

LA REMOLACHA FORRAJERA (*Beta vulgaris L.*) COMO CULTIVO ENERGÉTICO Y VIABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL CARBURANTE EN LA SABANA DE BOGOTÁ - COLOMBIA¹.

QUELBIS ROMÁN QUINTERO BERTEL²

HENRY HANSEN VILLAMIZAR³

ABSTRACT

Ethanol is the alternative Biofuel receiving today most of the attention to challenge gasoline and to serve as an alternative energetic product. It can be obtained from different biological sources, being sugar cane one of the most the used sources of biomass in tropical countries. Nevertheless in countries such Colombia, this source is not enough to provide all the demand. We studied sugar beet, as another possibility to be implemented in specific areas with great potential. In this research both the agronomical conditions as well as the biotechnology obtention of ethanol in a pilot plant is discussed.

RESUMEN

El presente proyecto va encaminado a la búsqueda de un cultivo energético como alternativa para la producción de combustibles en Colombia, a partir de la Remolacha. Está conformado por dos componentes: agronómico y biotecnológico. El primero, contempla el estudio de adaptabilidad y producción de una variedad de remolacha (*Beta vulgaris L.*); y el segundo la obtención de bioetanol carburante a través de procesos Biotecnológicos, de la variedad adaptada en planta piloto existente en la sede del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Autónoma de Colombia.

Palabras claves: bioetanol, carburante, biomasa

INTRODUCCIÓN

El uso de Biocombustibles en el mundo ha tomado un gran auge en los últimos años, La biomasa como base de los procesos de combustión ha venido siendo utilizada milenariamente. La necesidad de obtener fuerza motriz en mayor cantidad para avanzar al la velocidad de los países industrializados, sumado a la globalización de la economía, ha demandado mayor cantidad de combustibles fósiles que a su vez ha repercutido en el medio ambiente por la emisión de gases de invernadero. Como consecuencia se requiere emitir menor cantidad de estos gases al ambiente, lo que ha creado la necesidad de buscar alternativas más “amigables” con el ambiente, como es el uso de Biocombustibles. Pero al igual que los

¹ Resultados preliminares del proyecto de investigación financiado por el Sistema Universitario de Investigaciones de la Universidad Autónoma de Colombia, titulado “OBTENCIÓN DE BIOETANO, CARBURANTE A PARTIR DE LA REMOLACHA (*Beta vulgaris L.*)

² Docente – Investigador Universidad Autónoma de Colombia, Calle 18 No. 4 – 45, Sede de Ingeniería Ambiental, Bogotá D.C. quelbisquintero@yahoo.com, grquinterob@unal.edu.co, quelbis-quintero@correo.fuac.edu.co.

³ Docente – Investigador Universidad Autónoma de Colombia, Calle 18 No. 4 – 45, Sede de Ingeniería Ambiental, Bogotá D.C. Director del Proyecto hhanssen22@yahoo.com, henry_hanssen@hotmail.com

combustibles fósiles, los Biocombustibles a través de cultivos energéticos requieren de condiciones ambientales propicias para su producción, lo que se revierte en la demanda de recursos naturales en altos volúmenes, pudiendo ser también causantes de profundos impactos ambientales.

Biocombustible se define, como combustible sólido, líquido o gaseoso obtenido a partir de biomasa, sea de origen vegetal o animal. El término biomasa en la actualidad, se ha aceptado para denominar al grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de la materia orgánica formada por vía biológica

La biomasa presenta dos tipos de clasificación, por orden y por origen. Según su orden, se denomina Biomasa primaria, a la materia orgánica formada directamente por los seres fotosintéticos (algas, plantas verdes y demás seres autótrofos). Este grupo comprende toda la biomasa vegetal, incluidos los residuos agrícolas (paja o restos de podas) y forestales (leñas). Biomasa secundaria, es la producida por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria. Este tipo de biomasa implica una transformación biológica de la biomasa primaria para formar un nuevo tipo de biomasa de naturaleza distinta a la inicial (QUINTERO, 2004, 2005).

Según su origen la Biomasa recibe otro tipo de clasificación y es la que se muestra más interesante para el objetivo de esta investigación por su importancia para el concepto de Biocombustibles: la Biomasa natural es la que producen los ecosistemas silvestres sin intervención alguna por la mano del hombre. La Biomasa residual es la que se puede extraer de los residuos agrarios y forestales y de las actividades humanas; las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera, generan una serie de residuos y subproductos que son utilizables como biomasa para obtener energía, este tipo de biomasa se produce en considerables cantidades y puede ser de vital importancia para dar solución a la solicitud de altos volúmenes de Biocombustibles en Colombia y el mundo. Por último, Los cultivos energéticos, que reciben esta denominación cualquier cultivo agrario cuya única finalidad sea proporcionar material para destinarlo a su aprovechamiento energético. Los cultivos que suelen labrar con esta finalidad se caracterizan por dos aspectos concretos. Por una parte, por su alta producción por unidad de superficie al año y, por otra, por los pocos requerimientos que exige su cultivo.

En los últimos años, varios programas nacionales e internacionales están alentando y apoyando la mejora y desarrollo de formas de producción y usos de la biomasa como recurso para la generación de biocombustibles.

Como alternativas los países están trabajando de manera conjunta, es así cómo el 17 de febrero del 2005, se firmó en el mundo (menos Estados Unidos y Australia) el protocolo de Kyoto, que tiene como uno de sus objetivos, producir alcohol a partir de vegetales como uno de los principales medios para

combatir el cambio climático (reemplazar los combustibles fósiles por Bioetanol). En esa medida en el año 2002, el Ministerio de Minas y Energía, reglamentó la Ley 693 del 2001 referente al uso de alcoholes carburantes en Colombia. Esta ley tiene como objetivo disminuir las emisiones de dióxido de carbono, además de reactivar la producción agrícola. De acuerdo con lo previsto por esta norma, a partir de septiembre del año 2005 las ciudades con más de 500 mil habitantes deben tener mezcladas sus gasolinas con un 10% de alcohol (Etanol).

El consumo anual de gasolina para las ciudades en Colombia, con más de 500 mil habitantes y sus áreas metropolitanas (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Pereira, Bucaramanga) es del orden de 76,7 KBD (12 millones de litros por día), por tanto, teniendo en cuenta lo establecido por la ley, se requerirían 7,67 KBD de bioetanol carburante por día para oxigenar las gasolinas con el 10% de alcohol anhidro, es decir 1.2 Millones de alcohol anhidro por día (ASOCAÑA, 2003).

En la actualidad, se han centrado todos los esfuerzos hacia la producción de bioetanol a partir de la Caña de Azúcar, dadas las condiciones de infraestructura del país, pero teniendo en cuenta los altos volúmenes necesarios y la diversidad de pisos térmicos existentes en el territorio Colombiano, se hizo necesario emprender investigaciones sobre obtención de bioetanol carburante a partir de otros cultivos energéticos.

Colombia es un país con condiciones agro climáticas diversas, por lo que se pueden producir diferentes cultivos energéticos para la obtención de bioetanol carburante, de acuerdo a los requerimientos agro climáticos de cada cultivo y la oferta agro climática de determinada zona, para así cumplir con la Ley 693 de 2001, sin aumento en el costo del galón de bioetanol, así como tampoco los costos ambientales por el uso de los recursos naturales implicados, el cual repercutiría en el costo final del galón de la mezcla bioetanol-gasolina con resultados adversos a los objetivos de la Ley.

La investigación radicó en estudiar la viabilidad de producción de Remolacha Forrajera (*Beta vulgaris L.*) en la Sabana de Bogotá, como cultivo energético para la obtención bioetanol carburante, contemplándose la producción de la Remolacha en condiciones de secano y bajo riego, con la consecuente identificación de los insectos plagas y las enfermedades que pueden atacar al cultivo, mediante el seguimiento agronómico desde la siembra en los semilleros hasta la cosecha. Igualmente, estandarizar el proceso biotecnológico para la obtención de Bioetanol Carburante a nivel de laboratorio, para escalar a planta piloto. Es importante hacer la salvedad, que los resultados mostrados en el documento corresponden a experimentos a nivel de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Sabana de Bogotá está sobre la Cordillera Oriental, en la parte sur del Altiplano Cundí boyacense en los Andes colombianos, haciendo parte de una de las altiplanicies más grandes en esta zona del país, con una altura en promedio de 2.600 MSNM. La temperatura promedio es de 15°C, que puede oscilar entre los 0°C y los 24°C.

Las parcelas experimentales fueron ubicadas en dos sectores de la Sabana de Bogotá, Sesquilé y Chía. Las condiciones en cada sector difieren en características de suelos, brillo solar, precipitación, temperatura y velocidad del viento.

El cultivo fue plantado al campo, luego de hacer la debida germinación en semillero durante 30 días. Los sistemas de siembra fueron diferentes, en el sector de Sesquilé fue a ras del suelo, previa preparación con dos pases de arado rotativo y un pase de rastrillo. En el sector de Chía, se sembró sobre heras de 1.2 m de ancho por 0.5 m de altura y 40 m de largo, la preparación del terreno se hizo mediante dos pases de arado rotativo y un pase de rastrillo. Se hizo observación diaria con el fin de identificar los insectos plagas que pudieran afectar la productividad del cultivo.

En el laboratorio, luego de la cosecha de la Remolacha, se procedió a la extracción del jugo de remolacha, fermentación y destilación, previa caracterización del jugo de remolacha, para luego caracterizar el alcohol obtenido. Figura 1.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

La remolacha azucarera es una planta dicotiledónea, perteneciente al género *Beta* de la familia de las Quenopodiáceas. Se encuentra dentro del grupo de la *Spermatophytae*, clase de las *Angiospermae*, subclase de la *Dycotylae*, orden *Centrospermae*.

La remolacha se considera exigente en cuanto a condiciones ambientales para su germinación, como son: la humedad, temperatura y aireación. En suelos muy secos (punto de marchitez permanente o inferior) y excesivamente húmedos (superior a capacidad de campo), no es un medio apropiado para la germinación. La temperatura óptima de germinación es de 25 °C, aunque el fenómeno se dé entre 5 y 30 °C.

Los porcentajes de germinación encontrados en las parcelas experimentales fueron de 78.9% para Sesquilé y 82.7% en Chía. Los resultados difieren en un 3.8%, siendo obteniéndose en Chía el mayor porcentaje de germinación, atribuyéndose a la calidad de los suelos y la humedad, teniendo en cuenta que en Sesquilé el suelo es de textura Arcillosa y en Chía es Franca.

Como todas las plantas verdes, la remolacha posee la facultad de sintetizar compuestos orgánicos a partir de elementos simples absorbidos del suelo y la atmósfera, utilizando la energía solar. Las sales minerales son absorbidas principalmente por la raíz, mientras que la síntesis de la materia orgánica se realiza en las hojas a través de la función clorofílica. Los elementos minerales que se necesita aportar a la remolacha son principalmente: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, sodio; y en cantidades pequeñas, los llamados oligoelementos: manganeso, boro, hierro, zinc, cobre, molibdeno.

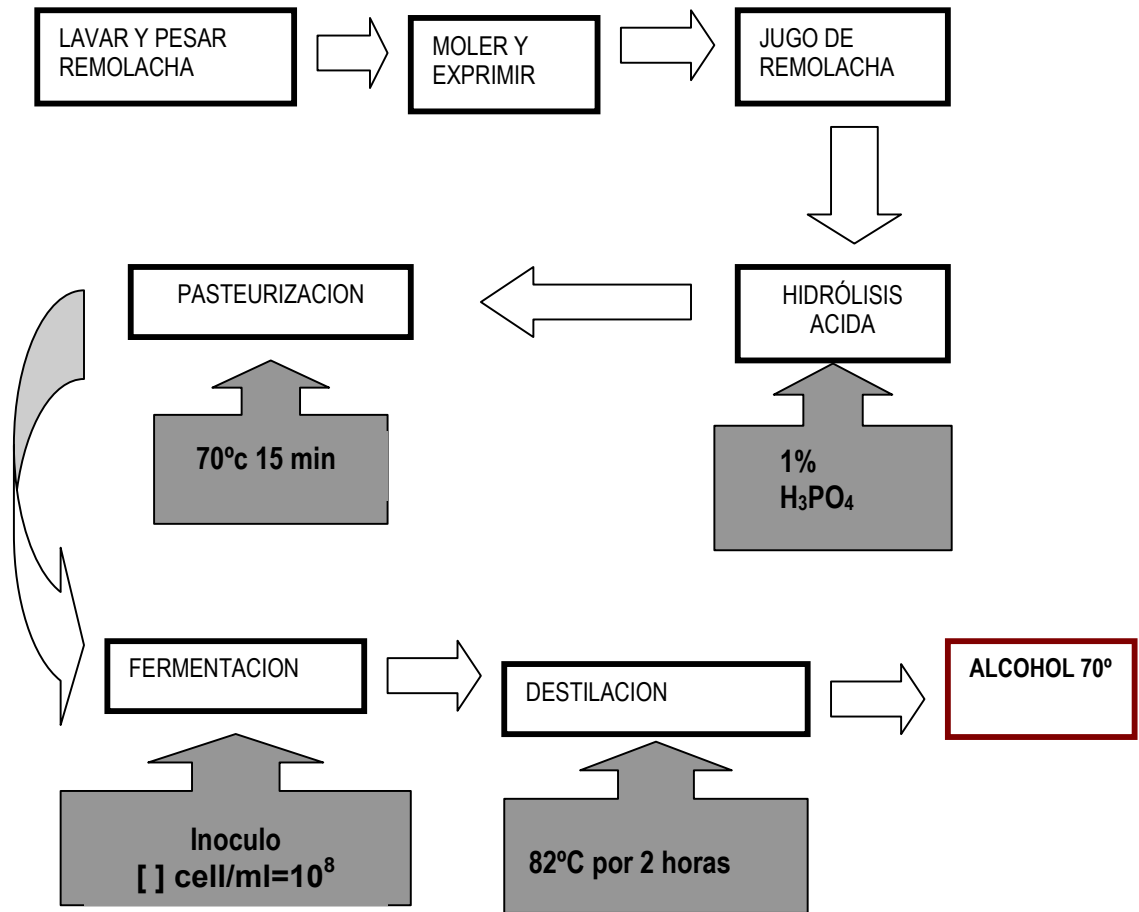


Figura 1. Procesos de obtención de alcohol a partir de remolacha (fase experimental)

Una cosecha media de remolacha de 60 a 90 ton/ha, con el 16% de riqueza, puede extraer del suelo los nutrientes en Kg/ha, reseñados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Requerimientos nutricionales de la Remolacha Azucarera

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na	Mg	Ca
120 – 170	70 – 110	235 – 180	90 – 125	20 – 45	85 – 90

Fuente: VILLARÍAS, 1999.

Con base en estos requerimientos y el análisis de suelo, se realizó un balance de nutrientes y se aplicó una fertilización nitrogenada, en dosis según el estudio de suelo, cuyo resultado fue de 3 bultos/ha de Úrea y 0.35 bultos/ha de P₂O₅, para el lote sembrado 1 bulto de Úrea mezclado con 0.5 bulto de Triple 15, en Sesquilé. En la parcela experimental localizada en Chía, la dosis de fertilizante fue de 2 bultos de Úrea mezclado con 1 de Triple 15, según los requerimientos del análisis de suelos.

En las parcelas cultivadas no se presentaron ataques importantes en cuanto a malas hierbas invasora, lo que indica que el manejo es relativamente fácil. En la parcela ubicada en Sesquilé, el manejo de las malas hierbas consistió en un control manual a los 30 días después del trasplante, con el fin de no utilizar productos químicos, debido a la época de lluvia prolongada, no se pudo realizar un segundo control.

Para el lote localizado en Chía, se hizo un control con productos químicos, "Roundup" en dosificación de 7 cm³/litro de agua, mezclado con 5 gr. de urea/ litro de agua, teniendo en cuenta la historia de utilización del lote, el cual venía siendo utilizado en el cultivo de pasto y se requería controlar en la primera etapa del cultivo las secuelas del pasto que pudieran incidir en la producción de la remolacha. A los 60 días se hizo un control manual con el fin de permitir el buen desarrollo del cultivo. Las especies encontradas se relacionan en el cuadro 2 y 3.

Cuadro 2. Malas hierbas encontradas en la parcela Sesquilé.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR	CARACTERÍSTICAS
Gramineae	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo	Es una gramínea muy competitiva. No es problema si se presenta después de germinada la remolacha. Le gustan los suelos bien drenados, y el sol directo.
	<i>Lolium multiflorum Lamarck</i>	Ballilo, vallico, rabudo raigrás	Gramínea anual que prefiere para desarrollarse los suelos limosos o arenosos, con elevado contenido de elementos nutritivos.
Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus L</i>	Amaranto, bledo, moco de pavo, taramago, zumarraga	Es una planta anual, de la familia amarantácea, es termófila. Cada planta puede producir 56.000 semillas en promedio. Las disemina el hombre y los animales.
Ambrosiaceae	<i>Xanthium spinosum L</i>	Arranca moños, cacharrera menor, cadillo, carrapitos, cardo de tres puntas, abrojos, cardo de la virgen, cardo garbancero	Es una especie anual, prefiere suelos cálidos y ricos en nutrientes, siendo muy resistente a la sequía. Cada planta puede producir 250 frutos en promedio, que producen dos semillas.

Fuente: HANSEN, H y QUINTERO, Q., 2006

Cuadro 3. Malas hierbas encontradas en la parcela Chía.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR	CARACTERÍSTICAS
Gramineae	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo	Es una gramínea muy competitiva. No es problema si se presenta después de germinada la remolacha. Le gustan los suelos bien drenados, y el sol directo.
Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus L.</i>	Amaranto, bledo, moco de pavo, taramago, zumarraga	Es una planta anual, de la familia amarantácea, es termófila. Cada planta puede producir 56.000 semillas en promedio. Las disemina el hombre y los animales.
Cruciferae	<i>Sinapsis arvensis L.</i>	Naviza, sajo, amarillotes, jajos, amarillas, mostaza, géniba, gébana, jemina, rabanitos, rabanillos, mostacilla.	Planta anual, que se puede encontrar en muy diversos cultivos. Cada planta puede producir un promedio de 1200 semillas, su longevidad puede alcanzar los 40 años.

Fuente: HANSEN, H y QUINTERO, Q., 2006.

Otras malezas encontradas en Chía, alcanzaron a identificarse como su nombre común, las cuales se nombran a continuación: Lengua de vaca, Borraja.

Las enfermedades más comunes en los países productores de remolacha son causadas en su mayoría por hongos, aunque un importante número son por bacterias, que atacan al cultivo de la remolacha en las plántulas, hojas y raíces. Muchos de los hongos patógenos son endémicos de cada zona productora, pero algunos son comunes en todos cultivos de remolacha.

En los lotes de experimentación, no se tuvo reporte alguno de enfermedades. Contrario a la primera germinación que se realizó en bandeja, teniendo como sustrato turba, se presentó la enfermedad fúngica provocada por un complejo de hongos, llamada "pié negro".

Los insectos plagas, son un factor determinante en el rendimiento del cultivo de la remolacha, en otros países puede ser afectada de manera significativa, que para el caso de las parcelas experimentales en Sesquilé y Chía, tan solo se presentó el ataque de Chisa (*Clavipalpus sp.*), cuyo control se hizo con Furadán con 1% de concentración en volumen.

La producción promedio por metro cuadrado en la parcela experimental ubicada en Sesquilé fue igual 6.72 Kg, lo que equivale a 67.2 Toneladas por hectárea. La relación peso de la hoja con el peso de la remolacha es de 52.62 % en promedio. Para el caso de Chía, la producción promedio por hectárea es de 192.3 Ton por hectárea y la relación peso hoja con respecto al peso de la remolacha es de 26.9% en promedio.

En el proceso biotecnológico, después de seguir los protocolos para la hidrólisis, fermentación y destilación, se obtuvo los siguientes datos: el ensayo fue realizado con jugo de remolacha adicionándole 1% de urea como fuente de nitrógeno para la levadura.

La determinación de Azúcares reductores por el método de Fheling para las Etapas del proceso de obtención de alcohol a partir de remolacha forrajera a nivel laboratorio, se describen en el cuadro 4.

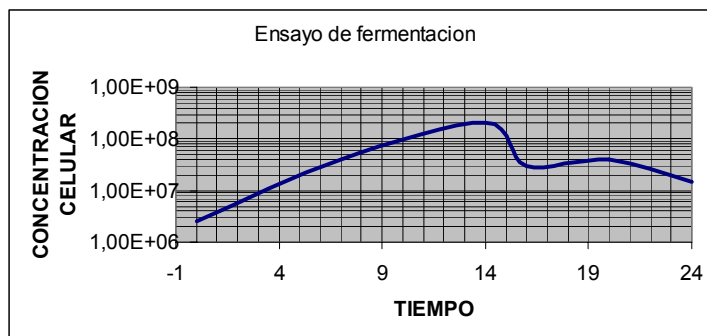
Cuadro 4. Azúcares reductores en las diferentes etapas del proceso de obtención del Bioetanol.

MUESTRA	Azúcar (gr/L)	°BRIX
Jugo original decolorado, sin diluir	16,42857143	11
	27,38095238	
	27,38095238	
hidrólisis decolorado	26,13636364	12
	25	
	21,2962963	
pasteurizado decolorado	19,16666667	
	17,96875	
	15,333333	
Muestras de fermentación		
18 abril a las 8:30 pm MUESTRA DE 50 ml	5,582524272	8
	6,117021277	
	5,693069307	
19 abril a las 11:30 AM muestra de 30 ml decolorado	1,91666667	7,5
21 abril de 2006 a las 10 AM decolorado	2,662037037	3,6

Fuente: HANSEN, H y QUINTERO, Q., 2006.

El proceso de fermentación, tuvo un comportamiento típico para este tipo de proceso, como se muestra en la figura 2, lo que indica no tener diferencias significativas con los otros jugos azucarados utilizados en el proceso de obtención de Etanol.

Figura 2. Ensayo de fermentación con jugo de Remolacha (*Beta vulgaris L.*)



Fuente: Fuente: HANSEN, H y QUINTERO, Q., 2006.

En la fermentación se obtuvo un volumen de 700 ml, seguidamente se filtro este, obteniendo un volumen final de 650 ml. Finalmente se procedió a destilar en dos etapas:

- Primera destilación: 100 ml C₂H₆O, con un porcentaje de 20%

En vista de la baja concentración del alcohol, se precedió a hacer una redestilación obteniéndose el siguiente resultado:

- Segunda destilación: 30 ml C₂H₆O, con un porcentaje de 59.79%

Durante en procesos se realizó monitoreo con el fin de controlar y evaluar periódicamente el comportamiento de las variables influyentes. Se realizó monitoreo al inóculo, fermentación y destilación. Los análisis de monitoreo son los siguientes: Grados Brix, pH, Azúcares reductores, Temperatura, Porcentaje de alcohol y el parámetro de control el tiempo. Del proceso de destilación, se obtuvo además 850 ml de vinazas con un pH de 3,8 y de 5° Brix.

DIFICULTADES ENCONTRADAS EN LA INVESTIGACIÓN

Las dificultades encontradas en esta investigación, se puede plantear en tres componentes importantes, dentro de los cuales se mencionan, las Agronómicas, que radica principalmente en culturales, pues la gente no esta adaptada o acostumbrada a cultivar remolacha, por ser un cultivo nuevo en condiciones de trópico, sumado al desconocimiento de los enemigos en términos de insectos plagas y enfermedades.

Dentro de las dificultades de orden técnico y/o tecnológico, podemos mencionar la estandarización de procesos de fermentación más adecuados, la deshidratación del alcohol, un plan para utilización óptima de residuos.

Otro aspecto bien importante, es el uso de la tierra y el agua, pues la demanda por los Biocombustibles es bastante alta, lo que implica alta demanda de éstos recursos, por lo que existe la necesidad de generar una tecnología adecuada para la optimización de los mismo en la búsqueda de la máxima productividad compatibilizado con la sostenibilidad de los suelos y el agua.

CONCLUSIÓN

Como conclusión en cuanto a productividad del cultivo de Remolacha en las zonas estudiadas, se puede afirmar que la remolacha para la zona de Chía es 2.8 veces mayor que en Sesquilé. Con respecto a la relación peso hoja con respecto al peso de remolacha es de 1.95 mayor en Sesquilé que para chía.

La alta productividad del cultivo de Remolacha en los sitios escogidos, comparados con los rendimientos en Chile y España. En el caso Sesquilé, el rendimiento por hectárea (67.2 ton.) se aproximó a la que se presentada en Chile (70 ton./ha.), pero por debajo a la presentada en España (90 ton./ha.) (VILLARÍAS, 1999). En el Caso de Chía, donde se alcanzó producción de 193.2 ton./ha., estuvo por encima de ambas referencias, incluso para el caso de Chile, muy cerca de triplicar la producción y España la duplicó. (HANSSEN, H y QUINTERO, Q., 2006)

En cuanto a producción remolacha anual en el altiplano Cúndi – Boyacense, según la producción obtenida en esta investigación, se puede hablar de 2 cosechas al año por ser un cultivo de 4 meses en campo abierto y un mes en semillero, la producción por hectárea asciende a 400 ton/ha/año, que comparada con 120 ton/ha/año de Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, entonces la Remolacha se convierte en un cultivo atractivo, para la solución de suministro de Bioetanol Carburante para Bogotá y el Altiplano Cúndi – Boyacense. (HANSSEN, H y QUINTERO, Q., 2006)

Con relación al rendimiento en litros de Alcohol producido, también es atractivo, en el evento de alcanzar 3 producciones al año, podríamos hablar de una relación 3:1, Remolacha Vs. Caña de Azúcar. (HANSSEN, H y QUINTERO, Q.)

La poca incidencia de plagas y enfermedades registradas en los cultivos experimentales, con respecto a los presentados en Europa, USA, Chile y Argentina. Esto es un indicador de potencialidades importantes del ambiente en cuanto al manejo de plagas y enfermedades, y por ende el uso de agroquímicos. (HANSSEN, H y QUINTERO, Q., 2006)

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN DE CULTIVADORES DE CAÑA AZÚCAR DE COLOMBIA - ASOCAÑA. Proyecto de oxigenación de las gasolinas a escala nacional. 2003.

ARGUELLES M, Germán. LA REMOLACHA. *Forraje alternativo para ganado*. Publicado por el ICA. _Bogotá, 1991.

HANSSEN, H y QUINTERO, Q. *Obtención de Bioetanol Carburante a Partir de Remolacha Azucarera (Beta vulgaris L.)*. {Informe Técnico}. Universidad Autónoma de Colombia. Bogotá, 2006.

PRODUCCION DE ALCOHOL CARBURANTE EN COLOMBIA – Aspectos Técnicos. Comité Nacional de Sucroindustria. Editora Guadalupe. Bogotá, Colombia. 1986.

QUINTERO B, Quelbis R. *Obtención de Bioalcohol a Partir de Biomosas*. {Conferencia}. Universidad Autónoma de Colombia. Semana Universitaria, 2004. Bogotá D.C.

_____. *Obtención de Bioetanol Carburante a Partir de Biomasa Primaria – Remolacha Azucarera.* {Conferencia}. Seminario Utilización de Biomasa Residual. Universidad Autónoma de Colombia. Convenio FUAC - SENA. Bogotá D.C, 2005.

VILLARIAS MORADILLO, José Luis. *Compendio Práctico para el Cultivo de la Remolacha Azucarera.* Ediciones Agrotécnicas. 1999. 330 Pág.