

OBTENCIÓN DE BIOETANOL CARBURANTE A PARTIR DE LA REMOLACHA FORRAJERA (*BETA VULGARIS L.*) COMO ALTERNATIVA PARA BIOMAS PREMONTANO – MONTANO BAJO.

Quelbis Román Quintero Bertel*
Celso Libardo Mateus Pineda**
Luis Guillermo Muñoz Angulo***
Jhoan Manuel Torres Pérez****

RESUMEN

El presente artículo está orientado a la presentación de una alternativa para la obtención de combustibles en Colombia, a partir de la Remolacha forrajera (Beta vulgaris L.), variedad Brigadier. Está conformado por dos componentes: agronómico y el biotecnológico. El primero, contempla el estudio de adaptabilidad y producción de una variedad de remolacha en el Bioma premontano – montano bajo y el segundo el proceso de obtención de bioetanol.

INTRODUCCIÓN

El rápido desarrollo industrial de los siglos XIX y XX, ha traído consigo un incremento de las emisiones procedentes de la combustión de combustibles fósiles, elevando el porcentaje de dióxido

de carbono en la atmósfera en un 40%¹. Esta situación predice un escenario de calentamiento global que puede causar numerosos problemas medioambientales².

* Docente – Investigador Universidad Autónoma de Colombia, Director del Grupo de Investigación en Bioindustrias, Calle 18 No. 4 – 45, Sede de Ingeniería Ambiental, Bogotá D.C. quelbisquintero@yahoo.com, qrquinterob@unal.edu.co, quelbis-quintero@correo.fuac.edu.co.

** Docente – Investigador Universidad Autónoma de Colombia, Subdirector del Grupo de Investigación en Bioindustrias, Calle 18 No. 4 – 45, Sede de Ingeniería Ambiental, Bogotá D.C. celso.mateus@fuac.edu.co.

*** Luis Guillermo Muñoz Angulo. Investigador del Grupo de Bioindustrias Universidad Autónoma de Colombia, Calle 18 No. 4 – 45, Sede de Ingeniería Ambiental, Bogotá D.C. guillomuo@yaho.com.mx, aurelianobuendiaster@gmail.com.

**** Jhoan Manuel Torres Pérez. Investigador del Grupo de Bioindustrias Universidad Autónoma de Colombia, Calle 18 No. 4 – 45, Sede de Ingeniería Ambiental, Bogotá D.C. jhoan47@hotmail.com, Jhoan47@gmail.com.

¹ El Tercer informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2001), que presenta las conclusiones del análisis más objetivo, completo y cuidadoso de la información científica, técnica y económica más relevante, realizado por miles de expertos de todo el mundo.

² Watson Chair, Robert T. "Climate change 2001", en: *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Bonn, Alemania. At the resumed Sixth Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 19 de julio de 2001.

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 biomasa³ 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)⁴.

El consumo anual de gasolina para las ciudades de más de 500 mil habitantes y sus áreas metropolitanas (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Pereira, Bucaramanga) es del orden de 76,7 KBD⁵ (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 litros de etanol carburante por día⁶. En la actualidad con la entrada al consumo de otras ciudades, éste asciende a 1.33 millones de etanol carburante por día⁷, en donde Bogotá absorbe una cantidad significativa.

La producción de etanol carburante en Colombia, se ha centrado en 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 en el país, se hizo necesario emprender investigaciones sobre obtención de etanol carburante a partir de otras biomasas.

Colombia, país con condiciones agro climáticas diversas, y tierras cultivables subutilizadas, presenta ventajas comparativas para obtener diferentes tipos de biomasa para la obtención de bioetanol carburante,

partiendo de los requerimientos agro climáticos de cada cultivo y la oferta agro climática de determinada zona, en el marco de la sostenibilidad de los ecosistemas, sin aumento en el costo del galón de bioetanol, el cual repercutiría en el costo final del galón de la mezcla bioetanol-gasolina con resultados adversos al balance energético y 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, el cual se encuentra ubicada en Bioma Premontano, como fuente biomásica para la obtención etanol carburante, 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 planta piloto⁸ y el modelo de desarrollo social.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Sabana de Bogotá está ubicada en el centro geográfico de Colombia, sobre la Cordillera Oriental, en la parte sur del Altiplano Cundiboyacense, la altiplanicie más extensa de los Andes colombianos, con una altura en promedio de 2.600 MSNM. Tiene una temperatura promedio de 15 C, que puede oscilar entre los 0°C y los 24°C. Las temporadas secas y lluviosas se alternan durante todo el año; los meses más secos son diciembre, enero, febrero y marzo; durante los meses más lluviosos, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre la temperatura es mas estable, con oscilaciones entre los 9°C y los 20°C. Junio, julio y agosto son los meses de fuertes vientos y mayor oscilación de la temperatura; durante el alba se suelen presentar muy bajas temperaturas, llamadas heladas, que afectan la agricultura. Es común también la presencia de grani-zo⁹.

Las parcelas experimentales fueron ubicadas en dos sectores de la Sabana de Bogotá, Sesquilé y Chía. Las

³ Grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de la materia orgánica formada por vía biológica.

⁴ El alcohol no tiene carbono extraído de las capas sedimentarias al contrario de lo que ocurre con el carbón y el petróleo y su uso como combustible disminuye las emisiones de CO₂, CO y compuestos con alto contenido de azufre.

⁵ Kilo barriles por día

⁶ Asociación de cultivadores de caña azúcar de Colombia. Proyecto de oxigenación de las gasolinas a escala nacional. 2003.

⁷ Consejo Nacional de Política Económica y social. Documento 35 10/2008. Bogotá D.C. 2008. p21.

⁸ Capacidad 100 litros de jugo, ubicada en la sede del programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Colombia.

⁹ www.ideam.gov.co. 2008.

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.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

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

La remolacha es exigente en cuando 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.

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. Fuente: VILLARÍAS, 1999.

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

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 0.5 bultos/ha de Triple 15, para el lote sembrado 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.

La remolacha, para formar 1 Kg. De materia seca, requiere absorber de 400 a 500 litros de agua (VILLARIAS, 1999). Teniendo en cuenta que este dato corresponde a clima templado y no al tropical, lo que implica que solo son datos de referencia y se hace necesario investigar para el clima de la Sabana de Bogotá.

En las parcelas cultivadas no se presentaron poblaciones 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 que este lote estaba dedicado a cultivo de pasto y se requería controlar en la primera etapa del cultivo. A los 60 días se hizo un control manual con el fin de permitir el buen desarrollo del cultivo. Las especies encontradas en cada parcela experimental 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.
Gramineae	<i>Lolium multiflorum</i> Lamarck	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</i> L.	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 espinosum</i> L.	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.

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</i> L.	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</i> L.	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.

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 "pie 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.

Se puede concluir que el cultivo de remolacha para la zona de Chía es 2.8 veces mayor que en Sesquilé. Para el caso de la relación peso hoja con respecto al peso de remolacha es de 1.95 mayor en Sesquilé que para chía.

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. Figura 1.

La caracterización del producto y 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 planta piloto se describen en el Cuadro 4.

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, Azucares reductores, Temperatura, Porcentaje de alcohol y el parámetro de control el tiempo. Los resultados de la destilación se muestran en el Cuadro 5.

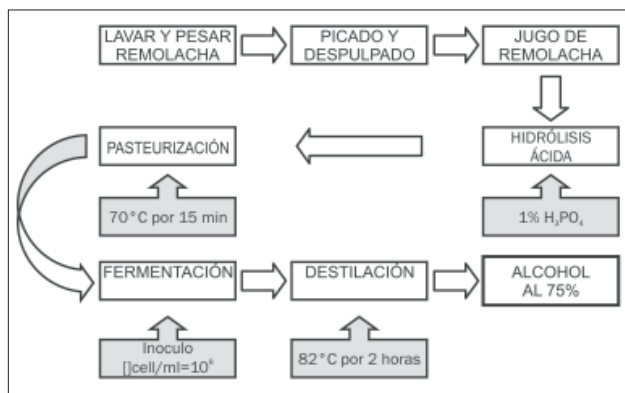


Figura 1. Procesos de obtención de alcohol a partir de remolacha

Cuadro 4. Caracterización del producto.

Descripción	Valor
Peso remolacha Brigadier (Kg.)	80
Peso corteza y raíces (Kg.)	26.6
Peso pulpa (Kg.)	14.2
Porcentaje de extracción (%)	75
Volumen Jugo (L)	56.7
°Brix	10.5
Brix agua escaldado	5.5

Los azúcares reductores representados mediante °Brix, se consideran aceptables con respecto a algunas concentraciones presentadas en Caña de Azúcar, igual que el porcentaje de extracción de jugos. Esto indica que existe la necesidad de optimizar el proceso.

Cuadro 5. Bioetanol destilado

Muestra	Volumen de alcohol (ml)	Concentración alcohol GL (%)
1	95	25
2	191	46
3	425	79
4	184	84
5	280	36
6	250	60
7	466	28
8	425	20
9	320	18
10	70	50
11	174	15
12	500	30
13	263	5
14	450	2
Total alcohol producido (ml)	4093	60

El volumen total de alcohol obtenido fue de 4.093 Litros, con grados alcohólicos en la mezcla de 60% en promedio y pérdidas por evaporación equivalentes al 5%, para un rendimiento total de 4.093 litros de alcohol / 100 litros de jugo: 4.093%.

En el proceso se obtienen dos subproductos importantes: vinazas y bagazo, los cuales se caracterizaron y se muestran en el Cuadro 6 y 7 respectivamente.

Cuadro 6. Caracterización de vinazas (alícuota de caracterización = 1.0 l)

VARIABLES	VALOR
Volumen total (L)	47
pH. @ 20 C	4.73
°Brix	3.8

Cuadro 7. Caracterización del bagazo

VARIABLE	VALOR
Peso total (Kg.)	14.2
pH. @ 20 C	5.34
°Brix	8

Siendo consecuente con lo expuesto anteriormente, con respecto a la optimización del proceso, de los cuadros 6 y 7, se observa que existe un porcentaje importante de °Brix, en el bagazo y las vinazas, que inciden en la obtención del volumen final de alcohol. Aunque el cuadro 6 muestra una cantidad importante de °Brix, se hace necesario medir estos con métodos más exactos.

El etanol obtenido, fue caracterizado con técnicas de laboratorio apropiadas para este tipo de análisis, cuyos resultados se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Caracterización del etanol obtenido

VARIABLES	VALOR	
Volumen total de las corridas piloto (L)	6.393	
Alícuota de caracterización (L)	1	
pH @ 20 C	4.10	
Densidad @ 20°C (g/ml)	Concentración (50%)	0.9271
	Concentración (83%)	0.8434
Prueba cetonas	Negativa	
Prueba de alcohol	Positiva	
Masa específica @ 20°C (g/l)	0.8650	
Punto de ebullición (C)	70	
°GL (15°C)	60	

El alcohol obtenido tuvo un olor fuerte, característico de los alcoholes, y un color transparente, con ausencia de partículas en suspensión.

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 labores culturales, pues los

productores agrícolas por ser un cultivo nuevo en el trópico no está adaptada o acostumbrada a cultivar remolacha, sumado a la no existencia de herbicidas selectivos en Colombia, al igual que el desconocimiento de los enemigos en términos de insectos plagas y enfermedades. Igualmente importante, la topografía de las áreas a cultivar, teniendo en cuenta que por alto volumen de bioetanol demandado, se requiere mecanización, para que la cosecha sea rápida y eficiente y por último se menciona la asociatividad por la naturaleza cultural.

Dentro de las dificultades de orden tecnológico, podemos mencionar la estandarización de procesos de fermentación más adecuados, la deshidratación del alcohol, un plan para utilización óptima de subproductos generando coproductos, la adaptación de dietas para producción de animal y el balance energético.

En el orden financiero, se puede considerar en primera instancia el costo de la tierra en el área de estudio, se considera significativamente alto para este tipo de proyectos. Se puede mencionar las fuentes financiadoras en donde presencia de cooperación internacional es opaca para este tipo de proyectos, en ese mismo orden, el ordenamiento del mercado del Bioetanol interno y el aprovechamiento de los subproductos generados en el proceso con el fin de generar valor agregado a los proyectos.

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 mismos en la búsqueda de la máxima productividad compatible con la sostenibilidad de los suelos y el agua.

CONCLUSIÓN

En Colombia, por su diversidad de clima es posible producir etanol carburante con biomasa diferente a la Caña de Azúcar, con el condicionante de encaminar los esfuerzos en la búsqueda de una tecnología económica y ambientalmente sostenible, en donde las unidades de energía producidas sean mayores a las invertidas en el proceso, garantizando que los recursos naturales implicados en la producción estén disponibles en iguales condiciones para las generaciones futuras.

BIBLIOGRAFÍA

- Arguelles M, Germán. 1991. La Remolacha. Forraje alternativo para ganado. Publicado por el ICA. Bogotá,
- Asadi, M. 2006. Beet Sugar Handbook. Jhon Willey & Sons, Inc., Publication. United State of American.
- Asociación de cultivadores de caña azúcar de Colombia. 2003. Proyecto de oxigenación de las gasolinás a escala nacional.
- Consejo Nacional de Política Económica y social CONPES. 2008. Documento 35 10/2008. Bogotá D.C., p21.
- Hanssen, H y Quintero, Q. 2006. Obtención de Bioetanol Carburante a Partir de Remolacha Azucarera (Beta vulgaris L.). {Informe Técnico}. Universidad Autónoma de Colombia. Bogotá,
- Draycott, P. y Christenson, D. 2003. Nutrients for sugar beet production. CABI publishing.
- Produccion De Alcohol Carburante En Colombia – Aspectos Técnicos. 1986. Comité Nacional de Sucreindustria. Editora Guadalupe. Bogotá, Colombia.
- Quintero B, Quelbis R. 2004. Obtención de Bioalcohol a Partir de Biomásas. {Conferencia}. Universidad Autónoma de Colombia. Semana Universitaria, Bogotá D.C.
- Quintero B, Quelbis R. 2005. 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,
- Villarias Moradillo, José Luis. 1999. Compendio Práctico para el Cultivo de la Remolacha Azucarera. Ediciones Agrotécnicas. 330 Pág. 56.
- Watson Chair, Robert T. “Climate change 2001”, en: Intergovernmental Panel on Climate Change. Bonn, Alemania. At the resumed Sixth Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 19 de julio de 2001. www.ideam.gov.co. Datos climatológicos tomado el 26 de septiembre de 2008.

