luego del día 11 el decrecimiento de la biomasa era menor al 25%.

En la fermentación del hidrolizado se usaron dos regímenes de agitación 100 y 200 rpm (revoluciones por minuto) con una escala de matraz agitado de 250 ml con 100 ml de medio. Se notó un incremento de biomasa cuando la agitación es de 200 rpm con respecto a las 100 rpm debido a que el medio se airea más permitiéndole a la levadura *S. cerevisiae* concentrarse en multiplicarse y no en fermentar, que es lo que se busca. El hidrolizado tratado con CA reporta mayor rendimiento que el tratado con OV, siendo 83.56% y 36.17% de rendimiento de etanol, respectivamente.

La velocidad de crecimiento de la biomasa es mayor a 100 rpm, llegando a su máximo en 14 horas, mientras que a 200 rpm se demora 28 horas en alcanzar su mayor concentración, que es menor que la de 100 rpm, debido posiblemente al daño sufrido por estrés hidrodinámico. (Cuaspué Cáliz, 2017, p. 74). Al comparar los rendimientos en la fermentación para los hidrolizados con CA y con OV se puede concluir que el overliming reduce mucho más ácido acético y 5-HMF que el carbón activado, pero en menor medida los compuestos fenólicos que resultaron siendo inhibidores más importantes que los aldehídos furánicos y ácidos alifáticos. (Cuaspué Cáliz, 2017, p. 76).

En el 2006 se llevó a cabo una investigación de la Universidad Manuela Beltrán, liderada por Elsa Beatriz Fonseca Santillana donde se realiza un pretratamiento del maíz para posteriormente evaluar los porcentajes de azúcares reductores obtenidos en diferentes tratamientos de hidrólisis, donde se varía el porcentaje de ácido sulfúrico empleado y los tiempos de reacción.

Los resultados, muestran que es factible la obtención de cantidades importantes de azúcares reductores (alrededor del 24% para el trigo y del 18% para el maíz) por el método propuesto, más aún si son comparados con los obtenidos por otros autores (Ferrer et al, 2002). (Fonseca, E, 2006, p. 10). Para el procedimiento emplearon métodos combinados químicos y enzimáticos, pre-tratando la biomasa por explosión a vapor a temperaturas entre 190°C y 230°C, obteniéndose una mayor eficiencia en cuanto a la producción de alcohol. (Fonseca, E, 2006, p. 6).

Para el pretratamiento, “el material vegetal es secado por 4 horas a 100°C, posteriormente se pica manualmente y se tamiza durante 10 minutos, se selecciona y conserva en bolsas sellopac todo el material vegetal de tamaño inferior a 1 mm”. (Fonseca, E, 2006, p. 7). Para dicho proceso de pretratamiento se utilizan equipos como una Estufa *Memmert* y un Tamizador: *Sieve shaker 18480 Sc scientific company Inc.*

Posteriormente, el material vegetal preparado, se somete a hidrólisis ácida mediante ebullición a reflujo a presión atmosférica a una temperatura de 100°C y una velocidad de

agitación de 100 rpm, empleando ácido sulfúrico a diferentes concentraciones: 2%, 4%, 6% y 8% peso a peso y diferentes tiempos de reacción: 4, 8 h y 12 h en una relación ácida: material vegetal de 30:1. (Fonseca, E, 2006, p. 7). En el caso de los restos de maíz, los mayores porcentajes de azúcares se encontraban alrededor del 18% y corresponden al tratamiento de 4 horas de hidrólisis con ácido sulfúrico al 8% y al tratamiento de 12 horas de hidrólisis con ácido sulfúrico al 8%. (Fonseca, E, 2006, p. 10).

Para el panorama mundial la producción de bioetanol ha estado creciendo en los últimos años, su producción ha alcanzado a sobrepasar más de los 10.000 millones de galones, sin embargo, la gran mayoría de los productores de este biocombustible siguen siendo Brasil y Estados Unidos que lideran cerca del 33% del mercado mundial Schneuer Finlay, D. A. (2010). Por lo que en los últimos años existe un mayor número de trabajos investigativos sobre la obtención de bioetanol a partir de residuos por medio de métodos específicos.

Dentro de las investigaciones internacionales, encontramos una gran variedad de antecedentes acerca de la producción de etanol a partir de maíz. En Cuba, Mabel Viñals-Verde, Antonio Bell-García, Georgina Michelena-Álvarez y Marlen Ramil-Mesa, trataron el tema en un proyecto denominado “Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica” con conclusiones interesantes, tales como la utilización de bacterias genéticamente modificadas para obtener etanol de lignocelulósicos que da resultados importantes en la conversión de los azúcares de 4 y 5 átomos a etanol, y confirman que la conversión química de la biomasa lignocelulósica en etanol es una alternativa promisoriosa para obtener etanol combustible.

En México, el proyecto de nombre “Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos para la producción de etanol como carburante” nos ayuda a ver las utilidades de la caña de azúcar y el almidón de maíz para el etanol, una investigación hecha en el 2011 por Miguel A. Medina-Morales, Lorena Lara-Fernández, Cristóbal N. Aguilar y Heliodoro de la Garza-Toledo concluyen que la biomasa es efectiva y es considerada una fuente renovable de energía porque está compuesta de residuos agroindustriales que la sociedad no le dará un uso importante, por el contrario, convertirla en bioetanol sería la alternativa que más provecho saca de dichos materiales, económicamente y tecnológicamente.

En Chile un estudio de Schneuer, D. (2010), logró a partir del aprovechamiento del material lignocelulósico del maíz obtener bioetanol, levadura como alimento animal, Xilitol y Lignina para fines comerciales, los cuales aportaron a la sustentabilidad y rentabilidad de la planta de bio-refinería ya que debido a la cantidad que se produce y al precio de mercado que poseen en el país, en su producción fue importante la producción de co-productos de bio-refinería para provocar un excedente, que disminuye considerable los costos de producción. (Schneuer, 2010, p.60).

Dentro de este proyecto se realizó en primer lugar un lavado donde se aspiran y eliminan las impurezas como polvo, piedra y arenas que trae consigo la materia prima, posteriormente se inició con el proceso de molienda donde se usó un molino de bolas vibratorias para obtener la biomasa pulverizada a un tamaño aproximado de 3,3 mm. Los siguientes pasos tuvieron como objetivo el pretratamiento a partir de la impregnación de

ácido sulfúrico diluido en agua al 1% (p/p) que es agregado en proporción 2: con la porción del material a una presión de 40.8 atm; luego se realizó el proceso de separación de la lignina, el material hemicelulósico, la celulosa y otros compuestos que al recibir vapor de agua a alta temperatura causa la separación de estas biomoléculas. El material es sometido al vapor de agua a una temperatura de 190°C por 90 segundos y una presión de 40,8 atm (60 psi). (Schneuer, 2010, p. 51).

En este punto se produce cierta cantidad de inhibidores que representan problemas para la optimización de los procesos de obtención, sin embargo, estos deben ser disminuidos en los posteriores procesos.

Posteriormente se realizó la hidrólisis y la fermentación en el mismo reactor a través del proceso de SSF, donde: “se reciben los azúcares, liberándolos a través de la sacarificación y luego los convierte en bioetanol, con una conversión de 51% de glucosa a bioetanol y un rendimiento del 89% “los parámetros para el proceso fue tener una temperatura del reactor de 35°C y el tiempo de aproximadamente 96 horas” Dentro de la investigación bibliográfica que se sustentaba el proyecto se tenía que el proceso de hidrólisis podría ser realizada con ácidos minerales o enzimas celulosas debido a que el proceso realizado con enzimas es más económico y tiene mejores proyecciones de disminución de los costos, debido a los avances en tecnología e investigación. (Schneuer, D, 2010, p. 53).

Interpretando los resultados, “Para realizar la hidrólisis y la fermentación es necesario agregar levaduras (*S. cerevisiae*) 120, proveniente del preinóculo, enzimas (Celulasas) y nutrientes (proporcionados por la biomasa), los cuales son fundamentales para provocar la reacción deseada. Por otro lado, este proceso produce CO₂ y residuos, los cuales deberán ser separados en procesos posteriores” (Schneuer, D, p. 54). Finalmente, el proyecto además de la elaboración de bioetanol, se encargó de subproductos como el Xilitol (con una producción de 44 g/l de solución y obteniendo los hidrógenos de los nutrientes de la biomasa), el cual, se proyectó para ser comercializado como endulzante natural (Schneuer, D, p. 54). Lo anterior, es visionado como una gran oportunidad para desarrollar en nuestro proyecto de investigación.

Hernández (2018), efectuó un estudio cuyo objetivo era el análisis de factibilidad técnica para la producción de bioetanol a partir de residuos de maíz en Ecuador. Se produjo bioetanol a partir de residuos de maíz en la provincia de Imbabura, Ecuador, utilizando los residuos de una variedad de maíz denominada “Zea Mays 1”. En esta investigación se determinó su factibilidad en cuanto a su posible producción en términos de biomasa disponible y, en su uso para el motor como combustible, así mismo, se evaluó la implementación de este como una alternativa viable para mitigar los impactos negativos de los combustibles corrientes, teniendo resultados satisfactorios. El artículo se relaciona directamente con nuestro proyecto ya que describe y pone en práctica los procesos que se deberán realizar para extraer el etanol de los residuos del maíz. Este artículo prueba que el proyecto no solo se podría implementar de manera local, regional o incluso nacional, demuestra que el biocombustible se puede extraer de cualquier cosecha de maíz de una determinada especie y con las condiciones óptimas de manera global. (Hernández, E et al).

El anterior estudio realizó un proceso de obtención con hidrólisis enzimática y empleó la biomasa obtenida en la provincia de Imbabura, cuya cosecha tuvo un tiempo promedio de 225 días y sus plantas una altura de 250 cm, en el proceso de pretratamiento se realizó la molienda hasta obtener fragmento entre 3 y 8 mm, luego se llevó a un recipiente donde se añadió a la biomasa fragmentada 0,75 gramos de la enzima D-xilosa por kg de materia, y un litro de agua dejándose a una temperatura de 30 °C por 8 días hasta obtener un valor de grados Brix de 13°.

Posterior al proceso fermentativo el estudio añadió a la mezcla 0.68 kg de levadura y dejó pasar hasta pasados 8 días para finalmente el proyecto realizar el proceso de destilación donde la sustancia fermentada se somete a una temperatura entre 80 °C a 85 °C, de esta forma el alcohol se evapora y mide por medio de un alcoholímetro, el porcentaje de alcohol. Según los resultados el proceso de destilación tuvo que realizar una serie de repeticiones o rectificaciones para obtener un grado alcohólico de 96.5% y así ser apto para la implementación como carburante.

Por otro lado, la investigación realizada por Juan Francisco Ortega Tapia (2018) de la Universidad Internacional SEK, también desarrolla la obtención de bioetanol a partir de residuos de maíz. Su proyecto comienza con la caracterización de las semillas de maíz y el zona de siembra de este cultivo ubicado en la provincia de Pichincha, Ecuador, parroquia Quinche, con condiciones agroecológicas de una altitud a 2200 – 3000 msnm, una temperatura entre 20 y 30 grados centígrados y uno suelo profundo y apto para la siembra.

El proyecto tuvo dos partes esenciales, la primera fue la obtención de alcohol a partir del tallo de maíz tipo *Zea mays L* y la segunda el desarrollo de los ensayos de torque, potencia y las emisiones dinámicas y estáticas en un motor de combustión interna (MCI), por lo que la primera parte desarrolló un procedimiento descriptivo y experimental de la obtención de etanol a partir de tallos, que representa cerca del 20 % de la planta de maíz.

El primer paso de obtención fue el acondicionamiento de los tallos, los cuales fueron lavados con agua y previamente se les extrajo las hojas y espigas, para de esta manera ser triturado en un rodillo estriado hasta que el proceso de molienda se obtenga el jugo de tallos de maíz para un rendimiento de 10 litros por 24kg. Posteriormente, se tamiza en una longitud de 1mm. (p.28). En el proceso de sacarificación se dispone un caneca en la que se mezclan 175 gramos de levadura activa seca comercial marca levapan y se agrega 250 ml de agua, para luego introducir el jarabe o jugo en proporciones 10 ml de levadura activa por 1 L de jugo de caña para un porcentaje v/v de 1%. (p.29).

Se realiza un estudio en el proceso fermentativo basado en 10 ensayos donde se introdujeron diferentes variables de temperatura y agitación magnética con el propósito de determinar eficiencias y cantidades del bioetanol, para ello se midió igualmente los grados Brix y el pH inicial y final, pasadas 72 horas se desarrolló el proceso de destilación binaria donde igualmente se realiza un estudio de la temperatura y el porcentaje de alcohol obtenido de acuerdo a los 10 ensayos de la fermentación.

Finalmente, en el estudio se concluye que a pesar su rendimiento de 1 L de jugo por cada 7,11 kg de tallo de maíz; afirma que este podrá cambiar según el cambio de “una especie a otra, manejo del cultivo del maíz, sistema de siembra y la edad de la planta” (p.84) por lo tanto la realización de estudios de obtención es necesario la evaluación de los procesos que anteceden al pretratamiento de la biomasa. De igual forma los valores de ph y grados brix anteriores a la etapa de fermentación, que en los estudios comparativos oscilan entre 5 y 12 respectivamente y pasadas las 72 horas obtienen valores de grados brix de 4,5 con un porcentaje de reducción de 65%, dependerá de la “fermentación, la variedad, la madurez o etapa de crecimiento, el agua y el manejo de la fertilización”.

En la recomendaciones finales el estudio estipula que en los ensayos que se destilaron hasta una temperatura de 75° C “lograron obtener el porcentaje de alcohol requerido, en tanto que los ensayos que se destilaron hasta una temperatura de destilación de 90° C, no son adecuados para el estudio” (p.86) y dentro de los valores recomendables en la fermentación es una temperatura de 30°C con una previa agitación entre 300 y 500 rpm.

4.2 Marco Conceptual

Residuos lignocelulósicos: es la materia residual de los productos de la agricultura, los restos de la planta que quedan luego de extraer el fruto o grano. Las paredes vegetales de los residuos lignocelulósicos están conformadas a nivel molecular por tres estructuras: celulosa, hemicelulosa y lignina, cuyos porcentajes varían según el tipo y la edad de la planta. (Cuaspud Cáliz, 2017).

La celulosa es un polímero estructural de las paredes celulares de las plantas que componen la parte fibrosa de la planta. Este polímero lineal tiene subunidades de glucosa unidas entre sí por enlace β -1-4 glucosídicos los cuales son la unidad de repetición de cadenas de celulosa y al romper estos enlaces con ciertos ácidos o enzimas se pueden extraer azúcares fermentables. (Cuaspud Cáliz, 2017).

La hemicelulosa es un grupo de heteropolisacáridos insolubles en agua. “La hemicelulosa de la pared celular está dispuesta por una cadena principal de β -(1,4) xilopiranosil con α -L-arabinofuranosa en las ramificaciones. En plantas de cereales se alternan los enlaces β -(1 \rightarrow 4) con β -(1 \rightarrow 3)” (Cuaspud Cáliz, 2017, p. 15).

La lignina constituye entre un 10% y 15% de la biomasa de los cereales, su composición química está constituida por tres tipos de unidades repetitivas: umaril (H), guaiacil (G) y siringil (S). Se encarga del transporte de agua, nutrientes y metabolitos, además de cumplir funciones estructurales debido a su alta capacidad de entrecruzamiento. (Cuaspud Cáliz, 2017).

Los biocombustibles: son recursos energéticos procesados por el ser humano a partir de materias producidas recientemente por seres vivos, a las cuales se les denomina “biomasa”. Pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión.

Existen varios tipos de biocombustibles, a los cuales se les clasifica de acuerdo al insumo o materia prima y a la tecnología empleada para producirlos. Debido a los avances en la tecnología, esta clasificación se realiza por generaciones. (Maciel, C. Á, 2016).

Según Maciel (2016) los biocombustibles de primera generación son de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas, las cuales tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites, mientras los de segunda generación son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa, los de tercera generación son de insumos vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina cultivos energéticos como las algas y los de cuarta generación son los biocombustibles producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO₂) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles.

Bioetanol: se define como un tipo de alcohol inflamable que se obtiene a partir de la fermentación de ciertos tipos de material orgánico, principalmente la materia vegetal con alto contenido en celulosa. El bioetanol se puede obtener mediante la fermentación de plantas como la caña de azúcar, el maíz, los cereales o la remolacha (Arriols, E. 2018).

El concepto de bioetanol como un combustible se introduce con los motores de ciclo Otto, inventados por el ingeniero Nikolaus Otto en 1876, que fueron diseñados para usar el etanol como su combustible principal, pero, con el desarrollo de la industria petrolífera, se produjo una reducción en su popularidad y se comenzó a utilizar el petróleo y los combustibles fósiles como fuente principal de obtención de combustibles y se redujo el uso del etanol. (Abascal, R. 2017).

El Maíz: (*Zea mays*) es uno de los cultivos más importantes a nivel nacional ya que representa el 15% del área agrícola. En Colombia se siembran alrededor de 600.000 hectáreas de maíz con una producción de 1.868.972 t/año, siendo Córdoba y Tolima las zonas de mayor producción (Secretaría de agricultura y desarrollo rural, Gobernación de Antioquia, 2015). En los cultivos de maíz, se genera una gran cantidad de desechos la cual alrededor del 50% se cosecha en forma de grano y el porcentaje restante corresponde a residuos como la caña, hojas, tusa, panoja, capacho, entre otras, la materia que se necesita para producir biocombustibles y otros derivados.

Según investigaciones realizadas en el departamento del Meta, con base en la información suministrada por la Secretaría de Agricultura del Meta y de la Encuesta Nacional Agropecuaria del año 2006, para una producción de maíz de 1.368.996 t/año se generan alrededor de 1.728.642 t/año de rastrojo, 369.629 t/año de tusa y 288.858 t/año de capacho.

Estos residuos pueden ser utilizados en diferentes procesos como en la obtención de fibra para alimentación animal y producción de etanol o para la cobertura del suelo

con el fin de protegerlo de las condiciones ambientales ya implementado en el departamento del Meta (Núñez, 2012; Cardona et al. 2005).

Para la producción de etanol a partir de residuos de maíz, se tiene una eficiencia en procesos de molienda húmeda y molienda en seco superiores al 95% en la recuperación de etanol, con rendimientos de 419,4 L/t y 460,6 L/t de maíz para molienda en seco y 403,1 L/t de maíz para molienda en húmedo. (González, Gómez y Abad, 2017).

GEI: los gases de efecto invernadero o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. En la atmósfera de la tierra, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). (Ballesteros, 2007)

Bio-refinerías: Las bio-refinerías son instalaciones que de un modo sostenible transforman biomasa en un amplio espectro de productos energéticos, alimentos, piensos, fertilizantes y bioproductos o “bio-based products”. (AEBIG - Asociación española de biogás).

La biomasa es la materia prima de una bio-refinería del mismo modo que el petróleo es la de una refinería tradicional. En las bio-refinerías, la materia prima son recursos biológicos como los cultivos tradicionales, residuos orgánicos de origen agrícola, ganadero, forestal, industrial o urbano, o incluso microalgas. (AEBIG - Asociación española de biogás).

Para conseguir esta amplia gama de productos las bio-refinerías integran en una misma instalación distintos procesos que pueden ser físicos, químicos, termoquímicos o biotecnológicos. Los productos intermedios que se generan tras las transformaciones primarias de la biomasa se denominan “plataformas” a partir de las cuales se aplican procesos de transformación o refinado secundarios hasta alcanzar los productos finales. (AEBIG - Asociación española de biogás).

4.3 Marco Legal

Actualmente en Colombia, el aprovechamiento de residuos ha estado en la agenda de diferentes políticas de Estado por medio de compendios de instituciones materializados en documentos del CONPES por el Departamento Nacional de Planeación, el cual ha reunido diferentes estudios, los cuales versan sobre el modelo de economía lineal que sustenta la economía mundial, basada en el empleo de recursos naturales transformados en cadenas de producción y consumo. Dichos estudios han denunciado que este modelo de economía está afectando la capacidad de carga de los ecosistemas, generando

problemas asociados con la contaminación ambiental, el agotamiento de los recursos renovables y la seguridad alimentaria, lo que en resumen no está permitiendo un desarrollo eficiente que consolide la sostenibilidad entre la oferta de recursos y la necesidad de una sociedad en continuo crecimiento.

Por ende ha sido un plan estratégico para estas entidades llevar a cabo medidas y regulaciones que soporten el concepto de economía circular, ya que esta busca disminuir la presión sobre el capital natural, manteniendo productos, materiales y recursos el mayor tiempo posible en el ciclo económico, eliminando las externalidades negativas asociadas, para lo cual busca identificar oportunidades para el sector empresarial, promoviendo esquemas de productividad con innovación, eficiencia y generación de empleo en la producción de bienes y servicios.

Dentro de lo que se ha podido definir en los estudios del CONPES junto a instituciones anexas al Departamento Nacional de Planeación ha sido:

1. La pérdida de recursos que conlleva el actual modelo de economía lineal es algo que ninguna nación puede permitirse en un contexto de fuerte dependencia de la cadena de suministro, así como de un previsible y significativo aumento de los precios de materias primas y fuentes de energía. Así mismo, no aprovechar los recursos que pueden recuperarse de los residuos generados supone, ahora mismo, una pérdida económica y de competitividad.
2. La estrategia en economía circular deberá ser ampliada a otros sectores relevantes de la economía colombiana a medida que se vaya implantando el nuevo modelo de economía circular y vayan surgiendo oportunidades.
3. Algunos beneficios del aprovechamiento de residuos sólidos a nivel ambiental, social y económicos son destacados y por ende se requiere mayores esfuerzos con el marco normativo y reglamentario de la actividad a nivel nacional, incluyendo los compromisos asumidos por Colombia en materia de producción y consumo sostenible y cambio climático, entre otros.

Uno de los documentos guías para la reglamentación de los residuos que se ha venido desarrollando en Colombia ha sido La Política Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos, que fue actualizada a través del CONPES 3874 del año 2016, con el fin de aportar a la transición de un modelo lineal hacia una economía circular, a través de la gestión integral de residuos sólidos, esperando la optimización de los recursos para que los productos permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo económico y se aproveche al máximo su materia prima, así como su potencial energético. Para esto, la política se basa principalmente en cuatro ejes estratégicos, enfocados en prevenir la generación de residuos, minimizar aquellos que van a sitios de disposición final, promover la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos y así mismo, evitar la generación de gases de efecto invernadero.

Se crearon algunas estrategias enfocadas en la actividad de aprovechamiento dentro de las que se encuentran las siguientes:

1. Desarrollar los programas de minimización en el origen, articulados con los programas de producción más limpia.
2. Modificación de los patrones de consumo y producción insostenibles.
3. Creación de nuevos canales de comercialización de materiales aprovechables y promoción de los existentes.
4. Fortalecimiento de cadenas de reciclaje.

En la estrategia de crecimiento verde y la estrategia de movilidad social del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, se establecieron las primeras acciones para fortalecer la gestión integral de residuos sólidos en el marco de las necesidades actuales de aprovechamiento y reutilización de residuos, generar incentivos para el aprovechamiento y organizar la actividad en el marco del servicio público de aseo. Con ello se busca mejorar sustancialmente la operación de los sitios de disposición final, disminuir la generación de residuos y aumentar las tasas de aprovechamiento en todos los sectores de la economía.

Aunque aún están pendientes muchos desarrollos normativos, sociales y culturales en torno al aprovechamiento de residuos, se puede afirmar que la gestión de residuos en el país ha avanzado de manera importante, principalmente en los aspectos relacionados con el desarrollo del servicio público de aseo y la manera en que se atienden las necesidades de disposición adecuada de los residuos generados en los procesos de producción y consumo (CONPES, 2016).

Dentro de la legislación colombiana la producción de biocombustibles está regulada por la ley 693 de 2001 que define las normas sobre el uso de alcoholes carburantes y los estímulos para su producción, comercialización y consumo; siendo la primera ley encargada de generar incentivos a la producción nacional, de definir los precios, calidades y porcentajes de la mezcla etanol-gasolina, de establecer las características de la implementación de los biocombustibles y los requerimientos del contenido de alcohol etanol en la gasolina motor. (Garzón, 2017).

Así mismo esta fue la encargada de declarar el uso racional y eficiente de la energía (URE) como un asunto de conveniencia nacional y crear el Programa Nacional de URE (PROURE), en el que se promueven la eficiencia energética y otras formas de energías no convencionales, para esto decretó en el artículo 1 que: “las gasolinas que se utilicen en el país en los centros urbanos de más de 500.000 habitantes tendrán que contener componentes oxigenados tales como alcoholes carburantes, en la cantidad y calidad que establezca el Ministerio de Minas y Energía”. (ley N°693, 2001).

Tras esta ley García y Calderón dicen que se abrió paso a la desgravación y promoción a la inversión de biocombustibles que comenzaron con la ley 788 de 2002, la Ley 818 de 2003 y la ley la Ley 939 de 2004 (García et al, 2012) donde se generaron exenciones tributarias del impuesto global, IVA y el impuesto sobre las ventas, la caña de azúcar y el alcohol carburante quedaron exentos siendo esta última la que decreta en su artículo ocho lo siguiente:

Para el año 2007 las Leyes 1133 y 1151 se encargan de generar instrumentos adicionales de fomento contenidos en el programa Agro Ingreso Seguro, el Plan Nacional de Desarrollo y el Estatuto de Desarrollo Rural, consolidando así todo un paquete legislativo en pro del desarrollo de los biocombustibles en casi todos los escenarios nacionales (Palacios et al, 2008).

Posterior a esto, en el 2008 se iniciaron estudios por parte del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) que a partir del documento 3510 de 2008 estableció los lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia sentando así las bases para el uso obligatorio en Colombia de las mezclas de un porcentaje de etanol con la gasolina y resaltó la importancia de expandir los cultivos de biomásas conocidas en el país y diversificar la canasta energética dentro de un marco de producción eficiente y sostenible económica, social y ambientalmente, que permita competir en el mercado nacional e internacional (CONPES, D. 2008).

Como lo establece en la siguiente recomendación: se recomienda al MME y al MAVDT dar continuidad a la política actual de mezclas de biocombustibles y combustibles de origen fósil. Esto es: i) mezcla de 10% de alcohol carburante y 90% de gasolina; ii) mezcla de 5% de biodiesel y 95% de diésel hasta el 31 de diciembre de 2009; y iii) mezcla de 10% de biodiesel y 90% de diésel a partir del 1 de enero del 2010 (CONPES, 2008).

Dado el anterior estudio, se empezó a reglamentar la implementación del bioetanol a partir de los mezclados de etanol y combustibles fósiles por medio de lo que estipulara el Ministerio de Minas y Energía en sus resoluciones apoyadas en los programas de oxigenación de gasolinas, dentro de ellas cabe resaltar resoluciones tales como la Resolución 181048 y 4892 de 2011, y la Resolución 90932 de 2013 que dieron paso a la Ley 1715 de 2014, dicha ley fue la encargada de promover la eficiencia energética y la utilización de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable para reducir las emisiones de GEI y cumplir acuerdos internacionales.

Igualmente, la ley 1715 establece que en las zonas de cultivo deberán planear el uso de sus subproductos y residuos, descartando el abandono de éstos en las Zonas (con excepción de la cantidad de biomasa necesaria para reutilizar el suelo) abriendo paso a la implementación de la bio-refinería, que incluye el aprovechamiento de la biomasa agrícola, la energía de los residuos y de los cultivos forestales energéticos. Así mismo según la ley, genera incentivos para la inversión y la compra de maquinaria como también la excepción del pago de IVA y aranceles, creando metas ambiciosas como reducir en 20,0% las emisiones de GEI a 2030. (Cámara de Comercio de Cali, 2016).

A nivel regional, se han venido adoptando resoluciones como la resolución 4-0277 del 4 de abril de 2017, que según Barragán aumentó la oferta de bioetanol en la gasolina del 6 al 8 por ciento en el departamento de Antioquia para contribuir a mejorar la calidad del aire de la capital antioqueña dado a sus elevados índices de material particulado. (Barragán et al, 2018).

Dentro de las resoluciones más vigentes se encuentra la resolución 40185 del 27 de febrero de 2018 la cual rige la implementación del mezclado de E-10 a nivel nacional decretando que:

Se establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante en la gasolina motor corriente y extra a nivel nacional (E10), a partir del primero de marzo de 2018 se deberán de distribuir mezclas de un 10% de alcohol carburante con un 90% de gasolina motor corriente y extrafósil denominadas E-10Y EX-10 en todos los municipios y departamentos que actualmente consumen combustibles oxigenado en virtud de la política nacional de biocombustibles. (Resolución 40185, 2018).

Gracias a esta nueva resolución el porcentaje que se utiliza de bioetanol del 10% sobre el 90% de gasolina, logrando un mayor beneficio ambiental por la menor utilización de gases de efecto invernadero, creando con todas las ya mencionadas leyes, resoluciones y decretos, toda una normatividad empleada enfocada en la sostenibilidad ambiental.

4.3.1 Tratados internacionales

La sociedad internacional, preocupada por la degradación del medio ambiente se ha dado a la tarea de tratar de revertir los daños causados y reducir los futuros riesgos para el medio ambiente, a través de diversos compromisos internacionales. Existen numerosos tratados multilaterales cuyo bien jurídico a proteger es precisamente el medio ambiente, desde diversas ópticas y de manera particular para cada uno de los más grandes problemas en la materia.

Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Esta convención tiene como principal motor la cooperación internacional al reconocer que el problema del cambio climático no se resolverá a través de estrategias nacionales, que es necesario la participación de todos los gobiernos para la adopción de una estrategia mundial en contra de este grave problema. Cuenta con 188 ratificaciones globalmente.

Protocolo de Kyoto

En este protocolo se establecen obligaciones individuales para los Estados, parte principalmente para los países desarrollados quienes están obligados a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

5. Metodología

El enfoque trabajado en este proyecto es de tipo mixto ya que se realiza un estudio **experimental** de la siembra del cultivo de maíz realizada en el Colegio de la U.P.B. y continuada en casa para la caracterización estadística del crecimiento y la determinación de los residuos de éste y se seguirá por una línea documental guiada hacia la comparación de los procesos de obtención de etanol a partir de la literatura científica, ya que el

proyecto no pudo continuar la línea experimental por la pandemia del Covid19 que obligó a una cuarentena obligatoria nacional.

En el proyecto se propuso un enfoque cuantitativo basado primeramente en una etapa de experimentación y posteriormente en una etapa de investigación documental aplicando la construcción de técnicas de medición, recolección e interpretación de datos respaldados por bibliografía científica en los distintos campos evaluados, como también en la técnicas y procedimientos ya investigados por el grupo de investigación de Builes, Londoño, Vanegas, Rodas (2019), conformada por egresados del Colegio de la U.P.B. que realizaron investigaciones del campo de la siembra de maíz en el mismo lugar donde se realizó inicialmente el presente proyecto por lo cual construyeron una hoja de ruta.

En cuanto al estudio, se desarrolló una investigación exploratoria con el fin de analizar un proceso de obtención de etanol describiendo el proceso de siembra, crecimiento y obtención de los residuos generados en el cultivo de maíz que se lleva realizando en la huerta ecológica del Colegio de la U.P.B. sede Medellín y su posterior aprovechamiento como biomasa para la generación de etanol.

Para la elaboración se desarrollaron las siguientes fases:

5.1 Etapa experimental

La etapa experimental consiste en la evaluación del crecimiento de las plantas de maíz sembradas en la huerta del Colegio de la U.P.B. basándonos en la metodología utilizada por Builes et al (2019) que consistió en la medición de 4 variables como lo fue el registro, la fecha de la medición, la altura de la planta y el número de hojas para caracterizar el proceso completo del cultivo de maíz desde la siembra hasta la recolección del residuo.

5.1.1 Materia prima

El proyecto se inicia en la huerta ecológica del colegio de la Universidad Pontificia Bolivariana de la sede Medellín, cuya extensión es de 10 m^2 , este espacio había sido previamente utilizado por otro proyecto de investigación escolar para la siembra de cultivos de maíz, el cual se enfocó en la agricultura urbana a través de dos métodos de siembra de maíz, en cultivo hidropónico y en tierra, con el propósito de determinar la mayor eficiencia del cultivo de maíz, lo cual sirvió como antecedente y apoyo para iniciar el presente proyecto ya que sirve de referente para estudiar las plantaciones de maíz desde su crecimiento hasta que son residuos con el fin de realizar un proceso detallado que tenga en cuenta la caracterización de biomasa y su ciclo de siembra.

El lugar de la siembra se realiza en un espacio del Colegio ubicado a 1538 m. sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 24 (°C) grados centígrados y a 640 mm Hg (0,84 atm) de presión atmosférica. El terreno para la siembra en tierra se acondiciona puesto que no está en las condiciones necesarias para la agricultura ya que la capa de tierra se encuentra sobre terreno pedregoso y el suelo presenta rocas y maleza.

Imagen 1. *Huerta ecológica del Colegio de la U.P.B.*



Fuente: propia

Las semillas de maíz empleadas fueron adquiridas a través de la empresa tierra, pastos y ganado y el proceso de siembra se lleva a cabo mediante la técnica empleada por el proyecto de Builes et al (2019) preparando la tierra de un terreno de 3,20 x 2,8 metros para definir los nueve surcos distanciados a 40 cm y esparciendo enmienda, abono orgánico y micorriza por estos, y finalmente se realiza la siembra de las semillas de maíz (*Zea mays indurata* St) de clima templado (1500-2000 msnm) separadas a una distancia de 10 cm en cada surco para un total de 297 semillas plantadas.

Por otra parte, para la siembra en hidropónico se emplea la estructura del colegio que contaba con dos canaletas las cuales fueron llenadas de carbonato de calcio como controlador de ph y para servir de nutriente a la planta al servirle como estructura en su proceso de crecimiento, posteriormente se organiza el sistema del riego conformado por un tanque de 20 litros y 19 aspersores por canaleta, estos últimos separados a una distancia de 15 cm. Las semillas se sembraron de forma tal que quedaron dos semillas por aspersor para un total de 38 semillas por canaleta, y los dos tanques fueron llenados de agua y de los elementos mayores y menores, diluidos en el tanque de 20 litros de la siguiente forma:

Elementos mayores: 5 cm³ por litro

Nitrógeno (N)- Fósforo (P)- Potasio (K)- Calcio (Ca)- Magnesio (Mg)- Azufre (S)

Elementos menores: 4 cm³ por litro

Hierro (Fe)- Zinc (Zn)- Manganeso (Mn)- Boro (B)- Cobre (Cu)- Molibdeno (Mo)- Cloro (Cl)

Posteriormente se realiza una primera fertilización 20 días después de la etapa de siembra del maíz en tierra y a los 15 días de esta fertilización se realizó nuevamente otra. En

ambas se esparce abono orgánico y fertilizante triple 15 granulado para incrementar la nutrición de las plantas de maíz.

Imagen 2. Siembra de maíz en la huerta del colegio



Fuente: propia

Imagen 3. Fertilización del cultivo en la huerta del colegio.



Fuente: propia

5.1.2 Medición de la siembra

Durante el proceso de crecimiento se lleva a cabo la medición de la altura de las plantas de 4 surcos que contaban con diferente exposición al sol. Para ello se basa en la técnica de tabulación empleada por el proyecto Builes et al (2019), p.21 por medio del programa Excel.

Tabla1. Referencia de la medición del crecimiento de las plantas de maíz.

REGISTRO N°	DÍA N°	GROSOR (M.M)	ALTURA (M.M)

Fuente: Builes, Londoño, Vanegas, Rodas. (2019).

La altura se determinó en el punto máximo correspondiente a la hoja en nacimiento y se hizo un conteo del número de hojas totales de cada planta, de igual forma en las plantas sembradas en el cultivo hidropónico se realizó el mismo proceso.

Imagen 4. Medición de las plantas de maíz



Fuente: propia

El proceso de medición de las plantas fue suspendido gracias a la pandemia del covid19 que obligó a una cuarentena obligatoria nacional, haciendo que se continuara con la medición y caracterización de las plantas de maíz en casa, para ello se emplea unas canastas de 30 x 60cm cuyo interior fue cubierto por bolsas de basura (plástico) y cinta. Primeramente, se remojan las semillas en agua a temperatura ambiente por 6 horas para activar el proceso de germinación y las semillas se siembran con una distancia de 10 cm

entre cada una. En cada canasta se sembraron 6 pares de semillas y cada 10 días se realiza el abono con abono triple 15, se esparce micorriza y se agrega más tierra.

De igual forma, se realiza el proceso de medición bajo la técnica de tabulación empleada en la medición del cultivo de la huerta del colegio para la construcción del análisis del crecimiento de la planta.

5.1.3 Medición de los residuos

Posterior a la cosecha del maíz sembrada en casa, utilizando las mismas semillas, técnicas y abonos de la huerta del colegio y recogidos los chócolos que serán usados para otros fines ajenos al proyecto; se realiza una caracterización de la biomasa obtenida midiendo la altura de los tallos y el peso, con el promedio de cada uno. Para ello se tabula en la siguiente tabla de Excel.

Tabla 2. *Medición de los residuos de maíz.*

PLANTA	ALTURA	PESO

Fuente: elaboración propia

Imagen 5. Residuos de maíz cosechados en casa



Fuente: propia

Finalmente se organizan los datos de las plantas totales sembradas, el espacio empleado y el peso promedio obtenido en la tabla de atrás, para de esta manera poder establecer los rendimientos de los residuos generados en la huerta del Colegio de la Universidad Pontificia Bolivariana y su futuro aprovechamiento como biomasa en la obtención de bioetanol.

Tabla 3. *Datos* finales del cultivo de maíz

Plantas totales sembradas	
Altura promedio	
Área de cultivo	
Peso promedio del residuo	

Fuente: elaboración propia

5.2 Documental - bibliográfica

Basándonos en las definiciones de la investigación documental de Oscar Morales (2003), donde afirma que esta permite indagar, recolectar, organizar, analizar e interpretar información acerca de un tema de una forma sistemática, con la condición de que la fuente principal sea un documento escrito de forma impresa, electrónica o audiovisual; Se implementó este tipo de metodología documental, recopilando inicialmente información de proyectos parecidos, que después se analiza y cataloga para poder realizar un estudio bibliográfico y exploratorio, acerca de la producción de bioetanol a partir del bagazo de maíz.

En la investigación documental, se realiza una recopilación de la información obtenida en la literatura científica por medio de fichas bibliográficas que permitieran una organización y síntesis de los documentos para realizar un análisis comparativo en los procesos de obtención del bioetanol.

Para el análisis detallado de cada proceso de obtención según la literatura científica, investigada por medios electrónicos y almacenada en archivos, se emplea una técnica de tabulación de la información de Excel que recogiera la información relevante de los métodos empleados y resultados obtenidos para organizarse de forma ordenada y así dar validez a los análisis comparativos.

Por otro lado, para el almacenamiento de los datos obtenidos se emplearon instrumentos electrónicos como computadora personal, almacenamiento en la nube por medio de OneDrive.

La tabla empleada para la recolección de datos de los procesos de obtención es el siguiente:

Tabla 4. *Métodos para el proceso de obtención de bioetanol*

PROCESO	REFERENCIA	MÉTODO	EQUIPO
Pretratamiento			
Hidrólisis			
Fermentación			
Destilación			

Fuente: elaboración propia

5.2.1 Análisis del proceso de hidrólisis

Para el análisis del proceso de sacarificación en la literatura científica se toma las investigaciones de Cuaspu (2017), Schneuer (2010), Hernández, et al., (2018), Ortega (2018), Fonseca (2006), en los que se comparan las variables de concentración del reactivo, cuyo porcentaje está dado por la cantidad en su forma pura que se diluye en agua para formar una disolución la cual será agregada al residuo lignocelulósico para iniciar un proceso de hidrólisis; la carga de sólido, que se refiere a la fracción porcentual en peso de material lignocelulósico sólido sobre la cantidad de ácido diluido líquido que se utiliza en la hidrólisis; y el tiempo total de la hidrólisis hasta obtener finalmente un porcentaje alto de grados brix que hacen referencia a la cantidad de azúcar disuelta que será fermentada.

Los cinco trabajos empleados, cada uno empleaba un proceso de sacarificación particular como el método de hidrólisis ácida diluida, enzimática o en simultáneo, según los alcances de cada trabajo y fue posible obtener los datos relevantes en el proceso gracias a las variables que se nombraban.

Dichas variables se basaron en El modelo de Box-Behnken y el diseño de Ferrer et al 2002 que considera la influencia que pueden tener las variables independientes (concentración del ácido, carga del sólido, tiempo de hidrólisis) sobre una variable respuesta en un proceso de hidrólisis diluida como se abordó en el trabajo de Cuaspu donde se realiza un número de experimentos menor al de diseños factoriales, para un total de 15 experimentos combinando las variables de % de ácido, o en el trabajo de Fonseca que se basan en diseños factoriales realizado por Ferrer et al (2002); con 4 tipos de porcentajes de hidrólisis con tres repeticiones cada uno 3 x 4 x 3 para un total de 36 experimentos.

Los datos obtenidos de la investigación documental se tabularon en la siguiente tabla.

Tabla 5. Variables para el proceso de hidrólisis

Hidrólisis	REF 1	REF 3	REF 5
tipo de hidrolisis			
Concentración del Ácido p/p			
Carga del sólido			
Temperatura ©			

Tiempo			
Grados Brix			

Fuente: elaboración propia

5.2.2 Análisis del proceso de fermentación

En este proceso se toman como referente el estudio de Cuaspud (2017) y Ortega (2018), y se recopilan los datos y resultados obtenidos en las investigaciones respectivas. De igual forma se analizan las variables de agitación, temperatura y días empleados en el proceso de fermentación de las investigaciones para la comparación de los métodos empleados.

Las variables estudiadas de acuerdo a los estudios realizados por los trabajos será la agitación, la temperatura y los días totales que toma el proceso fermentativo llevado a cabo por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*; dichas variables están organizadas en la siguiente tabla.

Tabla 6. *Variables para el proceso de fermentación*

	Método 1	Método 2
Agitación (rpm)		
Temperatura (C)		
Días totales		

Fuente: elaboración propia

5.2.3 Análisis del proceso de destilación

Finalmente se realiza la documentación y tabulación del proceso final de obtención de etanol en el que se separa el alcohol de la solución obtenida en la fermentación, para ello se tiene en cuenta la temperatura, el número de rectificaciones o repeticiones y el porcentaje de alcohol obtenido.

Tabla 7. Variables para el proceso de destilación

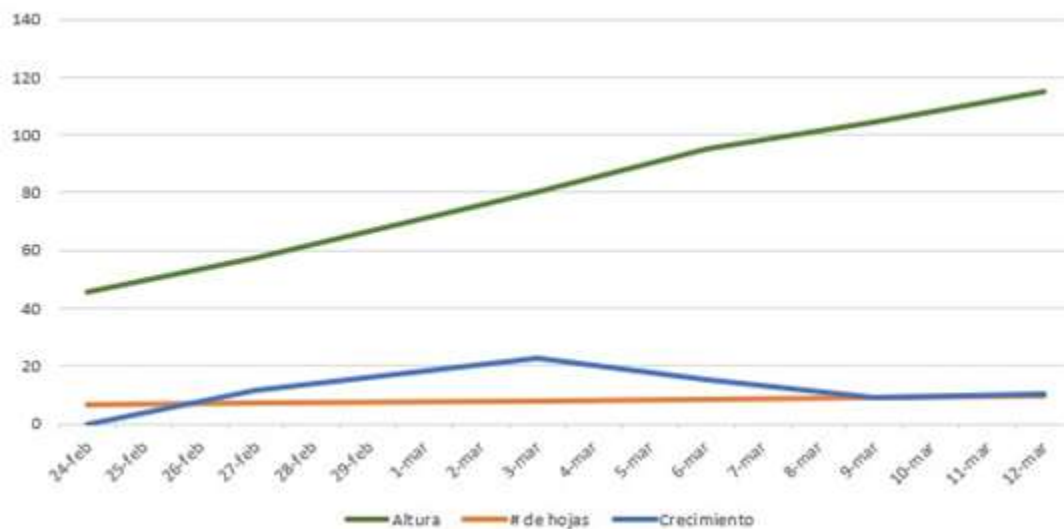
	Método 1	Método 2
Temperatura		
# de rectificaciones		
% de alcohol		

Fuente: elaboración propia

5.3 Resultados y conclusiones

En el registro de las mediciones se estableció el crecimiento efectivo a través del tiempo de la altura promedio y el número de hojas del cultivo de maíz sembrado en la huerta del Colegio de la U.P.B. cuya medición tuvo que ser suspendida, como se muestra en la gráfica 1.

Gráfica 1. Crecimiento del cultivo de maíz en huerta del colegio

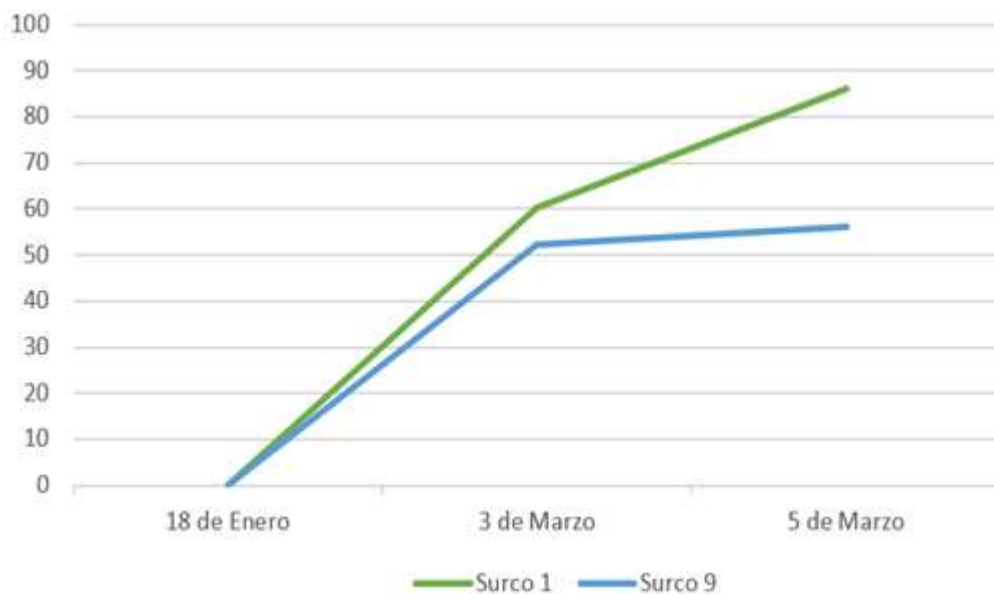


Fuente: elaboración Propia

Al determinar las variaciones del crecimiento en las plantas es posible evidenciar que la exposición al sol que tenían las plantas de los surcos 7, 8 y 9 fue un hecho diferenciador que afectó la altura del tallo de las plantas, por lo que se convierte en un factor a tener en cuenta para el cultivo de maíz a campo abierto y su posterior aprovechamiento como

residuo ya que en los surcos donde no presentaban sombra pudieron crecer más alto y con un número de hojas parcialmente mayor.

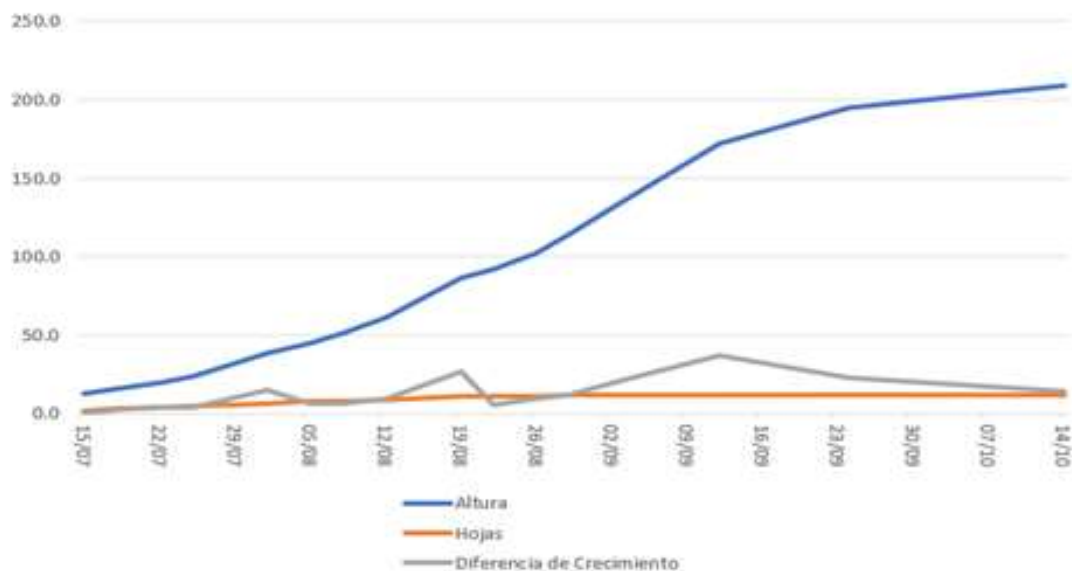
Gráfica 2. Comparación de crecimiento de maíz en surcos



Fuente: elaboración propia

De igual forma se estableció el crecimiento total hasta la cosecha del cultivo de maíz sembrado en casa, usando las mismas semillas y técnicas empleadas en la huerta como lo muestra la gráfica 2.

Gráfica 3. Crecimiento del cultivo de maíz en casa



Fuente: elaboración propia

Finalmente se realizó una caracterización de las plantas de maíz sembradas en casa que serán aprovechadas como biomasa lignocelulósica o residuos para la obtención de bioetanol.

Tabla 8. *Medición obtenida de los residuos de maíz.*

PLANTA	ALTURA	PESO
1C	162	340
2C	124	258
4C	167	345
1F	250	470
4F	249	501
5F	262	490

Fuente: elaboración propia

Y se obtienen los datos del rendimiento total de la cosecha en la huerta del Colegio de la U.P.B.

Tabla 9. *Datos finales obtenidos del cultivo de maíz*

Plantas totales sembradas	283
Altura promedio (cm)	202.3333333
Área de cultivo (m2)	10

Peso promedio del residuo (gr)	382.8
---------------------------------------	--------------

Fuente: elaboración propia

A partir de la reunión de los datos relevantes que se obtuvieron en los documentos o material bibliográfico consultado, se organiza en la siguiente tabla.

Tabla 10. *Métodos obtenidos para el proceso de obtención de bioetanol*

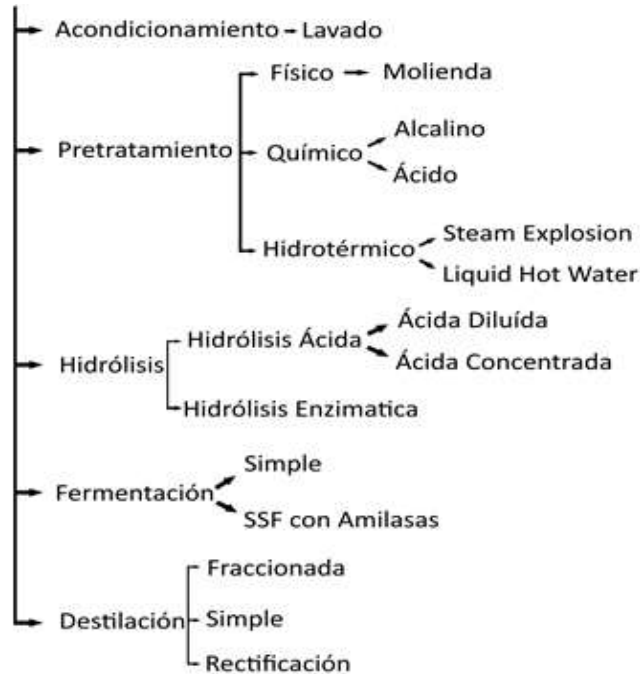
Proceso	PRETRATAMIENTO	Método	Equipo
Pretratamiento	CUASPUD (2017)	Lavado, secado, molienda y filtración	Molino de martillo-tamiz (2mm)
	SCHNEUER (2010)	Filtración, molienda, impregnación ácida y explosión de vapor	Molino de bolas vibradoras - aspiradora-tamiz (3mm)
	HERNANDEZ, et al., (2018)	Lavado, secado y trituración	Triturador - Tamiz (3-8mm)
	ORTEGA (2018)	Lavado, secado, molienda y filtración	Rodillo estraido-tamiz (1mm)
	Fonseca (2006)	secado y triturada	Estufa Memmert Tamizador
Hidrólisis	CUASPUD (2017)	Ácido diluido (con Ácido Sulfúrico)	Autoclave y Erlenmeyer

	SCHNEUER (2010)	Ssf (con Celulasa - S. Cerevisiae)	Biorreactor
	HERNANDEZ, et al., (2018)	Enzimático (con D-Xilosa)	Recipiente plástico
	ORTEGA (2018)	Levadura activada (con S. Cerevisiae)	Recipiente plástico
	Fonseca (2006)	Ácido diluido (con Ácido Sulfúrico)	
Fermentación	CUASPUD (2017)	Inoculada (S. Cerevisiae)	Matraz
	SCHNEUER (2010)	Ssf Inoculada (S. Cerevisiae)	Biorreactor
	HERNANDEZ, et al., (2018)	Espontánea (S. Cerevisiae)	Recipiente plástico
	ORTEGA (2018)	Espontánea (S. Cerevisiae)	Fermentador con trampa de gas
Destilación	SCHNEUER (2010)	Destilación binaria	Columna de destilación binaria
	HERNANDEZ, et al., (2018)	Destilación con rectificaciones	Alambique de bronce
	ORTEGA (2018)	Destilación simple	Equipo de destilación simple

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los datos se realiza el siguiente diagrama que sintetiza los procesos utilizados por diferentes investigaciones para la obtención de bioetanol a partir de residuos del maíz.

Grafica 4. Diagrama de los procesos de obtención de bioetanol encontrado



Fuente: elaboración propia

Al realizar un análisis por medio de la búsqueda documental realizada y organizada, es posible afirmar que los métodos iniciales: pretratamiento y acondicionamiento siguen una metodología similar de lavado de los residuos para extraer las piedras y material que no será aprovechado, luego de este proceso basándonos en la información recolectada se dispone a un secado en el que estudios como el de Fonseca, Rodríguez y Camargo (2017) lo realizan a temperatura de 100°C por 4 horas y el proyecto de Cuaspud Cáliz (2017) a una temperatura de 65°C por 48 horas; para posteriormente ser molido por medio de equipos como molinos de martillo, de bolas vibradoras o rodillos estriados, que dependen principalmente del acceso que se tenga, hasta obtener residuos cercanos a los 1mm 5mm y de esta manera ser tamizados para deshacerse de los residuos que pueda tener los tallos y los residuos de la planta.

Posteriormente los proyectos estudiados siguen una ruta de hidrólisis que es necesario evaluar ya que este proceso demarca los siguientes procesos y sus variaciones son importantes en cuanto a las variables que afectan en mayor parte el proceso como lo es el reactivo a emplear, la concentración de éste y los grados Brix obtenidos.

La siguiente tabla muestra las investigaciones que se analizaron representadas como REF 1 el estudio de Cuaspad Cáliz (2017), la REF 3 de Hernández, P. (2018) y REF5 el proyecto de Fonseca, Rodríguez y Camargo (2017).

Tabla 11. *Variables obtenidas para el proceso de hidrólisis*

Hidrólisis	REF 1	REF 3	REF 5
tipo de hidrólisis	Ácido diluida (A. sulfúrico)	Ácido enzimática (E. D-xilosa)	Ácido diluida (A. sulfúrico)
Concentración del Ácido p/p	6%	0.39%	8%
Carga del sólido	30%	52.97%	30%
Temperatura °C	121	30	100
Tiempo	40.8 min	8 d	4 horas-12 horas
Grados Brix	25,2g/l	13%	18%

Fuente: elaboración propia

Dentro de esta información se destaca que, en los procesos evaluados la hidrólisis enzimática es considerablemente más lenta que el proceso de ácido diluido, e igualmente la obtención de reactivos como la enzima D-xilosa es comparativamente de menor facilidad de adquisición. Por lo que para este proceso de acuerdo a la biomasa obtenida es considerablemente más eficiente la hidrólisis de tipo ácida diluida.

La metodología consiste en agregar a un recipiente la biomasa triturada y tamizada en el proceso de pretratamiento, el ácido y agua en proporciones definidas, la solución se somete a hidrólisis ácido diluido mediante técnicas experimentales de laboratorio como la ebullición de reflujo o reacción con autoclave para conseguir una temperatura y agitación constante durante el proceso, empleando ya sea una placa calefactora con agitación magnética o una autoclave.

Cabe destacar que las variables de concentración del ácido y temperatura en ambos de los trabajos de hidrólisis ácida, son bastantes cercanos estando en un promedio entre 6% y 8% sin embargo el tiempo del hidrolizado son diferentes, por lo que su valor está esencialmente relacionado a los cocientes de la cantidad de azúcares dado por los grados Brix, así que es imprescindible que durante la hidrólisis se evalúe dichos grados en intervalos de 15 minutos hasta obtener valores entre 15-20 %.

En variables como la carga de sólido y temperatura, los dos estudios presentan números similares, para el valor de la temperatura está entre 100 y 120 grados centígrados y ambas muestran un porcentaje de carga de sólido, es decir de la biomasa triturada de 30%.

En estudios como Cuaspud posterior al proceso de hidrólisis realizaron la detoxificación de la solución obtenida por medio de carbón activado al 2.5 %p/v en agitación a 200 rpm durante 60 minutos a 25°C; al ser éste el mejor método de detoxificación de los métodos ensayados que logra absorber los inhibidores y reducir en menor cantidad posible los azucares reductores; luego fue centrifugado a 4000 rpm para retirar residuos del carbón y se le se ajustó el pH a 5,5 con hidróxido de sodio 3,0 N y finalmente se esteriliza.

Para el proceso de fermentación los estudios de CUASPUD (2017) y ORTEGA (2018) emplearon temperaturas similares entre 25 y 30, sin embargo, el tiempo y agitación tuvieron valores lejanos, principalmente porque la técnica de Cuaspud a diferencia del estudio de Ortega realizó una inoculación previa durante 11 días donde primero se preparó el medio YPG sólido con 10 g de extracto de levadura, 10 g de peptona, y 50 g de glucosa disueltas en 1 L de agua agregándole el agar. Y después de ser completamente disuelta, se añadió en el matraz 1 gr de levadura comercial, se disolvió y se inoculó en las cajas de Petri durante un día para luego adaptarse de manera gradual (10% cada día) al hidrolizado.

En el trabajo de ortega el proceso se realiza en fermentadores con trampa de gases junto con un agitador magnético y calefactor para posteriormente dejarse en condiciones anaeróbicas hasta 72 horas los 10 ensayos en los que se varió la agitación (0,60,500 y 700) y los parámetros de temperatura, ph y grados Brix. Los resultados obtuvieron que los ensayos con menor cantidad de grados Brix, y por lo tanto mayor porcentaje de reducción superiores a la cifra de 65% como lo recomienda (Farjado & Sarmiento, 2007), tuvieron velocidades de agitación entre 500 y 700 y permanecieron por 72 horas. En el trabajo de Cuaspud, la producción más alta de etanol medida fue de 22g/L, cuando la fermentación ocurre a 100 rpm en 18 horas.

Tabla 12. *Variables obtenidas para el proceso de fermentación*

Fermentación	REF 1	REF 4
Agitación (rpm)	100	500 ó 700

Temperatura (C)	25	30
Tiempo (horas)	18 (inoculada)	72

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, es imprescindible que para el proceso fermentativo haya una constante medición de variables finales como el porcentaje de etanol o la reducción de azúcares para determinar la efectividad del proceso, cuyo éxito va de la mano con el desempeño del microorganismo, por lo que también es necesario realizar buenas adecuaciones de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* que resistan a altas cantidades inhibidores, y de esta forma disminuir los costos en procesos como detoxificación.

Para el proceso de destilación, se obtiene que la temperatura final, que se le suministrará a la muestra deberá de estar en valores mayores a los 75 y 85 °C procurando altas temperaturas mayores a los 90° para evitar que el agua empiece a evaporarse como en los ensayos de ORTEGA (2018) que concluyeron en que los ensayos que se destilaron hasta temperaturas próximas a 90 °C, el agua también empieza a evaporarse y a mezclarse con el etanol. (p.86).

Tabla 13. *Variables obtenidas para el proceso de fermentación*

Destilación			
	REF 2	REF 3	REF 4
Temperatura inicial	30	No especificada	70
Temperatura final	97.6	80-85	75
# de rectificaciones	0 (deshidratación)	4	2
% de alcohol	95	96.5	91

Fuente: elaboración propia

Es importante que en cada destilación se realice una medición de los porcentajes de alcohol obtenidos para que se verifique el número de repeticiones o rectificaciones necesarias hasta obtener porcentajes mayores a 90 % o según el porcentaje requerido para los fines comerciales del etanol; en el caso de emplearse como combustibles la normativa colombiana define que, para la calidad del etanol anhidro combustible utilizado como componente oxigenante de gasolinas debe tener porcentaje de etanol mínimo del 99,5%, y la calidad del etanol anhidro combustible desnaturalizado antes de mezclar con gasolina motor debe tener porcentaje de etanol mínimo del 96,3%.

6.CRONOGRAMA

Actividad	Fecha
Preparación del terreno y Siembra	20 de enero
Fertilizaciones	6 y 13 de febrero
Planteamiento del problema	17 de febrero
Objetivos	24 de febrero
Declaración de la cuarentena obligatoria	12 de marzo
Impacto esperado	18 de mayo
Asesoría con Doris	19 de mayo
Siembra del maíz en casa	3 de julio
Asesoría con Doris	6 de julio
Fertilizaciones de la huerta en casa	7 y 17 de julio
Asesoría con Castellanos	10 de julio
Reestructuración del proyecto	10 de julio
Marco teórico	13 de julio
Asesoría con Castellanos	13 de julio

Asesoría con Doris	13 de julio
Asesoría con Castellanos	18 de julio
Asesoría con Castellanos	20 de julio
Asesoría con Castellanos	22 de julio
Asesoría con Castellanos	24 de julio
Asesoría con Doris	27 de julio
Asesoría con Castellanos	30 de julio
Asesoría con Doris	3 de agosto
Asesoría con Castellanos	3 de agosto
Asesoría con Castellanos	7 de agosto
Asesoría con Doris	10 de agosto
Asesoría con Castellanos	14 de agosto
Introducción de la metodología	14 de agosto
Asesoría con Castellanos	21 de agosto
Desarrollo de la metodología	31 de agosto
Asesoría con Doris	7 de septiembre

Asesoría con Doris	28 de septiembre
Cosecha de la huerta en casa	5 de octubre
Conclusiones y finalización del proyecto	13 de octubre

ASESORÍAS – REGISTRO Y SEGUIMIENTO (Semestre 2)

DOCENTE ASESOR	Juan Diego Castellanos Mejía	NOMBRE DEL PROYECTO: Análisis de la producción de bioetanol desde la biomasa lignocelulósica del maíz producida en la huerta del colegio de la U.P.B. a partir de la literatura científica.
EQUIPO DE INVESTIGACIÓN (INTEGRANTES)	Miguel Ángel Agudelo Agudelo Juan David Cardona Longas Ana María Llano Buriticá Susana Lenis Ramírez Juan David Pemberthy González Santiago Andrés Salazar Zea	
GRUPO	11°5	

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO	Sesión: <u>I</u> FECHA: 10/07/2020	Sesión: <u>II</u> FECHA: 18/07/2020	Sesión: <u>III</u> FECHA: 20/07/2020	Sesión: <u>IV</u> FECHA: 24/07/2020
	<p>Revisión de trabajo realizado durante el primer semestre, para plantear plan de acción de la investigación y lograr redireccionar el proyecto con el fin de obtener un resultado óptimo al momento de la entrega.</p> <p>Por otro lado, se realiza la presentación de la plataforma “Trello” como gestor de proyectos. En esta se trabajará semana a semana para cumplir con el objetivo.</p>	<p>Comienzo de plan de acción para la adaptación del proyecto, se le propone una lectura a cada integrante del equipo sobre diferentes artículos en relación a fermentaciones, bioetanol y transformación de maíz como materia prima para subproductos en Colombia.</p> <p>A su vez, se les entrega el texto “Como elaborar trabajos de grado” de la autora Mireya Cisneros Estupiñán para que logren integrarse con el ejercicio de investigar y comprendan el proceso de construcción de una investigación</p>	<p>Definimos las correcciones a realizar en la fase I del anteproyecto y se le repartió a cada estudiante qué parte debía corregir. Además, se les expresa la metodología de “La pirámide” dividida en tres partes (Base, mitad y punta) y es con este elemento que se les explica cómo deben de redactar el texto académico, manteniendo un hilo conductor entre párrafos y manejando correctamente las citas como argumentos.</p>	<p>Se les explicó a los estudiantes cómo utilizar las Normas APA desde el manejo de citas y su respectiva referencia. Asimismo, se les propuso un ejercicio interactivo donde se practicaba en compañía del asesor el formato para realizar referencias según la estructura de APA.</p> <p>Por otro lado, se les presentó a los estudiantes el gestor de referencia “Cite this for me”, una página web donde podrán encontrar cada</p>

		de carácter académico.		<p>referencia de manera ágil y sencilla.</p> <p>Por último, se le mostró a cada estudiante la posibilidad que traen algunos artículos científicos al disponer de la referencia en formato APA en la misma portada, para mayor agilidad al momento de citar dicho documento.</p>
--	--	------------------------	--	---

OBSERVACIONES Y PENDIENTES	Lograr revisar de inicio a fin lo adelantado en el proyecto hasta ahora y ver qué se debe cambiar, qué se debe eliminar y qué se debe mejorar.	Los estudiantes deben realizar una ficha de lectura consignando lo más importante de cada documento leído.	Se construyeron 3 grupos de trabajo, cada uno conformado por una pareja. Cada pareja se encargará de corregir una parte de la fase I.	A cada estudiante se le pide revisar cada referencia realizada durante las correcciones de la Fase I y corregir o realizar nuevamente las que estén incorrectas.
FIRMA DOCENTE	Juan Diego Castellanos Mejía T.I. 1000.899.469			

Nota: N/a (Fecha de envío de esta página diligenciada, con la respectiva nota al líder de investigación: OCTUBRE 30)

REFERENCIAS

- Abascal, A. (2017). Estudio de la obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica. Matriz de reacciones y optimización. Universidad de Cantabria.
- AEBIG - Asociación española de biogás. (s.f). <https://www.aebig.org/biorefinerías/>
- Alonso Garzón, D. M. (2017). Evolución del bioetanol en Colombia (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Alzate, C. A. C., Toro, Ó. J. S., Rodríguez, M. I. M., & Suárez, J. A. Q. (2005). Producción de etanol carburante: material lignocelulósico una nueva alternativa. Ingeniería de recursos naturales y del ambiente, (3), 47-55.
- Arriols, E. (2018). Qué es el bioetanol y para qué sirve. <https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-bioetanol-y-para-que-sirve-1147.html>
- Ballesteros, H. O. B., & Aristizábal, G. L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá DC: nota técnica del IDEAM.
- Builes, Londoño, Vanegas, Rodas. (2019). Los cultivos hidropónicos como una alternativa para la agricultura urbana. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín
- Casas, L. & Sandoval C. (2014). Enzimas en la valorización de residuos agroindustriales. Revista digital universitaria, 15 (12), 1-15. <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num12/art95/>
- CCA (2014). La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 6 pp. <http://www3.cec.org/islandora/es/item/11405-la-quema-de-residuos-agr-colas-es-una-fuente-de-dioxinas-es.pdf>
- Colombia, Cámara de Comercio de Cali (2016). Normatividad para las Energías Renovables en Colombia (publicación No. 3). <https://www.ccc.org.co/file/2016/04/Ritmo-Bioenergia-Bioenergia.pdf>
- CONPES, D. (2008). 3510, Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia. Departamento Nacional de Planeación
- Cuaspad Cáliz, O. J. (2017). Obtención De Bioetanol a Partir De Tallos De Maíz. 93. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/61352/1/1053790403.2017.pdf.pdf>
- Curto et al., (2017) Cuantificación y evaluación del potencial energético de residuos agrarios y agroindustriales no tradicionales. Montevideo: Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2012/6384/FSE_1_2014_1_102079.pdf
- Departamento Nacional De Planeación (2018) Transición a una Economía Circular en Colombia para el sector de la manufactura y de la construcción: Plan de acción recomendado. <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Circular/MATEC%20Producto%203.pdf>

- FAO (2012) Transición de la quema a la práctica de no quema: Un primer paso para la agricultura sostenible en el corredor seco de Baja Verapaz. <http://www.fao.org/climatechange/34147-0513b607625cf6b489b18b544c3452038.pdf>
- FedeBiocombustibles. (2013). “Bios” de talla mundial. Bogotá, Colombia. Boletín informativo No. 81 M Enero de 2013. <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-1347.htm>
- FENALCE (2010). “El cultivo del maíz, historia e importancia”. En: Importancia de los cultivos presentados por FENALCE. Mayo - junio. Pp. 10 – 19
- Fernández, L. (2015). El papel de los óxidos de nitrógeno en el Cambio Climático. 1–20.:<https://eprints.ucm.es/48627/1/LAURA%20FERNANDEZ%20RIVAS%20%281%29.pdf>
- FERRER J, PÁEZ G, ARENAS L, CHANDLER C, MARMOL Z, SANDOVAL L. Kinetics of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse pith. En Revista Facultad de Agronomía (LUZ). Volumen 19. 2002. pp 23-33
- Fonseca, S. D., Rodríguez, H. A., & Camargo, G. (2017). Caracterización de residuos de maíz del municipio de Ventaquemada, Colombia. Avances en Ciencias e Ingeniería, 8(2), 29-36. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323652282004.pdf>
- García, H., & Calderón, L. (2012). Evaluación de la política de Biocombustibles en Colombia.
- Ghebreyesus, T. A. (2020). WHO Director-General’s opening remarks at the media briefing on COVID-19-11 March 2020. World Health Organization, 11.
- González, L. V. P., Gómez, S. P. M., & Abad, P. A. G. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. RIAA, 8(2), 141-150.
- Hernández Rueda, E. P., Mafla Yépez, C., Benavides Cevallos, I., & Ramírez Paredes, F. R. (2018). Análisis de factibilidad técnica para la producción de bioetanol a partir de residuos de maíz en Ecuador. INNOVA Research Journal. <http://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/578/704>
- LEY 939 DE 2004 c. d. Colombia Ley 939, 2004.
- Maciel, C. Á. (2016). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico.
- Marín, E. A. C., Mahecha, H. S., & Carrasco, S. C. P. (2009). Biocombustibles y autosuficiencia energética. *DYNA vol 76 n° 157 (2009): revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, 76(158), 101-110.*
- Miguel A. Medina-Morales, Lorena Lara-Fernández, Cristóbal N. Aguilar & Heliodoro de la Garza-Toledo. (2011). Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos para la producción de etanol como carburante. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila.

(Volumen 3, No. 6). Coahuila, México. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/242329999_Aprovechamiento_de_materiales_lignocelulosicos_para_la_produccion_de_etanol_como_carburante

Montoya, M. I., Quintero, J. A., Sánchez, O. J. & Cardona, C. A. (2005). Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz. *Revista Universidad EAFIT*, 41 (139), 76 -87

Morales, O. (2003). *Fundamentos de la investigación documental y la monografía. Manual para la elaboración y presentación de la monografía. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.*

Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta, *Tecnura* 16 (34), 142-156.

Ortega Tapia, J. F. (2018). OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DEL TALLO DE MAÍZ PARA APLICACIÓN COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN MCI.

Palacios-Lozano, M. T., Camacho, A., Cammaert, C., Rincón, S., Guzmán, L., Mejía, S. L., ... & Franco, C. (2008). Evaluación ambiental estratégica de políticas, planes y programas de biocombustibles en Colombia, con énfasis en biodiversidad. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 129.

Portafolio, (2020). Sector agroindustrial, el más productivo en 2019. Colombia: Portafolio. Recuperado de: <https://www.portafolio.co/economia/sector-agroindustrial-el-mas-productivo-en-2019-537623>

Rodríguez, A. G. (2017). La bioeconomía: oportunidades y desafíos para el desarrollo rural, agrícola y agroindustrial en América Latina y el Caribe.

Sánchez, A., Gutiérrez A., Muñoz, J. & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproducto agroindustriales lignocelulósicos, *Revista Tumbaga* 5, 61-91.

Schneuer Finlay, D. A. (2010). Estudio Exploratorio para la Producción de Bioetanol y Co-Productos de Bio-refinería, a Partir de Rastrojos de Maíz.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2017, diciembre). Informe Nacional de Aprovechamiento - 2016. Andi. <http://www.andi.com.co/Uploads/22.%20Informa%20de%20Aprovechamiento%20187302.pdf>

Tovar, C. D. G., & Colonia, B. S. O. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110.

VALORIZATION-FRUITS-IN, A. W. (2008). Valorización de residuos agroindustriales–frutas– en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 61(1), 4422-4431.

Viñals-Verde, M., Bell-García, A., Michelena-Álvarez, G., & Ramil-Mesa, M. (2012). Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46(1), 7-16.

Zorro, J. S. B., & Pava, C. A. (2018). Análisis sistémico de las externalidades del mercado de bioetanol.