

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Tucumán
Escuela de Posgrado

**IMPACTO POSITIVO DE LA ECONOMÍA DE FLETES SOBRE LA TASA
DE RETORNO ENERGÉTICO DEL BIOETANOL DE MAIZ ELABORADO
EN UNA PLANTA MODULAR EMPLAZADA EN UN ESTABLECIMIENTO
AGRÍCOLA**

Lic. Javier Elpidio Brito

**Trabajo Final Integrador para optar al Grado Académico Superior de
Especialista en Ingeniería Bioenergética**

18/11/2020

Tutor: Mg. Ing. Romina A. Salazar

**SAN MIGUEL DE TUCUMÁN
AÑO 2020**

Resumen

La población consume grandes cantidades de energía lo cual es la principal causa del calentamiento global, más allá de las posibilidades de diversificar sus fuentes con combustibles renovables. Actualmente, el bioetanol, adquirió una remarcada importancia, es un combustible renovable y de rápido reemplazo a los fósiles. En el presente trabajo se estudió una pequeña planta modular de bioetanol integrada a un establecimiento agropecuario la cual tiene por objeto la obtención del biocombustible a partir del maíz producido en el establecimiento y alimenta a un feedlot de ganado vacuno con subproductos del proceso. Esta planta modular permite generar energía de manera eficiente, ecológica e innovadora, lo cual se traduce en economizar gastos en fletes, tanto de maíz como de subproductos ya que todo se produce y consume en el propio lugar en donde se generó. Se determinó que por cada camión de alcohol que sale de esta planta se puede ahorrar tres fletes de maíz y tres de burlanda en relación a una planta tradicional. En un principio, se realizó un estudio del proceso en donde se tienen en cuenta aspectos técnicos con el objeto de realizar un balance de masa de la planta lo que permitió establecer la cantidad de materia prima necesaria y la cantidad de productos obtenidos. Se definió la tasa de retorno energético (TRE) y se efectuó un análisis minucioso de la misma, dando resultados positivos principalmente al usar el subproducto como alimentación animal. Posteriormente se presentó una comparación entre los valores obtenidos de TRE de bioetanol para una planta modular integrada a un establecimiento agropecuario y uno que no se encuentre bajo estas condiciones. La planta modular estudiada tiene una capacidad de molienda de 13500 toneladas (t) de maíz al año a partir del cual se obtuvo 4338 t de bioetanol, además de 11536 t de burlanda húmeda. Se concluyó que entre las ventajas de emplear una planta modular se encuentra la posibilidad de desarrollar energía limpia ya que presenta ventajas ecológicas. Además favorece al ahorro de combustibles fósiles al utilizar menos fletes y además genera valor agregado en su origen.

Palabras clave: bioetanol, maíz, burlanda, balance de materia y energía, tasa de retorno energético.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Índice.....	2
Introducción.....	3
Objetivo general	7
Materias primas para la obtención de bioetanol	7
Características generales del maíz.....	8
Bioetanol.....	9
Propiedades fisicoquímicas y termodinámicas del etanol.....	10
Tabla 2: propiedades fisicoquímicas y termodinámicas del etanol.....	10
Burlanda	11
Obtención de bioetanol a partir del maíz	12
Obtención de subproductos (burlanda y vinaza).....	16
Balance de materia de la obtención de bioetanol de maíz	16
Figura 1: balance de masa.....	18
Consumos energéticos de la producción de bioetanol de maíz en una planta modular emplazada en un establecimiento agrícola.....	19
Transporte y ahorro de combustible	21
Tasa de retorno energético.....	23
Conclusiones.....	27
Bibliografía	29

INTRODUCCIÓN

El petróleo es un recurso único que constituye para la humanidad una fuente de energía eficiente, relativamente fácil de extraer, transportar y utilizar; así también es la materia prima para la producción de una gran cantidad de materiales. Estas características lo convierten en el combustible fósil de mayor contribución al desarrollo de la industria, la agricultura y los medios de transporte. Somos tan dependientes del petróleo y de otros combustibles fósiles, que una pequeña alteración en el suministro, puede tener efectos incalculables en todos los aspectos de la vida.

Ante la crisis energética, indicado por los análisis que pronostican un cercano peak oil y el incremento del calentamiento global, se plantea la necesidad de buscar alternativas que permitan subsanar dicha situación. Por estos motivos, en los últimos años, se evaluó el uso de energías renovables como una opción a los combustibles fósiles (Torroba, 2020). En el año 2018, de acuerdo con datos publicados por el Ministerio de Energía y Minería de la Nación (2020), las fuentes de energía renovables representan aproximadamente un 10% de la producción energética total, la nuclear un 2%, mientras que las fósiles constituyen el 88% restante.

El consumo mundial de petróleo hasta enero del 2020 supero 100 millones de barriles diarios. En nuestro país por su parte, el consumo para el mismo periodo fue de 698.000 barriles diarios (Statista, 2020).

La humanidad está llamada a tomar conciencia de la necesidad de realizar un cambio de los estilos de vida, producción y consumo, para combatir los impactos ambientales o al menos, las causas humanas que lo producen o acentúan (Francisco, 2015), encontrándose entre estas causa el uso indiscriminado de combustibles fósiles, que hace al corazón del sistema energético mundial y es el patrón común del desarrollo de toda población en el mundo.

Como una opción para resolver los problemas planteados surgen las ya nombradas con anterioridad energías alternativas, siendo un ejemplo de estas energías el alcohol obtenido a partir del maíz.

Debido a esta problemática ambiental producida por el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) la Argentina adoptó el Protocolo de Kioto, este contiene los compromisos asumidos por los países industrializados para reducir las emisiones de los gases anteriormente mencionados los cuales son responsables del calentamiento global. Además, es miembro del acuerdo climático de París y participante en la COP23 (conferencia de la ONU sobre el cambio climático), (Di Pietro, 2019). La concentración atmosférica de los GEI está en un continuo incremento, principalmente por las cantidades de dióxido de carbono que se libera como consecuencia de la quema de combustibles fósiles. En Argentina, la mayor fuente de este tipo de contaminación pertenece a los sectores de agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de tierras con un total próximo al 38%, seguida por la generación de energía con un valor del 30%, el transporte con un 13%, un 15% atribuido a la industria de producción y el 4% restante a la quema de los residuos y su disposición final (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, 2019).

Con el objeto de superar la crisis energética actual y la creciente problemática ambiental causada por los GEI, surgieron las llamadas energías alternativas que son aquellas que usan recursos renovables como fuente de generación. Entre ellas se encuentra la biomasa, término que se refiere a toda materia orgánica no fósil originada en un proceso biológico que puede ser utilizado como fuente de energía. Dentro de este grupo se hallan los cultivos energéticos a partir de los cuales puede obtenerse calor, energía y combustibles líquidos como el bioetanol (Mohamad *et al.*, 2017).

El bioetanol en la actualidad se elabora fermentando los componentes de carbohidratos de los materiales vegetales. Las materias primas más utilizadas son por ejemplo remolacha, granos (maíz, trigo y otros cereales secundarios) y la caña de azúcar (USDA-The Hague, 2018). Por un lado, este alcohol que puede ser empleado como combustible, tiene la portabilidad y la flexibilidad del petróleo.

Hoy es utilizado en vehículos mezclado con naftas en porcentajes comprendidos entre el 10 (E10) y el 25% (E25) reduciendo las emisiones de monóxido de carbono (De la Cerna Hernández, 2016). Por el otro lado, la infraestructura de distribución de las naftas podría ir cambiándose gradualmente a etanol a medida que los nuevos vehículos que funcionan con mayores concentraciones de etanol, se introduzcan paulatinamente en el parque automotor (Mander, 2009).

El bioetanol es el biocombustible más utilizado y, por lo tanto, el combustible renovable de mayor producción y consumo en el sector de transporte a nivel global. Estados Unidos y Brasil son los mayores productores de bioetanol en el mundo, con una cuota de producción del 87% (WBA, 2018).

En Argentina la producción y el consumo de bioetanol en el 2018 fue de 1,15 mil millones de litros. El consumo alcanza una tasa de mezcla promedio nacional del 11,8%, apenas por debajo del objetivo del 12% planteado en 2016. Este volumen récord fue principalmente el resultado de la creciente demanda de nafta, mientras que el nivel de mezcla sólo se incrementó ligeramente (USDA-Argentina, 2018).

La República Argentina sancionó en 2006 la Ley 26.093 que proporciona el marco para la inversión, producción y comercialización de biocombustibles. Esta disposición nacional entiende por biocombustibles al “bioetanol, biodiésel y biogás que se producen a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos, y que cumplen los requisitos de calidad que establece la autoridad de aplicación” (Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, 2006).

La ley de biocombustibles y su régimen de promoción se implementaron a principios de 2010, estableciendo una proporción inicial de 5% de bioetanol en las naftas y un aumento gradual hasta el 12% alcanzado en el 2016. Se tiene actualmente previsto que la mitad del mandato de bioetanol sea provisto por el sector de etanol de maíz y el otro 50% del mandato de bioetanol debe ser provisto por la industria de la caña de azúcar.

Se presentaron hasta aquí los dos principales problemas que marcan y agudizan a la crisis energética actual: el agotamiento de los yacimientos petrolíferos y el

aumento de los gases de efecto invernadero, lo que provoca un cambio climático marcado.

Es importante destacar, que el creciente interés en la producción de bioenergía a partir de maíz se debe a la facilidad de acceso a los azúcares fermentables combinado con un alto rendimiento de biomasa y la utilización de subproductos tales como la burlanda, utilizado para generar alimento animal (Latimori *et al.*, 2016).

Sin, embargo, se han planteado dudas sobre la producción de bioenergía siendo una de las preguntas más pertinentes el planteo de cuánta energía útil va a aportar un determinado proceso de transformación de energía, y compararlo con la energía que ha demandado ponerlo en marcha y mantenerlo. Por tal razón está establecido un criterio técnico definido como Tasa de Retorno Energético (TRE), el cual enuncia que dada una determinada fuente de energía, su TRE representa la cantidad de energía recuperada por cada unidad de energía invertida (Murphy y Hall, 2010).

Por citar diferentes ejemplos de TRE podemos decir que el petróleo en el año 1930 presentaba un valor de 100 (López, 2008). Los TRE para biocombustibles presentan valores más bajos, pero en algunos casos aceptables como el etanol celulósico de TRE igual a 12, el etanol de caña de azúcar con valores que se encuentran entre 8 y 10, y más alejado de estos datos se encuentra el etanol de maíz cuyo TRE ronda entre los 0,8-1,6 (Cárdenas, 2016).

No obstante, cabe destacar de manera categórica que la transformación de almidón de maíz en alcohol es del 90% sin lugar a mucha mejora (Burgess Clifford, 2018). Por otro lado se tiene que gran parte de los costos de la producción de bioetanol de maíz son logísticos, debido al transporte del maíz del campo a la planta y el traslado de la burlanda húmeda de la planta al campo. Además, cerca del 50% de la energía calórica de la destilería se destina a la evaporación de la vinaza liviana para ser convertida en burlanda. Por ello las destilerías modulares fueron desarrolladas principalmente para maximizar el rendimiento del sector agrícola y para permitir industrializar el maíz en su lugar de cosecha.

OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación cuantitativa de la tasa de retorno energético del bioetanol de maíz cuando se trabaja con una planta modular instalada en el campo.

Comparar la tasa de retorno energética obtenida con la que se obtiene cuando se produce bioetanol en una planta fuera de un establecimiento agrícola.

Planta de procesamiento (Minidest)

MiniDest es una planta de pequeño tamaño utilizada para la producción de etanol de maíz. Esta planta es automatizada, de operación remota, autónoma, energéticamente sustentable y totalmente integrada a la alimentación animal para ser instalada en establecimientos agropecuarios. Debido a que la producción de bioetanol está integrada a la producción ganadera, MiniDest no cuenta con secador ni con evaporador de burlanda. Entre los componentes principales de esta planta, los cuales son similares a la de una planta tradicional y solo presentan variaciones relacionadas a las escalas, se pueden mencionar: silos de maíz, molinos, tanque de premezcla, tanque de fermentación, tanque pulmón, torre de destilación, torre de enfriamiento, deshidratadora, tanques de bioetanol, centrifugador, almacén de burlanda, tanque de decantación y desengrasado, tanque de vinaza liviana y tanque de agua (Minidest, 2020).

Materias primas para la obtención de bioetanol

Los productos que contengan azúcares o hidratos de carbono fácilmente transformables en azúcares fermentables como el almidón pueden ser utilizados como material de partida para la obtención de bioetanol. Sin embargo, se debe considerar no sólo las materias primas a utilizar, sino también sus rendimientos en alcohol, su consumo energético de producción, su impacto ambiental y su costo de producción (Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social y Centro de Gestión y Estudios Estratégicos, 2008).

Para la fabricación de bioetanol, las materias primas a utilizar pueden clasificarse en tres grandes grupos, como se describe en la tabla 1.

Tabla 1: materias primas utilizadas en la producción de bioetanol.

Grupo	Ejemplo
<i>Materias Azucaradas</i>	Mosto y jugo de diversas frutas, remolacha, caña de azúcar, sorgo azucarado, algarroba, etc. Subproductos de la industria de extracción de azúcares (melazas).
<i>Materias Amiláceas</i>	Maíz, cebada, malta, trigo, arroz, avena, centeno, tubérculos y raíces que contengan almidón tales como patatas, boniatos, batata, raíz de girasol, mandioca, etc.
<i>Materias Celulósicas</i>	Madera y sus residuos, paja, residuos agrícolas, líquidos sulfúricos residuales de la fabricación de la pasta del papel que contienen azúcares derivados de la celulosa y de las hemicelulosas por hidrólisis.

Adaptado de Alonso Gómez y Bello Pérez, 2018.

Dentro del grupo de materias primas amiláceas (ver tabla 1) se encuentra el maíz que junto a la cebada, son los granos más utilizados para la fabricación de bioetanol (Alonso Gómez y Bello Pérez, 2018).

En Argentina la superficie destinada a la producción de cereales y oleaginosas se incrementó notablemente en la campaña 2010/2011, alcanzando 35 millones de hectáreas de producción, con respecto a las 27 millones de hectáreas en 2001. El aumento en el precio de la soja a partir de 2006 fue el factor de esta expansión agrícola, que también favoreció el incremento de la superficie sembrada con maíz, debido a la necesidad de mantener la sostenibilidad productiva de los campos con un porcentaje de rotación con gramíneas (Valdez Naval *et al.*, 2018).

Características generales del maíz

El maíz, *Zea mays*, pertenece a la familia Gramínea (Doebley e Iltis, 1980), todos los maíces pertenecen a la misma especie y los tipos o razas que los diferencian corresponden a una clasificación utilitaria, no botánica (Gear, 2006). Es el cultivo más eficiente para capturar la energía del sol y transformarla en alimento y/o biocombustible (OECD, 2003).

El grano de maíz tradicional está compuesto por un 70 a 75% de almidón, 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite. Se debe recordar que el maíz al ser procesado tiene aproximadamente un 14% de humedad (ILSI Argentina, 2006; Ustarroz, 2010).

En Argentina al no encontrarse variedades específicas para la producción de bioetanol, la selección de cultivares se basa en aspectos como la adaptabilidad a la zona, rendimientos, y tolerancia a condiciones adversas y enfermedades. (Aimar, 2014).

Bioetanol

El etanol o alcohol etílico ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) es el más común de los alcoholes y se caracteriza por ser un compuesto líquido, incoloro, volátil, inflamable y soluble en agua (Vergagni, 2004).

Tiene múltiples usos en bebidas, procesos industriales y combustibles. Además entre sus usos se remarca la fuerte recomendación como antiséptico y desinfectante para la lucha contra el COVID-19 en la pandemia que marca al mundo en el año en curso (Olivera *et al.*, 2020). Teniendo en cuenta que sólo veremos las destilerías modulares antes mencionadas, éstas producen sólo etanol 95 grados (no apto para uso alimenticio), por lo que en este trabajo nos restringiremos únicamente a su uso como combustible.

Vale la aclaración de que el bioetanol y el etanol sintético son químicamente indistinguibles, ambos tienen el mismo compuesto, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. La única diferencia entre los dos es la composición isotópica de los átomos de carbono debido a que el etanol sintético proviene de materiales fósiles brutos, y el bioetanol de las diferentes biomásas antes mencionadas (Murry Tamers, 2006).

Las características más atractivas para utilizar bioetanol como combustible, tanto puro como mezclado con naftas, son que es considerado un combustible limpio, renovable y sostenible.

Propiedades fisicoquímicas y termodinámicas del etanol

A continuación, en la tabla 2 se detalla una visión general de las propiedades termodinámicas, físicas y químicas que hacen del etanol un alcohol apto para ser utilizado como biocombustible. Allí se destaca principalmente su poder calorífico inferior (29677,69 J/g), el cual posee un valor del orden de combustibles derivados del petróleo como la nafta o gasolina (43500 -47700 J/g) y el gasoil o diesel (42600-43200 J/g).

Tabla 2: propiedades fisicoquímicas y termodinámicas del etanol

<i>Peso molecular</i>	46,07 g/mol
<i>Composición</i>	C: 52,24% mol; H: 13,13% mol; O: 34,73% mol
<i>Color</i>	Incoloro
<i>Punto de ebullición</i>	78,3 °C
<i>Punto de fusión</i>	-130 °C
<i>Índice de retracción (a 20°C)</i>	1,361
<i>Densidad (a 20 °C)</i>	0,7893 g/cm ³
<i>Presión de vapor (a 20 °C)</i>	59 mm de Hg
<i>Densidad de vapor</i>	1,59 g/mL
<i>Temperatura de ignición</i>	363 °C
<i>Punto de inflamación (Flash Point)</i>	12 °C (al 100%), 17 °C (al 96%), 20 °C(al 70%), 22°C(al 60%), 24°C (al 50%), 26 °C (al 40%), 29 °C (al 30%), 36°C (al 20%) y 49 °C(al 10%)
<i>Límites de explosividad</i>	3,3 - 19%
<i>Punto de congelación</i>	-114,1 °C
<i>Calor específico (a 20 °C)</i>	2,42 J/g °C
<i>Temperatura de autoignición</i>	793 °C
<i>Conductividad térmica (a 20 °C)</i>	0,17 W/ mK
<i>Momento dipolar</i>	1,699 debyes
<i>Constante dieléctrica (a 20°C)</i>	25,7
<i>Solubilidad (</i>	Éter, metanol, cloroformo y acetona Miscible con agua en todas proporciones
<i>Temperatura crítica</i>	243,1 °C
<i>Presión crítica</i>	63,116 atm

<i>Volumen crítico</i>	0,167 L/mol
<i>Tensión superficial (a 25 °C)</i>	231 dina/cm
<i>Viscosidad (a 20°C)</i>	1,17 cP
<i>Calor de vaporización en el punto normal de ebullición</i>	839,31 J/g
<i>Poder calorífico inferior (a 25 °C)</i>	29677,69 J/g
<i>Calor de fusión</i>	104,6 J/g
<i>Acidez (pKa)</i>	15,9

Adaptado de Perry y Green (2008).

Burlanda

En la producción de etanol, el almidón se fermenta para obtener alcohol etílico, pero los componentes restantes del grano (endospermo, germen) conservan mucho del valor nutritivo original del grano, entre lo que se incluye energía, proteínas, aceites y fósforo. Las plantas de molienda seca recuperan y recombinan estos componentes en una gran cantidad de ingredientes para alimentación animal, lo que se conoce como burlanda (Tjardes y Wright, 2002),

Cuando este subproducto no es deshidratado se la llama burlanda húmeda o Wet Distillers Grains (WDG) y contiene entre un 65 y 70% de agua. También se puede utilizar seca (10% de agua) luego de un proceso de deshidratación por calor y se la identifica como burlanda seca o Dry Distillers Grains (DDG).

Además, también existe la burlanda líquida o vinaza liviana. Este subproducto no es comercializable, no hay mercado para este desecho y su valor económico es muy bajo en comparación a los costos que implicaría intentar darle un precio aceptable para que sea rentable. Por lo tanto, la aplicación que se le da es como reemplazo al agua de los bebederos del ganado, por ello es considerado un alimento.

El impacto que tiene en el ganado la sustitución de agua por vinaza no es significativa para el proyecto, por lo que para lo único que se considera en el análisis es para el balance de masa del agua que resulta en un consumo de agua

aproximadamente neutro por parte de la destilería bajo estudio (Echeverría, 2016).

Los principales componentes de la burlanda húmeda y la vinaza liviana se describen a continuación en la tabla comparativa numero 3.

Tabla 3: componentes de la burlanda húmeda (WDG) y vinaza liviana.

	Burlanda húmeda	Vinaza liviana
<i>Materia Seca (%)</i>	26 - 30	4-6
<i>Proteína Bruta (%)</i>	29 - 33	18-20
<i>Fibra Detergente Ácida, FDA (%)</i>	18 - 22	0-3
<i>Fibra Detergente Neutro, FDN (%)</i>	55 - 65	3-4
<i>Digestibilidad (%)</i>	85 - 90	78-82
<i>Extracto Etéreo (%)</i>	8 - 12	No aplica

Fuente: Tjardes y Wright (2002).

La utilización de la burlanda, además de beneficiar la calidad del alimento, permite mejorar el negocio al ahorrar en insumos de alimentos en caso de tener cabezas de ganado propias, o aumentar los ingresos en caso de comercializarla. Según estudios del INTA el resultado óptimo se obtiene al reemplazar el 30% de la dieta del animal por burlanda, aunque los productores se inclinan por reemplazar hasta un 40% de la misma por el subproducto (Latimori *et al.*, 2016).

Desde un punto de vista nutricional, la burlanda de maíz posee una considerable concentración de energía metabólica (EM) por kilogramo de materia seca (MS) para los bovinos (3,0 a 3,2 Mcal EM/kg MS) y un contenido de nutrientes que representa una concentración de aproximadamente tres veces los que contiene el maíz entero (Klopfenstein *et al.*, 2008; Arroquy *et al.*, 2014).

Obtención de bioetanol a partir del maíz

La conversión del almidón de maíz en bioetanol es un proceso complejo que requiere una combinación de disciplinas tales como microbiología, química e ingeniería. El primer paso consiste en la extracción del almidón contenido en el

grano de maíz por un proceso de molienda, que puede realizarse en forma húmeda o seca (Vergagni, 2004 y Burgess Clifford, 2018).

La molienda húmeda consiste en separar las diferentes componentes del grano de maíz, calentándolo en una solución de ácido sulfúrico. Realizado esto, se deben moler los granos para separar el almidón, la fibra, la proteína y el germen de maíz. Primero pasa por una molienda gruesa en la que se separa el germen, que luego puede ser aprovechado para producir aceite de maíz. Posteriormente, se pasa por una molienda fina donde se separa la fibra, el almidón y el gluten (Maizar, 2007).

La ventaja de la molienda húmeda es que la misma permite separar mejor los componentes del grano y así obtener productos con mayor valor agregado. Sin embargo, entre sus desventajas se puede mencionar que a la hora de buscar soporte técnico o realizar un mantenimiento preventivo es difícil hallar personal capacitado. Otra desventaja importante es el mayor costo de inversión en comparación a planta de molienda seca.

Por tales motivos el método de molienda seleccionada para esta planta es molienda seca, su objetivo es triturar el grano de maíz que proviene del silo pulmón para lograr que el mismo presente una granulometría óptima (< 2 mm) para la producción de etanol, ya que con la trituración adecuada se logra dejar expuesto el almidón contenido en el grano para aumentar la superficie de contacto con el agua y las enzimas que posteriormente se añadirán para la etapa de licuefacción, por lo que teóricamente cuanto más fina sea la molienda, mayor será la superficie de exposición del almidón, y por tanto mayor será la producción de etanol (Burgess Clifford, 2018).

Entre las principales ventajas que presenta el método de molienda seca pueden mencionarse, su simpleza de operación y la posibilidad de que los subproductos obtenidos (burlanda húmeda y vinaza liviana) se aprovechan completamente al estar integrados en su totalidad con la producción ganadera sin necesidad de transformarlo en burlanda seca (DDG) y jarabe (U.S. Grains Council, 2013).

Esto disminuye mucho el costo de la inversión ya que permite prescindir de un secador y evaporador, y por lo tanto también disminuye los costos de operación y el consumo de energía (Echeverría, 2016).

Cocción y licuefacción

Cuando el grano de maíz es molido a la granulometría apropiada es llevado a un tanque en el que se mezcla con agua y enzimas α -amilasas. El principal propósito de esta fase es dar el tiempo y la temperatura apropiados a la α -amilasa para convertir la mayor cantidad del almidón presente en dextrinas de cadena corta.

El proceso de cocción consiste en elevar la temperatura entre los 90 y los 120 °C durante 60 minutos aproximadamente para esterilizar la mezcla en una primera medida y luego facilitar la liberación del almidón que se encuentra en el grano. (Burgess Clifford, 2018).

La licuefacción consiste en una hidrólisis entre el agua y el almidón, que rompe las uniones de azúcares y las convierte en dextrinas. Para lograr esto las condiciones son una temperatura de 90 °C durante 90 minutos aproximadamente y el pH de la mezcla debe mantenerse en un rango entre 5,9 y 6,2. Normalmente para lograrlo se agrega amoníaco o ácido fosfórico dependiendo de la necesidad (Bragachini *et al.*, 2014).

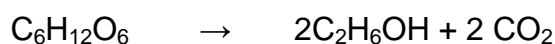
Sacarificación y fermentación

Esta etapa ocurre en un biorreactor. El primer paso consiste en realizar la sacarificación, donde se produce la hidrólisis de las dextrinas de cadena corta obtenida en el paso anterior. Para este proceso se usa una enzima llamada glucoamilasa. Durante la sacarificación las condiciones son diferentes a la de la etapa anterior ya que aquí se requiere de una temperatura que ronda entre los 55 y 65 °C y un pH de 4,5 (Burgess Clifford, 2018).

En la fermentación, se realiza la reacción química final en la producción de bioetanol, donde intervienen las levaduras. Para este procedimiento la levadura

más usada es *Saccharomyces cerevisiae*, donde alrededor del 90-95% de la glucosa se convierte en etanol (Suárez-Machín *et al.*, 2016; Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social y Centro de Gestión y Estudios Estratégicos 2008).

De esta forma un mol de glucosa genera dos moles de etanol (C₂H₆OH) y dos moles de dióxido de carbono (CO₂), según la ecuación presentada a continuación:



Esta reacción sucede entre los 30 y 32 °C. Es conveniente en esta etapa agregar nitrógeno ya sea como urea o sulfato de amonio (Vázquez y Dacosta, 2007).

Destilación y deshidratación

Finalizada la fermentación se llega a una mezcla de etanol y agua que se encuentra en una proporción comprendida entre el 12-15%, junto con algunos sólidos no solubles, por lo que es necesario que la mezcla pase por una etapa de destilación para separar el alcohol del agua. Hay que tener presente que si bien el alcohol y el agua presentan diferentes punto de ebullición (78°C y 100°C, respectivamente), debido a su composición molecular la mezcla forma una solución azeotrópica por lo que por destilación sólo se puede obtener una mezcla de 95% etanol como máximo (Wyman, 1996).

Por tal razón, el agua restante solamente se puede eliminar realizando un proceso de deshidratación. En esta etapa se utiliza un sistema de tamiz molecular de zeolita, un mineral con una gran capacidad de absorber humedad de forma reversible. Se debe tener presente siempre que es de vital importancia durante todo este proceso que el tamaño de los poros de la membrana que envuelve la zeolita sea el apropiado. La zeolita en realidad absorbe tanto etanol como agua, por eso se la envuelve en una membrana cuyo tamaño de poros está definida de forma tal que solamente las moléculas de agua puedan pasar por ellos (Burgess Clifford, 2018).

Obtención de subproductos (burlanda y vinaza)

Una vez concluido el proceso de destilación se realizan algunos tratamientos que permiten darle mayor valor agregado al subproducto. De la destilación sale una especie de burlanda con muy alto contenido de humedad. Se hace pasar a la misma por un separador centrífugo en el que se obtiene por un lado burlanda de maíz húmeda (WDG) y por el otro una vinaza (Tjardes y Wright, 2002).

Lo que se realiza en esta planta modular es alimentar directamente al ganado con la vinaza tal cual sale del separador centrífugo, y en ese caso tampoco sería necesario secar la burlanda húmeda o WDGS.

Balance de materia y energía de la obtención de bioetanol de maíz

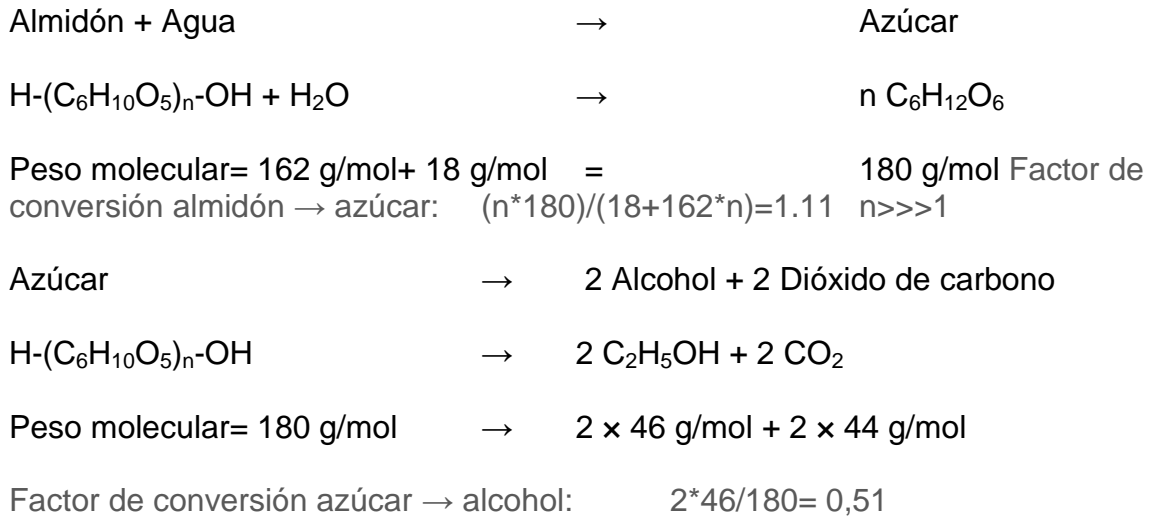
Para el desarrollo de los balances de materia y energía, los datos fueron obtenidos de una empresa que posee la estructura de una planta modular. Tendremos en cuenta que la planta considerada trabaja 335 días al año con una capacidad de molienda de 40,2 toneladas de maíz por día (t/día).

Se realizaron los balances de masa y energía para conocer las entradas y salidas de cada etapa del proceso y de esta manera obtener la cantidad de energía recuperada por cada unidad de energía invertida.

En este proceso aproximadamente un tercio del peso original de maíz se convierte en dióxido de carbono (CO_2), estimando que se pierde un 0,5% de la producción del bioetanol.

Luego transcurre la destilación, donde se obtiene 0,35 toneladas de bioetanol al 95% por tonelada de maíz procesado. Este resultado se obtiene partiendo del supuesto de que se cuenta con maíz con 14% de humedad y que contiene 70% de almidón en base seca, lo que representaría 0,602 toneladas de almidón por

tonelada de maíz. A partir del análisis estequiométrico se obtienen los factores de conversión de almidón en azúcar y de azúcar en alcohol:



Podemos conocer las toneladas teóricas del bioetanol obtenido a partir de los factores antes calculados:

$$\text{Etanol (toneladas teóricas)} = \text{toneladas de almidón} \times 1,11 \times 0,51$$

Se considera el rendimiento del 85% por ser una planta de pequeño tamaño, a partir de este rendimiento se calculó el valor real de etanol.

$$\text{Etanol (toneladas reales)} = \text{Etanol (toneladas teóricas)} \times 0,85$$

LA PRODUCCION DE BIOETANOL DE MAIZ A PEQUEÑA ESCALA Y EL IMPACTO POSITIVO QUE GENERA EN SU TASA DE RETORNO ENERGETICO

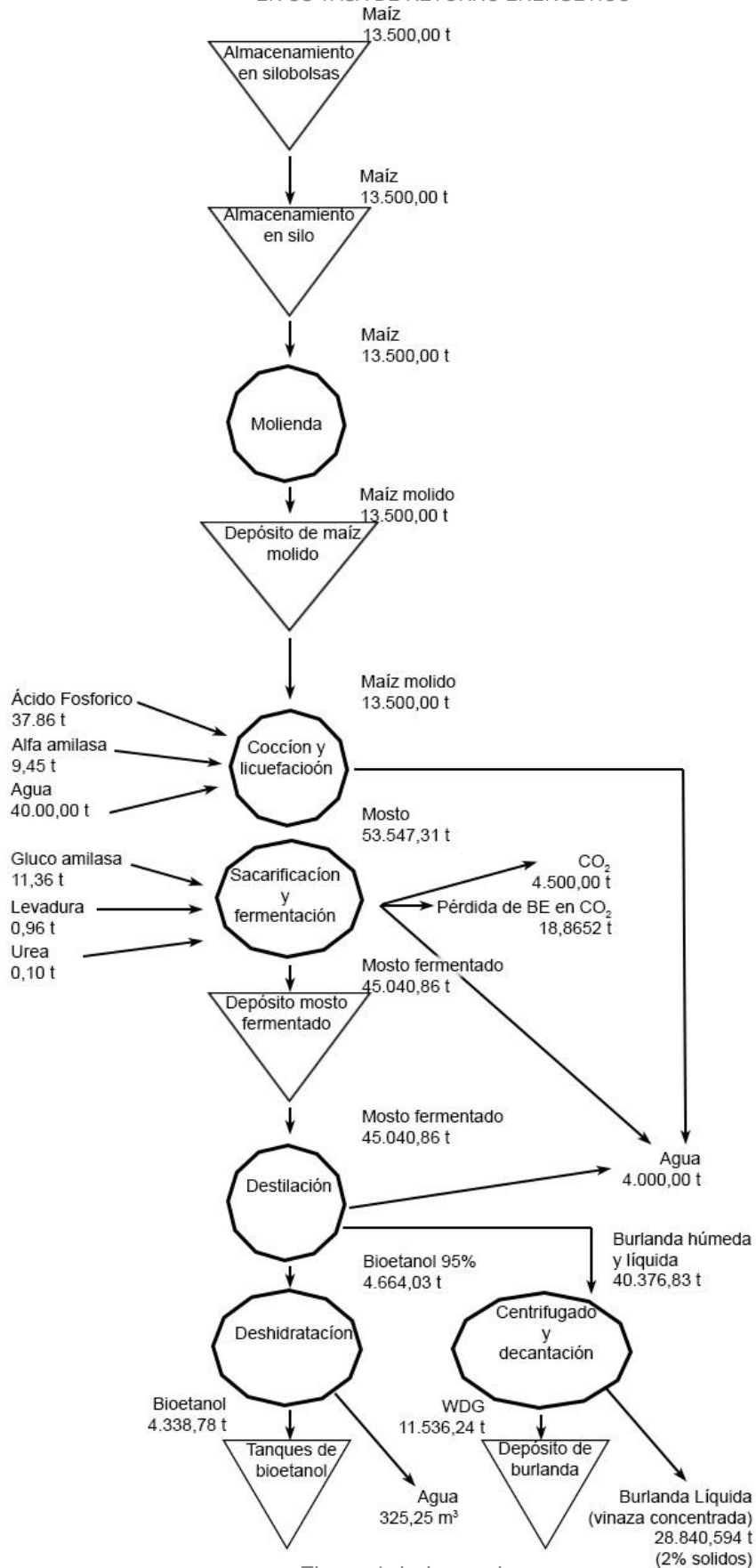


Figura 1: balance de masa.

Consumos energéticos de la producción de bioetanol de maíz en una planta modular emplazada en un establecimiento agrícola

En esta planta modular se utilizan dos clases de energía para su funcionamiento. Por un lado se emplea energía para generar vapor (que es el aportante de energía térmica necesaria para el procesamiento) y por otro se utiliza energía eléctrica para hacer funcionar distintas maquinarias requeridas para el proceso.

La energía utilizada para generar el vapor proviene de la quema de aceite de soja. Esta acción es realizada por una caldera dual (quemador gas-gasoil) marca Alfa Laval. La única adaptación que presenta este equipo es un pre-calentador. Este pre-calentador tiene la función de aumentar la temperatura del aceite previo al ingreso a la caldera y de esta manera poder imitar las características fluido-dinámicas del gasoil. Dentro de los usos de este tipo de energía están contempladas las etapas de destilación y deshidratación entre otras.

La generación de electricidad se realiza mediante un generador el cual trabaja con biodiesel. El mismo hace funcionar todos los equipos de la planta, desde el molino a martillo hasta las bombas. A continuación en las tablas 4 y 5 se detallan las cantidades de aceite de soja y biodiesel respectivamente requeridos en las diferentes generaciones de energía y las cantidades de energía producidas en la planta modular estudiada.

Tabla 4: consumo de aceite de soja requerido para la generación de energía como vapor expresado en l/día.

<i>Aceite de soja</i>	3100	L/día
<i>Densidad aceite de soja</i>	0,92	g/mL
<i>PCI aceite de soja</i>	39,6	MJ/Kg

PCI: Poder calorífico inferior

Tabla 5: consumo de biodiesel de soja para la generación de energía eléctrica (EE) expresado en l/h.

<i>Biodiesel de soja</i>	65	L/h
<i>Densidad biodiesel</i>	0,90	g/mL
<i>Rendimiento motor diesel</i>	40,00	%
<i>PCI Biodiesel</i>	9800	Kcal/Kg
<i>EE Generada</i>	254,8	KWh

PCI: Poder calorífico inferior

Transporte y ahorro de combustible

En la producción de bioetanol de maíz el principal costo viene dado por cuestiones de logística, ya que se debe transportar la materia prima (granos de maíz) del campo a la planta procesadora para la obtención del alcohol y transportar la burlanda húmeda de la planta procesadora al campo para que la misma sea utilizada para alimentación animal.

En este apartado se pondrá de referencia a una planta de gran escala que produce 81,8 mil metros cúbicos anuales de bioetanol, cuya demanda de maíz ronda las 221 mil toneladas al año (Garzón *et al.*, 2016). Este tipo de tecnología opera en Argentina desde hace varios años. La planta modular en estudio puede producir unos 4338 toneladas de bioetanol y demanda alrededor de 13,5 mil toneladas de maíz por año. Las relaciones anteriores suponen una misma eficiencia de conversión, independientemente del tamaño de la planta.

De los datos obtenidos de Garzón *et al.* (2016) se planteó que una vez resuelta la cantidad de maíz requerida para una planta de gran escala que se tomó como referencia, se obtuvo un radio de circulación en las operaciones de transporte para obtener el grano de maíz de manera que el suceso sea rentable. El resultado obtenido fue de un radio de 91 kilómetros.

Garzón *et al.* (2016) establecieron a partir de sus estudios que la planta de referencia de gran escala puede comercializar su subproducto (burlanda) en un radio de 100 kilómetros, suponiendo que ésta es la distancia promedio de comercialización de la misma.

En el caso de la planta modular los costos de transporte son despreciables comparados con la planta de referencia que produce a gran escala, por lo tanto se consideraron como no significativo en este estudio, ya que la planta pequeña está ubicada dentro de un establecimiento que produce tanto el maíz suficiente para su propia producción de bioetanol de acuerdo a su capacidad productiva, como también crían bovinos, alrededor de 4000 cabezas, bajo un sistema intensivo de

engorde. Dichos animales son los consumidores de la burlanda generada en el procesamiento. Disponer del feedlot de al menos la escala antes referida sería una condición “necesaria” para que una inversión en una destilería modular de bioetanol de maíz pueda ser conveniente.

Por lo tanto, contando con una planta modular instalada en el establecimiento agropecuario se tiene de referencia que se ahorran tres fletes de maíz y 3 fletes de burlanda por cada camión de alcohol producido (Infonegocios, 2017; Minidest, 2020).

Para determinar el gasto de combustible por parte de la planta que no se encuentra asociada a la producción agropecuaria se tendrá en cuenta un consumo promedio de 40 litros de gasoil por camión cada 100 kilómetros. El ahorro de combustible dependerá de la cantidad de kilómetros recorridos (Garzón *et al.*, 2016). Se supone que para transportar el maíz que se utilizará como insumo se debe recorrer según lo establecido, hasta 91 kilómetros. Con respecto a la burlanda derivada del proceso de producción de bioetanol, la misma debe ser transportada hasta diversos establecimientos con animales que la consuman como alimento. Se consideró entonces una distancia promedio de 100 kilómetros para la acción antes descrita. Con respecto al etanol de maíz producido se tomará como referencia la distancia comprendida entre la planta modular y la planta en donde se realiza la mezcla alcohol-nafta, esta distancia es de 80 kilómetros. Además, se consideró que un camión de etanol que lleva el biocombustible a la planta de mezcla tiene una carga útil máxima de 30 toneladas (34 metros cúbicos), la máxima autorizada en nuestro país (Golato y Cárdenas, 2012). Los datos obtenidos a partir de lo expuesto se expresan en la tabla 6.

Tabla 6: consumo de combustible correspondiente a la generación de un camión de etanol desde el traslado de la materia prima (maíz), el envío de la burlanda al establecimiento donde será utilizada como alimento y el transporte a la planta en donde se realizara la mezcla del biocombustible.

Planta grande de referencia			
<i>Producto</i>	Cantidad de camiones	Km a recorrer por c/ camión	Litros de gasoil utilizados
<i>Maíz</i>	3	91	109,2
<i>Burlanda</i>	3	100	120,0
<i>Etanol</i>	1	80	32,0
<i>Total</i>	7	271	261,2

Tasa de retorno energético

La TRE se define mediante la ecuación 1.

$$TRE = \frac{E.Obtendida}{E.Invertida} \quad \text{Ecuacion 1}$$

Un valor de cociente superior a 1 indica que la energía obtenida es mayor que la energía invertida y queda, en consecuencia, un saldo neto positivo para ser aprovechado. Lo importante es que este valor sea lo más grande posible, pues su magnitud determinará la viabilidad del combustible evaluado.

En nuestro estudio consideraremos a la energía obtenida como el resultado de la sumatoria de la cantidad de etanol producido multiplicada por su poder calorífico, y la cantidad de burlanda obtenida multiplicada por la energía metabólica de la misma (Klopfenstein *et al.*, 2008; Arroquy *et al.*, 2014). Esta consideración surge debido a que se obtienen dos productos con valor energético en la producción de bioetanol de maíz.

Para determinar la energía invertida se consideró los gastos energéticos del procesamiento: la suma de las energías del vapor y la electricidad generada (ver datos para ambos tipos de energía en las tablas 7) para el caso de la planta modular instalada en el campo. Para el caso de una planta grande de elaboración

de bioetanol de maíz tomada como referencia a efectos de poder compararla con la planta pequeña, debe añadirse un tercer sumando en el denominador que es el correspondiente al consumo energético de las operaciones correspondientes al transporte, las cuales son el traslado del maíz a la planta productora, el transporte de la burlanda al lugar en donde se encuentra el ganado que consumirá el mencionado alimento y el transporte del etanol producido a la planta donde se realizará la mezcla con nafta.

En la tabla 7 se detallan todas las energías asociadas al desarrollo del proceso.

Tabla 7: energía consumida y obtenida en una planta de maíz para la producción de bioetanol.

Energía Consumida (MJ/año)	
<i>Energía Eléctrica</i>	7,265 E+06
<i>Energía de Vapor</i>	3,727 E+07
<i>Energía de Flete (maíz y burlanda)</i>	1,049 E+06
<i>Energía de Flete (etanol)</i>	1,464 E+05
<i>Total</i>	4,573 E+07
Energía Obtenida (MJ/año)	
<i>Energía del etanol</i>	1,016 E+08
<i>Energía de la burlanda</i>	4,186 E+07
<i>Total</i>	1,435 E+08

Es trascendente destacar que la mayoría de las energías consumidas en la etapa industrial fueron provista por el aceite y biodiesel de soja, es decir que los insumos energéticos exógenos que se requirieron fueron de tipo renovables, lo que representa una gran ventaja en términos de sostenibilidad.

Se muestra en la tabla 8 el cálculo de la TRE del proceso. Se tiene por un lado una TRE en la cual se consideró a la burlanda húmeda como aportante energético al alimentar al ganado y por otro lado una TRE al no considerar el aporte del mencionado coproducto. Además, se expresaron los valores de TRE del etanol al considerar las energías vinculadas al transporte del maíz y burlanda y la TRE sin

tener presente el gasto energético de transporte de la materia prima y los productos de modo de evaluar su incidencia en el indicador estudiado. En todos los casos se tuvo en cuenta el transporte del biocombustible producido a la planta en donde se realiza la mezcla de nafta-bioetanol para su posterior distribución. Los resultados fueron expresados en MJ/año de etanol combustible producido y burlanda generada multiplicada por la energía metabólica de la misma por cada MJ/año invertido (Klopfenstein *et al.*, 2008; Arroquy *et al.*, 2014).

Tabla 8: tasa de retorno energético (TRE) del bioetanol de maíz sin considerar la energía aportada por la burlanda, TRE del etanol considerando la energía aportada por la burlanda, TRE calculada con y sin considerar a las energías vinculadas al flete de maíz y burlanda y diferencias absolutas y porcentuales entre ellas.

TRE con E burlanda [MJ/MJ]	TRE sin E burlanda [MJ/MJ]	Diferencia	
3,138	2,222	0,915	29,17%
TRE con E burlanda y flete de maíz y burlanda [MJ/MJ]	TRE con E burlanda y sin flete de maíz y burlanda [MJ/MJ]	Diferencia	
3,138	3,211	0,074	2,35%

Podemos observar que la diferencia porcentual más alta en los resultados de TRE obtenidos fue de 29,17%, valor logrado entre la TRE del etanol obtenido que no tiene en cuenta a la burlanda como aportante energético y la TRE que si la considera, dichos valores fueron 2,222 y 3,138 MJ/MJ, respectivamente. La diferencia señalada muestra el importante impacto de sumar a la energía aportada por la burlanda húmeda sobre el cálculo de la TRE. Estos valores podrían ser mejorados si se usaran los residuos orgánicos generados en el feedlot para la producción de biogás.

En la segunda parte de la tabla 8 se expresaron los resultados comparativos de TRE al tener en cuenta el ahorro de transporte que se tiene al producir bioetanol en una planta modular instalada en un establecimiento agropecuario y cuando la misma no se encuentra instalada en el campo (llamada también planta grande).

Podemos decir que si bien el valor de TRE aumentó su valor sólo de 3,138 a 3,211 MJ/MJ, la diferencia porcentual (2,35%) a pesar de ser positiva no posee un impacto de tanta importancia comparado con el resultado mencionado en la comparación del párrafo anterior.

CONCLUSIONES

Frente a la crisis energética en la que nos encontramos existe la necesidad de hallar una estructura energética global que lleve a cambiar los patrones actuales de producción y consumo de energía y aliente el desarrollo sostenible a partir de energía renovable.

Con las plantas modulares (miniDest) se deja de lado la escala a la hora de producir bioetanol siendo más eficientes y logrando un costo de inversión por litro menor al de una gran planta. La puesta en marcha de estas plantas modulares de producción de etanol de maíz presenta ventajas eficientes al integrar todo el proceso en un solo lugar, de esta manera se pueden optimizar los costos de producción en alimentos y energía transformando toneladas en kilos de mayor valor. Entre las ventajas ecológicas se puede mencionar el desarrollo de energía limpia, además de favorecer la rotación de cultivos y el ahorro en fletes, que resulta en menos tráfico y por ello menor contaminación.

En el presente trabajo se pudo recalcar la importancia de incorporar la burlanda húmeda a la alimentación animal, lo cual permitió observar una diferencia porcentual muy elevada (29,17%) con respecto a la TRE calculada al no considerar dicho coproducto. El valor de TRE de la obtención de etanol de maíz fue de 2,222 MJ/MJ, valor esperado de acuerdo a la bibliografía estudiada, la misma aumentó al incorporar la burlanda como aportante energético arrojando un valor de 3,138 MJ/MJ y pudiendo obtener de esta manera la diferencia porcentual antes expuesta. El uso de la planta modular bajo estudio permite el ahorro de los gastos de fletes, tanto de maíz como de coproductos ya que todos ellos se generan y consumen en el mismo lugar. Con estas últimas acciones se genera un nuevo incremento en la TRE aunque no tan pronunciado como el anterior, arrojando una diferencia porcentual entre las TRE con y sin flete de 2,35%.

El proceso para obtener alcohol a partir de maíz en una planta modular instalada en un establecimiento agropecuario resultó entonces positivo en su balance energético y con un impacto positivo muy apreciable al comparar dicha planta con una planta que no emplea sus coproductos y un impacto mucho menos significativo con una planta que no se encuentra localizada en el campo donde se obtiene la materia prima y se emplean los coproductos del procesamiento del maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- Aimar, B.** 2014. Producción de maíz para bioetanol en la zona de Las Junturas. Trabajo final en Sistemas de Producción de Cultivos Extensivos Universidad Nacional de Córdoba-Argentina.
- Alonso Gómez, L.; Bello Pérez, A.** 2018. Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia*, 52(7), 967-990.
- Arroquy, J.; Berruhet, F.; Martínez Ferrer, J.; Pasinato, A. y Brunetti, M.** 2014. "INTA- Uso de subproductos del destilado de granos en bovinos para carne". Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/uso-desubproductos-del-destilado-de-granos-en-bovinos-para-carne-1/> (consultado el 25 de julio de 2019).
- Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social y Centro de Gestión y Estudios Estratégicos.** 2008. Bioetanol de caña de azúcar: energía para el desarrollo sostenible / coordinación. – Rio de Janeiro: BNDES. Pp.: 83-89.
- Bragachini, M., Mathier D., Méndez J., Saavedra A.** 2014. Oportunidades del sector agropecuario y agroindustrial argentino para la generación de bioenergía en origen. 5ta Jornada Nacional de Forrajes Conservados. Recopilación de Presentaciones Técnicas. Pp.: 77-84.
- Burgess Clifford, C.** 2018. How corn is processed to make ethanol. PennState, e-Education Institute: 7.3.2. Disponible en: <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/673> (consultado el 19 de diciembre de 2019).
- Cárdenas, G.** 2016. Apuntes de clases de la asignatura "Introducción a la Bioenergía" (Especialización en Ingeniería Bioenergética – FRT – UTN).
- De la Cerna Hernández, C.** 2016. Fabricando Bioetanol. Alianzas & Tendencias BUAP Volumen: 1.Nº4. Pp.: 10-22.
- Di Pietro, S.** 2019. Acuerdo de París: ¿nuevos compromisos con el medio ambiente o nuevas oportunidades de negocio? *Estudios internacionales (Santiago)*, 51(192). Pp.: 57-70.

- Doebley, J.; Iltis, H.** 1980. Taxonomy of Zea (Gramineae). I. A subgeneric classification with key to taxa. Amer. J. Bot. 67(6). Pp.: 982-993.
- Echeverría, A.** 2016. Análisis económico de la utilización de burlanda húmeda de maíz almacenada, en dietas de engorde a corral. Tesis de Especialización en Alimentación Bobinos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.
- Francisco, S.S.** 2015. CARTA ENCÍCLICA LAUDATO SI'. Libreria Editrice Vaticana. Pp.: 6-74.
- Garzón, J.; Torre, N.; Rossetti, V.** 2016. Producción de etanol de maíz. Aspectos comparados de la producción a pequeña y gran escala. Documento de trabajo. IERAL Córdoba. Año 22. Edición N° 160. Pp.: 2-17.
- Gear, J.** 2006. El cultivo del maíz en la Argentina. Compilado Rubestein. Buenos Aires. Pp.: 12-36.
- Golato, M.; Cárdenas, G.** 2012 Consumo de combustible y energía en el transporte de bioetanol. Avance Agroindustrial 33 (1). EEAOC. Pp : 39-42.
- Infonegocios.** 2017. Disponible en: <https://infonegocios.info/40-de-las-grandes/minidest-es-un-ejemplo-de-economia-circular-jose-a-porta-nuevos-proyectos> (consultado el 06 de junio de 2020).
- ILSI Argentina.** 2006. Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal.
- Klopfenstein, T.; Erickson, G. y Bremer, V.** 2008. "Use of distiller's by-products in the beef cattle feeding industry". Journal Animal Science. 86. Pp.: 1223-1231.
- Latimori, N.; Carduzab, F; Merayoc, M; Soterash, T; Grigionib, G; Garisa, M.** 2016. Efectos de la incorporación de burlanda de maíz en la dieta de bovinos para carne. INTA ediciones. Información para Extensión en línea N° 19.
- López, C.** 2008. El coste energético de la producción de energía. Diario El País. España. Disponible en: http://www.elpais.com/articulo/opinion/coste/energetico/produccion/energia/elpepuopi/20080618elpepiopi_4/Tes (consultado 14 de octubre de 2020).
- Maizar.** 2007. Sistema de producción utilizados para obtener etanol. Disponible en: <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=246> (consultado 24 de octubre de 2020).

Mander, J. 2009. Searching for a Miracle: 'net energy' limits & the fate of Industrial society. Post Carbon Institute & International Forum on Globalization. Pp.: 31-53.

Ministerio de Minería y Energía. 2020. Escenarios energéticos Resumen de resultados. Disponible en: http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/planeamiento/infografias/lamina_dneype_A_y_B.pdf (consultado el 13 de enero de 2020).

Minidest. 2020. Disponible en: <http://www.minidest.com.ar/minidest/> (consultado el 07 de junio de 2020).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. 2019. Inventario nacional de gases de efecto invernadero. Disponible en: <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/> (consultado 14 de octubre de 2020).

Ministerio de Justicia y Derechos Humanos (MJyDH). 2006. Ley 26.093. Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles. Autoridad de aplicación. Funciones. Comisión Nacional Asesora. Habilitación de plantas productoras. Mezclado de Biocombustibles con combustibles Fósiles. Sujetos beneficiarios del Régimen Promocional. Infracciones y sanciones. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/115000-119999/116299/norma.htm> (consultado el 13 de noviembre de 2019).

Mohamad, F; Ibrahim, N.; Ezyana, K.; Suraini, A. 2017. Cellulosic biobutanol by Clostridia: challenges and improvements. Renewable and Sustainable Energy Reviews 79 (2017) Pp.: 1241–1254.

Murphy, J.; Hall, A. 2010. Year in review—EROI or energy return on (energy) invested. Ann. N.Y. Acad. Sci., 1185, Pp.: 102–118.

Murry Tamers. 2006. Distinguiendo entre el bioetanol y el etanol de petróleo. Ethanol Producer Magazine. Disponible en: <https://www.betalabservices.com/espanol/biocombustibles/bioetanol-versus-etanol-de-petroleo.html> (consultado el 24 de octubre de 2020).

OECD. 2003. Consensus Document on the Biology of Zea mays subsp.mays (Maize). OECD Environment.

- Olivera, E. Garcia, M.; Manzo, R.** 2020. El alcohol como antiséptico y desinfectante. Carrera de posgrado. Especialización en Farmacia Hospitalaria. Escuela de posgrado. Universidad Nacional de Córdoba
- Perry, R.; Green, D.** 2008. Perry's Chemical Engineers' Handbook. New York: McGraw-Hill. 7th ed.
- Statista.** 2020. Demanda diaria de petróleo crudo a nivel mundial de 2006 a 2020. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/600689/demanda-mundial-diaria-de-petroleo-crudo/> (consultado 24 de enero de 2020).
- Suárez-Machín, C.; Garrido-Carralero, J.; Guevara-Rodríguez, C.** 2016. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 50, núm. 1, enero-abril, 2016. Pp.: 20-28.
- Tjardes, J.; Wright, C.** 2002. Feeding corn distiller's co-products to beef cattle. SDSU Extension Extra. Ex2036, August 2002. Dept. of Animal and Range Sciences. Pp.: 1-5.
- Torroba, A.** 2020. La energía y los vasos comunicantes con la agricultura: los biocombustibles. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- USDA (United States Department of Agriculture)-Argentina.** 2018. Global Agricultural Information Network (GAIN) Report. Pp.: 2-13.
- USDA (United States Department of Agriculture)-The Hague.** 2018. Global Agricultural Information Network (GAIN) Report. Pp.: 11-18.
- U.S. Grains Council.** 2013. Distiller S Dried Grains with soluble. DDGS User Handbook. Pp.: 17-26.
- Ustarroz, F.** 2010. Maíz Cadena de valor Agregado. Alternativas de transformación e industrialización. INTA Manfredi, Proyecto PRECOP II. Pp.: 6-31.
- Valdez Naval, G; Godoy, A.; Zelarayan, A.; Socias, M.; De Simone, M.; Peiretti, A.** 2018. Cultivo de maíz en el NOA. Diagnóstico para Salta. Cultivo de maíz en el NOA. INTA-EEA-Salta. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/cultivo-de-maiz-en-el-noa-diagnostico-para-salta> (consultado 12 diciembre 2018).
- Vázquez, H.; Dacosta, O.** 2007. Fermentación alcohólica: una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. Ingeniería, investigación y

tecnología. P.p: 249-2598(4). Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432007000400004&lng=es&tlng=es (consultado el 31 de enero de 2020).

Vergagni, G. 2004. La Industria del Etanol a partir de Maíz. ¿Es Factible su Desarrollo en la Argentina? Maizar- Asociación Maíz Argentino.

WBA. WORLD BIOENERGY ASSOCIATION. 2018. GLOBAL BIOENERGY STATISTICS 2018. Pp.: 22-35.

Wyman, C. 1996. Handbook on bioethanol: production and utilization. Applied Energy Technology. Series. Washington: Taylor & Francis.Pp.: 89-93.