

ESTUDIO ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOETANOL LIGNOCELULÓSICO.

ECONOMIC STUDY OF OBTAINING LIGNOCELLULOSIC BIOETHANOL

Adalberto M Ascurra ¹, Jonatan Manosalva ², Jonatan Morris³

mascurra@gmail.com, jonatan.manosalva@gmail.com, jmorris2985@gmail.com

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Juan XXIII y Ruta 4, 1832, Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina.

² Instituto Nacional de Tecnología (INTA). Instituto de Ingeniería Rural. Hurlingham -1686. Provincia de Buenos Aires, Argentina.

³ Instituto Argentino de Normalización y certificación (IRAM)- Gerencia de certificación de productos. Perú 556, C106BAAB- Ciudad autónoma de Buenos Aires- República Argentina.

Recibido 04/04/2019; Aceptado: 01/07/2019

Resumen: según estudios realizados, Argentina tiene zonas con superávit potencial de biomasa energética y posee condiciones adecuadas para el desarrollo de insumos básicos necesarios para la producción de energía a partir de ello. También tiene un gran potencial y ventajas comparativas para la producción de biocombustibles. El trabajo aborda el análisis de la factibilidad económica de obtener bioetanol lignocelulósico a través del rastrojo de maíz. El análisis muestra la conveniencia económica para convertir al rastrojo de maíz en bioetanol, aplicando el criterio de formar complejos productivos. Los resultados obtenidos demuestran la existencia de una utilidad bruta para el complejo productivo, y se asume como una buena aproximación la producción de bioetanol. La metodología utilizada para el análisis se basa en el método de simulación Montecarlo. Las conclusiones están orientadas desde el punto de vista económico, sin entrar en el análisis de los procesos productivos y sin considerar inversión inicial.

Palabras-clave: biocombustible; bioetanol lignocelulósico; método Montecarlo; factibilidad económica

Abstract: according studies achieved, Argentina has areas with a potential surplus of energy biomass, it has suitable conditions for the development of the basic inputs which are necessary for the production of energy from biomass; also, it has great potential and comparative advantages for the production of biofuels. The aim of this work is to analyse the economic viability of obtaining lignocellulosic bioethanol, through corn stubble. The analysis has addressed the economic convenience convert corn stubble into bioethanol, applying the criterion of forming productive complexes.

The obtained results have demonstrated the existence of gross profit for the members of the productive complex, and they are considered as a valuable approximation to the production of bioethanol. The methodology used for the analysis was based on the Monte Carlo simulation method. The conclusions reached are orientated to the economic side without taking into account the analysis of the productive process and an initial investment.

Keywords: biofuels; lignocellulosic bioethano; monte carlo simulation: the economic viability

1. Introducción

El problema del consumo energético mundial se analiza año tras año debido a los problemas que se generan en los cambios de las matrices energéticas de cada país, como consecuencia del cambio constante de la oferta y la demanda. Los organismos internacionales proyectan el crecimiento de la demanda energética como consecuencia del crecimiento demográfico y pronostican que los países tendrán que afrontar las variaciones de los precios y posibles conflictos socio-económico generados por la necesidad del consumo energético.

Datos suministrados por World Population Prospects: The 2015 Revision establece una proyección de crecimiento demográfico sostenido llegando 11213 millones de personas para el año 2100. El Banco Mundial publica datos, basados en Estadísticas de la IEA © OCDE/IEA, y “Key World Energy Statitics, en donde se proyecta para el año 2035 un consumo de los combustibles que llegará a casi 18.000 millones de TOE o TEP.

Claramente, este crecimiento en la demanda de la energía no podrá ser satisfecho por el recurso finito y escaso del petróleo, por lo cual surge gran interés por los biocombustibles que podrán ayudar a sustentar la demanda.

Uno de los biocombustibles con mayor demanda en el mundo es el bioetanol. Actualmente su producción está en base a productos que son utilizados para la

alimentación humana y/o de animales, denominados biocombustibles de primera generación. Entre las materias primas más utilizadas están el maíz, trigo, caña de azúcar y el sorgo.

El desarrollo de los biocombustibles de segunda generación deberá satisfacer la demanda y centrar a los granos para la producción de alimentos. De esta manera se podrá mantener la declaración de la seguridad alimentaria y cumplir con la mejora del medio ambiente, en función de los acuerdos firmados por los países en la ciudad de Kyoto y la última reunión en la ciudad de Paris en Dic/15 en donde se comprometieron a bajar las emisiones de gases en un 40% para el año 2030.

Todos estos problemas dan una buena oportunidad para buscar energías alternativas, entre ellas, el estudio de los biocombustibles de segunda generación.

Las ventajas que tiene Argentina en residuos lignocelulósicos nos alienta a realizar un estudio de factibilidad económica para la producción del bioetanol lignocelulósico a partir del rastrojo de maíz y sorgo.

Para ello, los objetivos específicos de este trabajo están orientados a:

- ❖ Determinar una región con potencial para la instalación de una planta de producción de bioetanol, teniendo en cuenta la cantidad de materia prima disponible.
- ❖ Realizar un análisis de la factibilidad económica de la instalación de una planta procesadora de biocombustibles.
- ❖ Analizar y comparar la rentabilidad del bioetanol de segunda generación con respecto al precio del petróleo, y llegar a una conclusión de competitividad.

Agradecimientos

Agradecer a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, a través del su Decano Dr. Ing. Oscar Manuel Pascal, a los Doctores Ingenieros Amílcar Arzubi y Luis Bertoia por sus aportes y sugerencias para la elaboración de este trabajo.

1.1.1 Biocombustibles

El etanol es un alcohol etílico y se puede obtener de diferentes materias primas. El material lignocelulósico se encuentra en los residuos llamados rastrojo, que es considerado como materia prima alternativa y el mismo está constituido por fibras

de celulosas, hemicelulosa y lignina, a partir de las que - a través de procesos de transformación por separado- se obtiene el etanol de segunda generación.

1.1.2 Características y Ventajas del Etanol Lignocelulósico

Las diferentes bibliografías establecen como ventajas de la utilización del etanol en cualquiera de sus formas de obtención y materia prima utilizada:

- ❖ Posee un alto octanaje y una gran solubilidad en la nafta.
- ❖ El etanol hídrico puede utilizarse como único combustible (sin mezclarlo con nafta) solamente en motores especialmente adaptados para su uso.
- ❖ Etanol anhidro puede ser mezclado con nafta en los vehículos convencionales. Las mezclas de baja proporción de etanol anhidro (5%) no requieren adaptación alguna.
- ❖ El uso con la mezcla reduce la producción de gases invernaderos.
- ❖ Se utilizan para la generación de electricidad y calor.
- ❖ No son fuentes de alimentos.
- ❖ Se presupone que su costo será menor.

1.2 Marco Legal en Argentina

El Congreso de la Nación Argentina aprobó, en el año 2006, la Ley Nacional N° 26.093 de Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentable de Biocombustibles, reglamentada por el Decreto 109/2007 e implementada en el año 2010. En enero de 2008, el Congreso aprobó la Ley 26.334, que promueve la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar y en diciembre de 2013, el Gobierno anunció la incorporación de nuevas plantas de bioetanol de grano de maíz.

Con respecto al precio del bioetanol fue establecido por la Resolución 44/14, de la Secretaría de Energía, creando un precio diferenciado para el etanol en función de la materia prima utilizada. Por lo tanto, a través de la publicación de las nuevas fórmulas de precios, el etanol de grano tenía un precio inferior al de etanol de caña de azúcar. En mayo de 2015, el precio oficial para el etanol de grano fue de AR\$/6,965 (0,78 U\$/l) y el precio para el etanol procedente de la caña de azúcar fue establecido en AR\$/1 8,559 (U\$/l 0,96).

1.3 Matriz Energética Argentina

Realizar una revisión y análisis de la matriz energética argentina nos dará una visión de la producción y el consumo de la energía, su crecimiento y distribución, considerando los diferentes factores, tales como el crecimiento demográfico, industrial y comercial.

Con estos datos se podrá analizar el uso racional de la energía y las oportunidades de generar energías renovables que contribuyan a la disminución del CO₂.

La matriz energética se construye en base a las energías primarias que posee un país, con sus respectivas transformaciones, para obtener las energías secundarias y calcular los consumos respectivos. Con esos datos la Secretaría de Energía de la Nación prepara los informes de los balances energéticos.

Considerando los datos publicados por las planillas BEN (Balance Energético Nacional) desde el año 2004 al 2014 se elaboran gráficos y tablas para observar el comportamiento de la matriz energética durante el período mencionado.

Se analizó el comportamiento de la variación de consumo en el período 2004-2014, concluyendo que se incrementó un 21.83%.

Para tener una visualización de la participación de las energías secundarias en el inicio y el final del período considerado, obtenemos la siguiente figura:

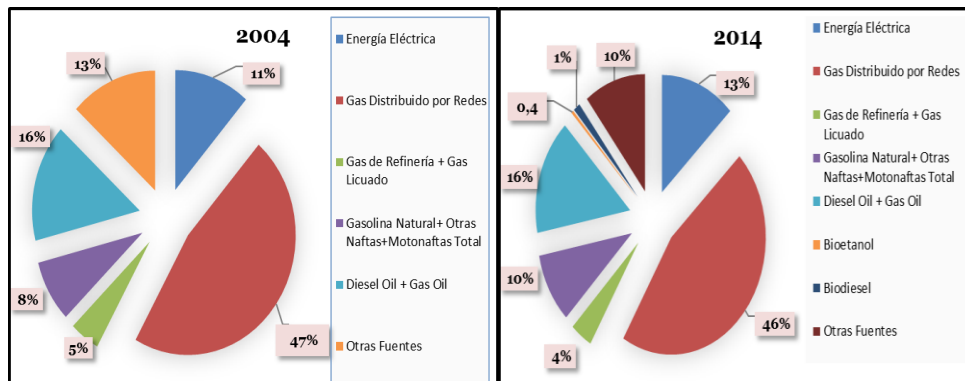


Figura 1 - Comparación de la participación de las energías secundarias al inicio y final del período considerado

En el año 2014 aparece en las estadísticas el bioetanol. Los datos suministrados pertenecen al bioetanol de primera generación. Su participación es pequeña debido al corto tiempo que la estadística lo ha empezado a considerar como consecuencia de la implementación de la ley de biocombustible.

La proyección para el año 2025 del consumo de naftas está dentro de los valores de 10.000 millones de m³ y, para dar cumplimiento a la ley con un corte del 12%, esto implicaría que se necesitaría un volumen de 1.200 millones de m³ de bioetanol.

Estos datos incentivan a realizar un estudio de factibilidad para producir etanol lignocelulósico y bajar el consumo de maíz para la producción de bioetanol de primera generación y centrar al grano únicamente para la producción de alimentos.

1.4 Disponibilidad de la Materia Prima en Argentina

Conocer la cosecha durante el período 2004-2015 nos dará una idea de la cantidad de rastrojo producido, dado que es un dato fundamental para conocer con qué cantidad de materia prima se cuenta para la obtención del bioetanol de segunda generación y si es sustentable en el tiempo.

El estudio se centró en el maíz durante el período 2004-2015 dado que tuvo mayor crecimiento. La producción estuvo alrededor de los 255 millones de toneladas distribuidas en las provincias de Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe, y Entre Ríos. Las hectareas sembradas crecieron un 101%, la producción un 126% y el rendimiento de kg/ha un 14%.

Estos valores nos demuestran que hay suficiente materia prima (BIOMASA) para la obtención del bioetanol lignocelulósico.

De la cantidad de biomasa que se forma en la cosecha, una parte se exporta (porción del carbono que se retira del campo) y otra fracción queda en el campo como rastrojo (biomasa aérea) y biomasa radical.

Es importante destacar que el maíz es el principal cultivo granífero aportante de rastrojo, pues tiene una relación grano producido/ rastrojo dejado de 1:1,2.

Del trabajo presentado por el INTA, mediante los autores Julio E. Menéndez y Jorge A. Hilbert (2013), en el documento “Cuantificación y uso de biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía”, en relación a la estimación del factor de residuo surge que:

El factor de residuo (FR) es la relación entre los rastrojos y el rendimiento, representa el complemento del índice de cosecha (IC). Es decir, la proporción de la biomasa aérea que no es grano o el órgano que se cosecha del cultivo. El factor de residuo puede calcularse a partir del IC, donde $FR = (1 - IC)/IC$. Este factor multiplicado por el rendimiento nos permite estimar el residuo. En términos generales, para maíz, se puede considerar un IC de 0,5 (Dr. Andrade, com. per.).

Este trabajo presentado por el INTA introduce el concepto de factor de residuo, combinado con el índice de cosecha, para calcular la cantidad de rastrojo que se produce después de la cosecha.

La bibliografía que abarca los temas del suelo demuestra que mantener y desarrollar la materia orgánica mejora el rinde del campo. En ese sentido, se entiende que a los rastrojos se los considera como materia prima para la reposición de su materia orgánica.

El cultivo de maíz es una fuente potencial de materia prima lignocelulósica, óptima para la producción de energía. Después de la cosecha de este cultivo queda en el lote una alta cantidad de biomasa (rastrojos) que están compuestos por cañas que tienen una alta relación de Carbono/Nitrógeno y una proporción alta de lignina y celulosa en sus tejidos.

Existe en la bibliografía una discusión con respecto a la recolección y manejo de los rastrojos, teniendo como base del debate el balance de nutrientes en función de lo extraído y lo repuesto. Los estudios realizados demuestran que los limitantes de la extracción del rastrojo son la erosión hídrica y eólica, contenido de carbono, balance de nutrientes, cantidad de agua y temperatura del suelo. Estas consideraciones están basadas, principalmente, en las características y particularidades de cada zona.

En un trabajo presentado por la Fundación Producir Conservando, titulado “Sustentabilidad de la agricultura en la próxima década. Potencial uso de fertilizantes al 2015”, se recomienda ya sea un manejo por siembra directa o labranzas conservacionistas, mantener en la superficie del suelo una cobertura de rastrojo de cultivo superior al 40% para cuidar los suelos dentro de los márgenes de tolerancia de los problemas de erosión y con ello dar sustentabilidad a la producción.

En el documento “Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe”, donde se cita a Lynd y otros (2003), estiman que un 50% de los residuos de maíz pueden ser removidos sin causar un efecto negativo al suelo.

Así, respetando las recomendaciones para mantener un suelo sustentable y aporte de nutrientes para sostener la fertilidad de los mismos, en este trabajo se toma como un valor seguro, con el fin de no dañar las condiciones del suelo, retirar el 50%.

2. Parte analítica

2.1 Análisis de costos del etanol lignocelulósico en Argentina

Realizar un análisis detallado del costo de producción del etanol lignocelulósico a través del rastrojo de maíz, en nuestro país aún es bastante dificultoso dado que en las investigaciones en función de la transformación nos encontramos en la etapa de investigación. En la actualidad no hay ninguna planta piloto que esté desarrollando la obtención del etanol lignocelulósico, en consecuencia no existen datos nacionales para calcular el costo de producción. Para soslayar estas dificultades, se buscaron datos que se asemejen al trabajo de recoger y transportar rastrojo de maíz a la planta procesadora.

Se tomaron los costos de rollos de pastura para determinar uno hipotético del de rollos de rastrojo, los costos de nutrientes para hallar un valor hipotético por reposición del mismo y se calculó el del transporte. Con estos costos se calculó el del rastrojo puesto en la planta procesadora, listo para la mezcla.

Dando lugar a las recomendaciones de NREL se realiza la hipótesis de ubicar la planta procesadora cercana a las plantas mezcladoras autorizadas por la Secretaría de Energía de la Nación y así plantear un Joint Venture con los integrantes de la cadena de valor, con el objetivo de lograr un ahorro en la logística, considerando que en nuestro país la misma tiene una incidencia elevada.

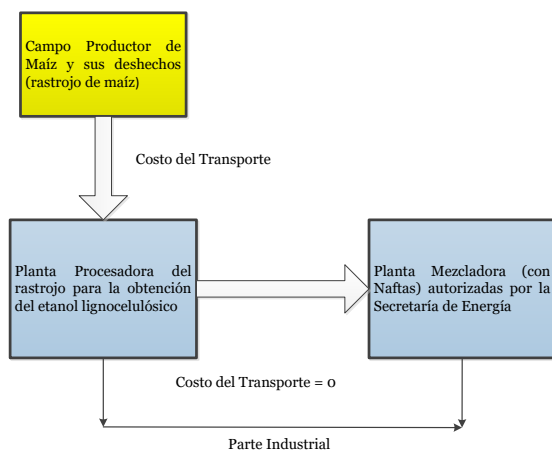


Figura 2 - Cadena de valor del Etanol Lignocelulósico

2.2 Estimación del costo de la materia prima (rastrojo de maíz) en puerta de campo

Como no se ha realizado un trabajo de muestreo, se llega a un valor hipotético realizando las siguientes consideraciones, desde el punto de vista del productor del grano.

El productor debe:

- ❖ Recuperar un porcentaje de los gastos incurridos en los nutrientes e insumos que efectuó en la siembra/cosecha.
- ❖ Calcular los costos de enfardado del rastrojo.
- ❖ Calcular el costo de transporte para entregar el rastrojo a la planta procesadora.

2.2.1 Estimación del costo de enfardado del rastrojo de maíz en puerta de campo

Para determinar los procedimientos y costos de confección de rollos de rastrojos se toman las experiencias de confección de rollos de pastura asumiendo que cada rollo pesa 450Kg, considerándose los valores expresados en la publicación de MENENDEZ, JULIO E.; HILBERT, J. A. 2013. “Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía”. Los pasos para confeccionar los rollos de rastrojo son: preparación del rastrojo, corte, hilerado, enrollado. Realizados los cálculos correspondientes se llegó a:

- a) Costos de enfardado de rastrojo= 25,17 U\$S/ rollo.

2.2.2 Costo de nutrientes

Para realizar el cálculo de este costo se adquieren los valores referenciales del informe INTA presentado en “Resultados Económicos del Maíz. Campaña 2014/15. En relación al uso agrícola de los suelos en Argentina, se puede pensar que los nutrientes extraídos por la producción del grano pueden ser repuestos principalmente por los fertilizantes, y la otra parte aportados por el suelo.

Se considera que la planta de maíz está compuesta por un 50% en grano y el 50% restante la componen el rastrojo, un porcentaje de éste queda en el suelo y otro porcentaje es extraído, con sus respectivos porcentajes de nutrientes.

Subsiguientemente, en base a lo expresado, los costos de reposición de nutrientes se pueden distribuir en un 75% por reposición del grano, y el otro 25% restante por reposición de extracción del rastrojo. Hechas estas consideraciones se llega al valor de recuperación por pérdidas de nutriente:

b) Recuperación de pérdidas de nutrientes = 17.75U\$\$/ha

2.2.3 Análisis del costo del transporte

Se considera la cosecha de maíz dentro de las provincias que poseen plantas mezcladoras autorizadas por la Secretaría de Energía de la Nación. Durante el período 2004-2015 la Provincia de Buenos Aires obtuvo una producción de casi 9 millones de toneladas y además posee 11 plantas mezcladoras autorizadas por la Secretaría de Energía de la Nación. La Bolsa de Cereales de Buenos Aires ha diferenciado quince zonas PAS (Panorama Agrícola Semanal). Este trabajo analiza la Zona VII Núcleo Sur para determinar el costo del transporte expresado en U\$\$/tn transportada. En la provincia de Buenos Aires se encuentra la ciudad de Junín que posee dos plantas mezcladoras.

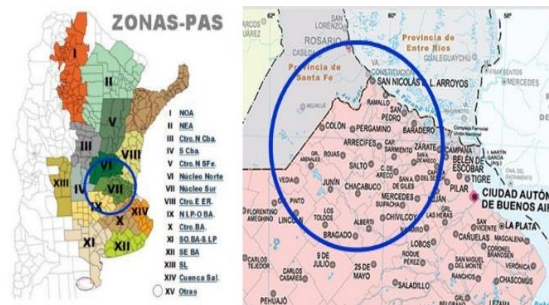


Figura 3 - Zonas PAS

En la Zona VII Núcleo Sur, se han considerado solamente aquellas localidades que se encuentran en un radio de la distancia recomendada (100 km). Así, las localidades analizadas son Bragado, Chacabuco, Arenales, Junín, L. N. Alem, Pergamino, Rojas y Salto.

El costo de transporte se consideró por Km/Tn transportada, además se tomó en cuenta 30 Km para movimientos internos desde el campo hacia el centro de distribución de cada localidad.

c) Costo del transporte a planta mezcladora : 20,83U\$\$/tn.

La suma de los tres componentes(a+b+c) nos da el Costo Total puesto en la industria = 279U\$\$/ha

2.3 Análisis del Precio del Bioetanol Lignocelulósico

La misma dificultad que ya se mencionó para determinar el costo del etanol lignocelulósico existe para determinar el precio mínimo de venta de este biocombustible; los precios internacionales publicados no desagregan la procedencia.

Por tal motivo, este trabajo busca, a través de la relación de precios de las dos materias primas primarias -petróleo y maíz- encontrar un parámetro hasta qué valores debe llegar el precio del petróleo y el precio de la tonelada de maíz para incentivar a la producción del bioetanol lignocelulósico en nuestro país.

2.3.1 Análisis de los precios de las materias primas: Precio del Petróleo-Tonelada de Maíz

Los datos suministrados por el Index Mundi nos permiten realizar una proyección para poder encontrar una relación óptima entre litros de petróleo y litros de etanol equivalentes a tonelada de maíz.

Para encontrar un valor de precio mínimo de venta se ha empleado un método de simulación de valores proyectados: el Método de Montecarlo, aplicando la herramienta Minitab.

2.3.2 Aplicación del método

Se toman, como muestra, los valores del precio del Petróleo Crudo Brent y Precio de la Tonelada de Maíz, extraídas del Index Mundi, y se realiza una simulación tomando 100.000 valores aleatorios para cada variable utilizando una distribución triangular y las cotas mínima, máxima y el valor del modo. Se toma, como ecuación de transferencia, el cociente Precio Petróleo Crudo Brent/Precio Tonelada de Maíz.

Se utiliza este tipo de distribución debido a que la información es limitada y se conoce la relación entre las variables.

2-3-2-1 Simulación de escenarios con datos de la simulación Montecarlo

Con la distribución triangular aplicada se trabaja con los extremos de los triángulos con el fin de establecer dos escenarios posibles para la obtención de un precio mínimo de venta del etanol.

Tabla 1 - Valores extremos: Valores del Petróleo y Tonelada de Maíz

	Precio del Barril de Petróleo expresados en U\$\$/barril	Precio de la Tonelada de Maíz expresado en U\$\$/tn
Máximo	133.85	331.85
Mínimo	38.08	103.04

Escenario 1: Se plantea el objetivo de analizar qué rentabilidad se obtendría tomando los datos de mínimo valor del barril del Petróleo, expresado en U\$\$/barril, y el máximo valor de la tonelada de maíz, expresado en U\$\$/tn. Realizados los cálculos correspondientes, se obtiene que el precio mínimo de venta del etanol es de 0,85U\$\$/lt y el precio equivalente de petróleo es de 0,24U\$\$/lt.

Escenario 2: Para este escenario se toma el máximo valor del barril del Petróleo expresado en U\$\$/barril y el mínimo valor de la tonelada de maíz expresado en U\$\$/tn. Los valores obtenidos para este escenario son un precio mínimo de venta del etanol de 0,27 U\$\$/lt y el precio equivalente de petróleo se calculó en 0,84U\$\$/lt.

2.3.2.2 Consecuencia de los escenarios

El análisis nos da elementos para expresar que el escenario 1 es el más aconsejable. Pero nos encontramos con el inconveniente que este escenario no cumple con las recomendaciones para producirlo, dado que el precio del petróleo considerado está por debajo del precio del etanol.

El escenario 2 cumple la condición que el precio del litro de petróleo está por encima del precio del etanol, pero el precio de la tonelada de maíz es bajo para incentivar la cosecha del grano y, en consecuencia, no incentiva la producción del bioetanol.

Estos nos llevan a plantear un tercer escenario para encontrar una relación óptima entre el valor del petróleo y tn de maíz con el fin de alcanzar un precio mínimo de venta del biocombustible de segunda generación, que llegue a ser competitivo, sustentable en el tiempo y obtener una rentabilidad positiva.

Con los datos de la simulación se construye el histograma, se realiza un análisis complementario con una distribución normal. Con ello logramos los datos estadísticos descriptivos y, por último, se realiza una prueba de hipótesis para construir el escenario 3.

2.4 Planteamiento de un nuevo escenario

Se incorpora al programa los datos alcanzados y se construye los valores con mayor frecuencia y su gráfico correspondiente.

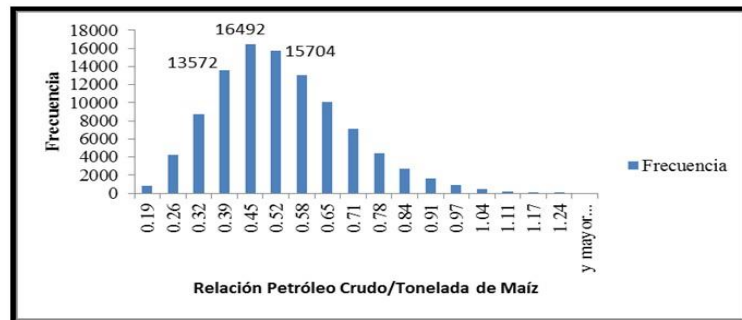


Figura 4 - Histograma Relación Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz

Este histograma nos indica que el valor de 0.45 es la relación entre las dos materias primas que demuestra mayor frecuencia.

2.4.1 Análisis complementario

Es necesario realizar un ajuste a los valores obtenidos de las frecuencias halladas para el petróleo, el maíz y la relación entre ambos, con una distribución normal para acotar más los valores.

2.4.1.1 Análisis complementario del Petróleo Crudo

Con todos los datos de la muestra (100.000) se ajustan los precios del barril de petróleo y la tonelada de maíz de acuerdo a la frecuencia que presenta el histograma.

Para el caso del petróleo, los precios con mayores frecuencias han oscilado entre los 111,31 a 122,58 U\$S/ barril. Se realiza un ajuste de los valores en función de la frecuencia de los mismos, aplicando una distribución normal:

Para el caso del maíz se aplica el mismo concepto, se ajustan los precios de la tonelada de maíz que en el histograma se demostró que oscilan entre 170,34 a 197,26 U\$S/tn.

2.4.1.2 Análisis complementario de la relación Petróleo Crudo/Maíz

Análogamente, se aplica el mismo concepto que en el punto anterior, pero en este caso se toma la relación de petróleo crudo/tonelada de maíz. El histograma demostró que la relación oscila entre los valores de 0,39 a 0,52.

Se analiza la distribución normal a través de la gráfica de caja para la relación entre las dos materias primas:

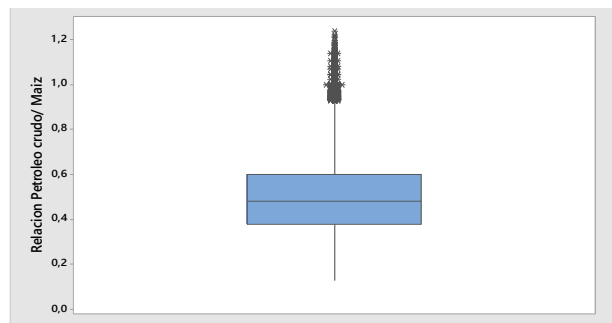


Figura 5 - Gráfica de Caja Relación Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz

El gráfico de Box Plot nos está demostrando que en el primer cuartil Q_1 los valores de la relación entre las materias primas se encuentran en 0,39 representando el 25% de la muestra; el segundo cuartil Q_2 representa el 50% de la variable y se encuentra dentro de los valores de 0,49; y el tercer cuartil Q_3 representa el 75% de los valores de la muestra, cuyo valor se encuentra en 0,58.

2.4.1.3 Datos estadísticos descriptivos

Se construyen los datos estadísticos descriptivos relacionando las variables Petróleo Crudo-Maíz-Relación entre Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz.

2.4.1.4 Prueba de hipótesis- Diseño Factorial Completo-Gráfico de Contorno

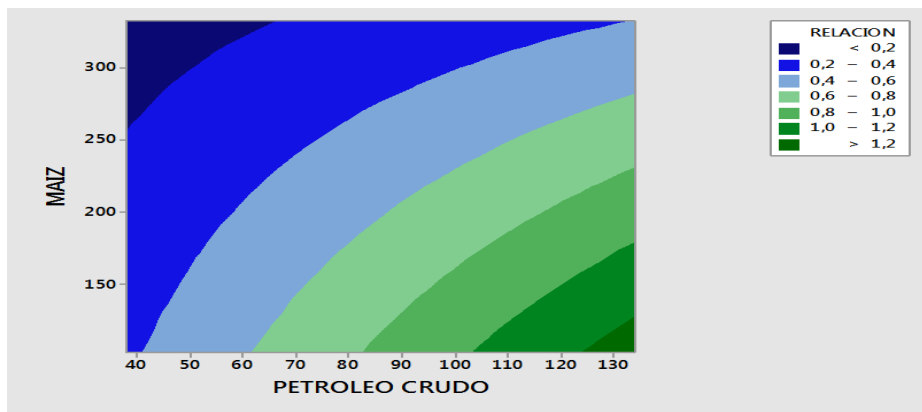


Figura 6 - Gráfica de Contorno de Relación vs Maíz-Petróleo Crudo

A partir de las consideraciones realizadas con el gráfico de cubos (medias ajustadas) de relación, y con el gráfico de contorno, podemos determinar que las zonas más alentadoras para la producción del bioetanol se logran en la relación de materias primas que se encuentra entre 0,2-0,4 0,4-0,6 0,6-0,8.

2.4.1.5 Estimación del precio óptimo del bioetanol lignocelulósico

El análisis estadístico complementario realizado nos permite tener una visión entre cuáles valores deben cotizar las dos materias primas y la relación entre ellas para obtener un precio mínimo de venta del etanol lignocelulósico y, a su vez, que represente una rentabilidad para los productores y plantas transformadoras.

Tabla 2 - Resumen de los valores que hacen rentable la producción del bioetanol lignocelulósico

	Media	Mediana	Máximo	25% de la muestra	75% de la muestra
Petróleo	96	99	134	81	113
Maíz	205	199	332	169	332
Relación Barril de Petróleo/Tonelada de Maíz	0,60	0,50	0,80	0,37	0,59

2.4.1.6 Construcción del Escenario 3

Para construir el escenario 3 se trabaja con los valores de la mediana, que toma un valor de relación de 0,50, obtenidos de los datos estadísticos descriptivos, donde la tonelada de maíz toma el valor de 199 U\$S/tn, y la mediana del barril de petróleo adquiere el valor de 99 U\$S/barril.

Prima facie, el escenario es alentador desde los dos puntos de vista: el valor del litro de petróleo es mayor que el litro de etanol y el valor al que se cotizaría la tonelada de maíz también favorece al productor, ya sea para cosechar el grano, como para producir bioetanol de segunda generación.

El escenario 3 cumple con las condiciones que se proyectan: aumento del barril del petróleo y acomodamiento del valor de la tonelada de maíz.

3. Resultados

Con los datos obtenidos en cada escenario, se construye la tabla “Costos y Márgenes” para analizar la rentabilidad económica que puede llegar a obtener el complejo productivo.

La planilla se compone de tres bloques: 1) **Costos en el campo**: en este sector se incorporaron los costos calculados de la materia prima y pérdidas de nutrientes.

Se calcula la cantidad de rollos/ha de rastrojo seco que se pueden retirar, con el costo por rollos hallado, sumándole los costos por pérdidas de nutriente se obtiene el costo en puerta de campo, a este costo se le suma el costo de transporte, para obtener el costo en puerta de la industria.

Los rollos de rastrojo seco que se pueden retirar tienen un peso que oscila entre 350 a 450 Kg/rollo.

2) **Ingresos:** los factores de conversión para el rastrojo de maíz se calcula según experiencias obtenidas por NREL, por cada tonelada de rastrojo seco se obtendrán 268 lts de etanol lignocelulósico. Y el valor del Etanol se obtiene de los datos calculados con la simulación de Monte Carlo.

3) **Márgenes:** Diferencia entre ingresos menos egresos. Los costos que se han tenido en cuenta corresponden al año 2015.

Tabla 3 - Costos y Márgenes por Hectárea

ESTUDIO ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOETANOL LIGNOCELULÓSICO -
 RIIYM – ISSN 2525-0396 – VOLUMEN IV – NÚMERO 6

		EN U\$S/ha					
		MAIZ GRANO SECO	RASTROJO MAIZ SECO	U\$S/ rollo	U\$S/ tn	U\$S/ litro	
RINDE ESTIMADO PROMEDIO 2004-2015 EN ESTADO SECO		tn/ha	7.31	3.4			
rollo		kg/rollo		450			
rollos/ha				7.56			
COSTOS							
Costos en el campo	Costos de implantacion		373	---			
	Costo oportunidad de la tierra		214	---			
	Gastos de Cosecha		86	---			
	Gastos de flete-secada y comisiones		256	---			
	Costo pérdida de nutrientes		34	17.75			
	Costos enrollado rastrojo	U\$S/rollo	25.17	---	190.17		
	Total Costos en el Campo		963	207.92	28	61	0.228
Costos de transporte (promedio zona Nucleo Sur Reducido)	U\$S/tn	20.83	---	71	21	20.83	
TOTAL DE COSTOS (puesto en la industria)		963	279	48	81.98	0.31	
INGRESOS							
ingresos	Factor de conversion a Etanol	litros/tn	430	268			
	Total de litros de Etanol producidos	lts/ha	3.143	911			
	Valor del Etanol (según simulación Monte Carlo)	U\$S/lts	0.51				
	ingresos	u\$S/ha		465	62	137	0.51
MARGEN							
Ingresos - Costos	U\$S/ha		185.97	13	54.70	0.20	
Porcentaje			67%				

Con esta tabla se calculó la rentabilidad para cada escenario y para cada rendimiento de producción del maíz.

Se actualizaron los costos al año 2016 y se calcula nuevamente la rentabilidad del complejo productivo. El resumen de los rendimientos se encuentra resumido en la tabla 3.

Tabla 4 - Resumen de los escenarios

	Rendimiento Tn/ha	Precio de Venta U\$S/lts	Ingresos U\$S/ha	Margen U\$S/ha	Margen U\$S/tn	Margen U\$S/litro	Porcentaje de Utilidad
Año 2016 Escenario 1	Promedio	0.85	775	532	157	0.58	220%
	Máximo		852	587	157	0.59	221%
	Mínimo		713	489	156	0.58	219%
Año 2016 Escenario 2	Promedio	0.27	246	3.94	1.16	0.004	2%
	Máximo		271	5.44	1.45	0.01	2%
	Mínimo		226	2.75	0.88	0.00	1%
Año 2016 Escenario 3	Promedio	0.51	465	223	65	0.24	92%
	Máximo		511	246	66	0.25	93%
	Mínimo		428	204	65	0.24	91%

De la Tabla 3, se puede observar que en todos los escenarios los márgenes son alentadores, pero en estos altos rendimientos hay que tener en cuenta que no se ha considerado el proceso de transformación.

4. Conclusiones

Durante años no ha existido una planificación integrada por parte de los países con respecto a la energía y a los alimentos. Esto ha traído como consecuencia un problema directo a la población: la escasez de un elemento puede causar directamente la carencia de producción del otro.

Todos estos factores han hecho que los especialistas del mundo en energías, alimentación y densidad poblacional conformaran una sinergia entre ellos considerando al problema como un vector denominado vector del desarrollo, para mitigar las problemáticas que aquejan al mundo: matriz energética, medio ambiente, alimentación y sustitución de combustibles fósiles.

Este trabajo se centró en la investigación del etanol lignocelulósico, considerando dos ejes fundamentales: no seguir creando conflictos con los intereses de la alimentación y analizarlo como elemento sustituto de las naftas.

Argentina es muy dependiente de las energías no renovables, el crecimiento proyectado del consumo de naftas hace necesario analizar la posibilidad de obtener etanol lignocelulósico para las mezclas y así disminuir la importación de petróleo, hecho que favorecerá a la economía del país, a la eficiencia energética, y posibilitará la diversificación de la matriz energética.

El estudio exploratorio realizado en este trabajo, ha demostrado nuestra fortaleza con respecto a la producción del grano, con su respectivo rastrojo.

Se trabajó con tres escenarios posibles y el escenario más alentador para la producción del bioetanol lignocelulósico encontró que el precio mínimo de venta debería estar dentro del rango de los 0,51 U\$/lts, con un porcentaje de utilidad del orden del 92%, con costos referidos al año 2016.

Nuestro país cuenta con ventaja comparativa natural: abundancia de recursos, tierras ricas para la producción agrícola, mano de obra calificada y mucho potencial para la innovación. Todas estas virtudes nos permiten pensar en una planificación sostenible a largo plazo para la obtención de bioetanol de segunda generación.

Por último, por ser un estudio exploratorio que intentó mostrar, en forma preliminar, la factibilidad económica de obtención de etanol de segunda generación en nuestro país, con los resultados obtenidos se puede asumir que es factible producir bioetanol procedente del rastrojo de maíz.

Bibliografía

BURASCHI, M. 2014. *Biocombustibles argentinos: ¿oportunidad o amenaza? La exportación de biocombustibles y sus implicancias políticas, económicas y sociales. El caso argentino*, Córdoba, Argentina: Edit. CEA Colección Tesis, p. 37. Disponible en: http://209.177.156.169/libreria_cm/archivos/pdf_1176.pdf

DATOS DE LA DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL Argentina. Disponible en: http://www.siia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php

FAO 2015 : Estadísticas sobre seguridad alimentaria. Disponible en: <http://ftp://ftp.fao.org/docrep/economic/ess/ess-fs/es//f> Oferta y demanda de Energía: Tendencias y Perspectivas. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0139s/i0139s03.pdf>

GHIDA DAZA, C. [en línea]. 2014. Resultados económicos de maíz. Campaña 2014/15. Argentina: EEA INTA Marcos Juárez. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_economia_maiz14.pdf

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2015. *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*, Francia: OCDE/AIE. Disponible en: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyVespagnol_epdf.pdf

Estadísticas de la AIE © OCDE/AIE. Disponible en: http://www.iea.org/statistics/INDEX_MUND. Índices de precios. Disponible en: http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=petroleo-crudo-brent&meses=120&mercancia=maiz

LÓPEZ, G.; OLIVERIO, G. [en línea]. 2008. Sustentabilidad de la agricultura en la próxima década. Potencial uso de fertilizantes al 2015. (Fecha de consulta: 12 de marzo 2016) Disponible en: http://producirconservando.org.ar//intercambio/docs/fert_122_millones.pdf

MENÉNDEZ, JULIO E.; HILBERT, J. A. 2013. *Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía*, Buenos Aires: INTA, p. 27. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-cuantificacion_y_uso_de_biomasa_de_residuos_de_c.pdf

MINITAB 2016. Minitab Statistical Software. Disponible en: [https://www.minitab.com/es-mx/NACIONES UNIDAS](https://www.minitab.com/es-mx/NACIONES_UNIDAS) [en línea]. New York: World Population Prospects: The 2015 Revision. (fecha de consulta: 3 de febrero 2016). Disponible en: http://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf

NACIONES UNIDAS [en línea]. 2007. Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe. Chile: CEPAL. ISBN: 978-92-1323127-2. Disponible en: <http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocombustibles/CEPAL/produccion%20de%20biomasa.pdf>

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. Departamento de Energía, EEUU. Disponible en: <http://www.nrel.gov/>

REPÚBLICA ARGENTINA SECRETARÍA DE ENERGÍA [en línea]. Balance Energético Nacional. Disponible en: http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gral/balancesenergeticos2007/Texto/BE_N.pdf

TESIS DE MAESTRÍA: Ing. Ascurra Adalberto Mario- mayo 2017. “Analizar la factibilidad económica de la producción de etanol utilizando como materia prima el rastrojo de maíz y sorgo. Universidad Nacional de Lomas de Zamora (UNLZ). Instituto de Investigaciones en ingeniería industrial (I4). Disponible: <http://digital.cic.gba.gob.ar/handle/1746/5722>