



Efectos Ambientales y Económicos Favorables de los Coproductos de Etanol de Maíz en Brasil

Luís Augusto Barbosa Cortez¹, Sérgio Luiz Monteiro Salles-Filho² y Maicon Sbardella³

Autor de Correspondencia: labarbosacortez@gmail.com

Resumen:

Brasil es un productor tradicional de etanol combustible a partir de caña de azúcar con coproducción de azúcar. Con ese modelo, produciendo azúcar y etanol, Brasil se convirtió en el primer productor y exportador de azúcar y el segundo productor de etanol combustible. Sin embargo, este modelo ya no se puede ampliar. El etanol de maíz se está convirtiendo en la alternativa para expandir la producción de etanol combustible debido a su potencial para producir proteína que se puede utilizar para alimentar ganado de carne. Brasil utiliza casi el 20% de su territorio, cerca de 200 Mha, para producir ganado vacuno y los residuos de etanol de maíz, como el DDG⁴, son el elemento clave para reducir los pastizales. Este artículo analiza esta nueva actividad económica en Brasil, así como su potencial para combinarse con políticas ambientales para reducir o incluso detener la deforestación en Brasil.

Palabras clave: Etanol de maíz, Coproductos, Brasil, bioeconomía, desarrollo económico.

Favorable Environmental and Economic Effects of Corn Ethanol Coproducts in Brazil

Luís Augusto Barbosa Cortez¹, Sérgio Luiz Monteiro Salles-Filho² and Maicon Sbardella³

Abstract:

Brazil is a traditional producer of fuel ethanol from sugarcane with coproduction of sugar. With this model, producing sugar and ethanol, Brazil became the first producer and exporter of sugar and the second producer of fuel ethanol. However, this model can no longer be expanded. Corn ethanol is becoming the alternative to boost fuel ethanol because of its potential to produce protein which can be used to feed beef cattle. Brazil employs nearly 20% of its territory, nearly 200 Mha, to produce beef cattle and corn ethanol coproducts such as DDG⁵, which are the key element to reduce pasture land. This article analyzes this new economic activity in Brazil as well as its potential to be combined with environmental policies to reduce or even stop deforestation in Brazil.

Key Words: Corn ethanol, Coproducts, Brazil, bioeconomy, economic development

¹ Núcleo Interdisciplinar de Planificación Energética (NIPE), Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), Brasil

² Instituto de Geociencias (IGE), Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), Brasil

³ Instituto de Ciencias Agrarias y Ambientales, Universidad Federal de Mato Grosso (UFMT), Brasil

⁴ DDG es una abreviación del inglés para Dry Distillers Grains. El DDG es un coproducto rico en fibras y proteína, obtenido de la producción de etanol de maíz. Normalmente el DDG es utilizado como alimento animal, particularmente para ganado.

⁵ DDG is the abbreviation of Dry Distillers Grains, a coproduct from corn ethanol production, rich in fiber and protein. DDG is commonly used as animal feed, particularly for beef cattle.

1. INTRODUCCIÓN

Brasil produce etanol de caña de azúcar para uso combustible desde el inicio del siglo XX. El país era considerado pobre en recursos petrolíferos y relativamente rico en recursos naturales para fines agrícolas, como tierra, sol y agua. Por esta razón, la caña de azúcar introducida por los portugueses desde el inicio de la colonización ha prosperado principalmente en las regiones Nordeste y Sudeste de Brasil.

El etanol combustible producido a partir de caña de azúcar tomó un gran impulso a partir de la crisis del petróleo en los años 70, cuando la producción recibió estímulo económico gubernamental con intensa participación del sector privado nacional y de las ensambladoras de vehículos. La producción industrial de etanol combustible de caña de azúcar pasó a estar basada en producir conjuntamente azúcar y etanol en la misma industria. Pocas centrales producen etanol exclusivamente y ninguna azúcar. Este modelo de producción fue muy exitoso hasta que se identificó la incapacidad de aumentar las exportaciones de azúcar puesto que Brasil, con este modelo, se tornó el principal exportador mundial (CORTEZ, 2016).

Con este modelo agotado, debido a la saturación del mercado de azúcar, la producción tanto de etanol como de azúcar no ha podido crecer tanto como en los últimos diez años. Es necesario adoptar otro modelo de producción, donde los coproductos pudieran ser utilizados de forma más flexible con mercados más grandes y así, permitir el crecimiento de la producción de etanol combustible, que hasta el momento es bastante más adaptable. (SALLES FILHO et al., 2016).

En este sentido, dos posibles modelos se presentan como alternativas para la expansión de la producción de etanol combustible en Brasil: el etanol producido con el uso de productos lignocelulósicos o el producido a partir de maíz (CORTEZ and ROSILLO-CALLE, 2023). El modelo del etanol de productos lignocelulósicos es producido en menor escala y todavía necesita de incentivos económicos que viabilicen su comercialización.

Este trabajo tiene como objetivo principal discutir esta segunda variante como alternativa prometedora y sus impactos positivos esperados directos para el medio ambiente con el fin de la deforestación legal e ilegal, así como los impactos indirectos para favorecer una nueva bioeconomía basada en el uso de coproductos.

2. LA PRODUCCIÓN DE ETANOL DE MAÍZ EN LOS EEUU

En los EEUU el uso a gran escala del etanol combustible ha tomado fuerza efectivamente al inicio de este siglo. En las décadas anteriores, la producción de etanol de maíz era una actividad de relativa poca importancia, pero eso empezó a cambiar con la prioridad dada por el gobierno estadounidense para reducir la importación del petróleo y su correspondiente sustitución por alternativas nacionales.

La producción de etanol de maíz ha incrementado rápidamente con el aumento de etanol mezclado a la gasolina y el surgimiento del combustible E85. Actualmente, el volumen de etanol combustible para estos dos mercados es de aproximadamente 67 mil millones de litros (cerca de 17 mil millones de galones) anualmente. Gran parte de la gasolina sin plomo usa etanol como aditivo en porcentajes que hoy en día están cerca del 10% en volumen.

La producción de etanol combustible de maíz está principalmente concentrada en el cinturón de maíz (*corn belt*) que involucra a los estados de Illinois, Indiana, Iowa, Michigan, Minnesota, Missouri, Ohio y Wisconsin. Por esta razón, el incremento de la producción de etanol de maíz en los EEUU puede ser considerada una política del Estado para fortalecer a los productores agrícolas. Esto se sucede debido al gran uso de maíz para esta finalidad, cerca de 30%⁶ de la producción. Entretanto este alto porcentual no se verificó como una menaza a el mercado de alimentos de maíz (ROSILLO-CALLE and JOHNSON, 2010).

Otro importante impacto en la producción de etanol de maíz en los EEUU fue el uso de coproductos ricos en proteína y energía, conocidos genéricamente

⁶ La producción de maíz en los EEUU fue de aproximadamente 380 millones de toneladas y la producción de etanol combustible de 67 mil millones de litros en 2021.

como DDG y WDG⁷, utilizados en la alimentación animal, principalmente para ganado de carne. Hoy en día, se puede afirmar que posiblemente 80% de los coproductos son utilizados para la producción de carne de vacuno, mientras los 20% restante es usado en dietas para cerdos y aves.

Importante observar que la vía seca es más intensiva en energía y produce menos etanol por hectárea que la vía húmeda (RAJAGOPALAN, et al., 2005). La productividad promedio esperada de una tonelada de maíz es: 378 litros de etanol y 479 kg de WDG (70% de humedad), o 309 kg de DDGS (10% de humedad).

Por un lado, estas prácticas resultan en una mayor sustentabilidad económica tanto de los productores de maíz como de los productores de carne de ganado, y por el otro, la industria del etanol de maíz en los EEUU siempre ha recibido críticas debido a sus altas emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) además de no representar grandes beneficios ambientales.

En resumen, se puede afirmar que la producción de etanol de maíz en los EEUU está basada en un trípode:

- la gran capacidad de producción de maíz con alta productividad;
- la utilización de gas de esquisto como fuente energética industrial; y
- la integración con la producción de ganado vacuno.

Por estas razones, la producción de etanol de maíz en los EEUU puede ser considerada un ejemplo concreto, de larga escala y consecuentemente representa un modelo a ser estudiado por otros países, como Brasil.

3. ¿POR QUÉ EL ETANOL DE MAÍZ PRODUCIDO EN BRASIL PUEDE TENER IMPACTOS AMBIENTALES Y ECONÓMICOS POSITIVOS?

Los impactos de la producción de biocombustibles dependen de la materia prima utilizada pero también de varios otros factores. No existe una única evaluación, por tanto, comprender las condicionantes locales es fundamental en el análisis. Por ejemplo, el etanol de maíz producido en los EEUU usando gas

⁷ El etanol de maíz es producido por dos vías, húmeda y seca. De la vía húmeda resulta un coproducto húmedo (DWG) y de la seca el DDG.

de esquivo puede resultar en emisiones muy distintas a las del etanol de maíz producido con leña o bagazo de caña de azúcar en Brasil. Además, como se ha visto, el uso de los coproductos puede tener otros efectos, que podrían ser determinantes en una evaluación más general. También, como veremos enseguida, la manera en la que el maíz es producido impacta mucho en las emisiones totales.

Un importante trabajo publicado por SEARCHINGER et al. (2008) ha introducido el concepto del cambio directo del uso (LUC^8) y cambio indirecto del uso del suelo ($iLUC^9$) (Figura 1). El etanol de caña producido en Brasil llegó a ser criticado internacionalmente por causar $iLUC$ en la Amazonia, lo que nunca ha sido probado (NASSAR et al., 2008).

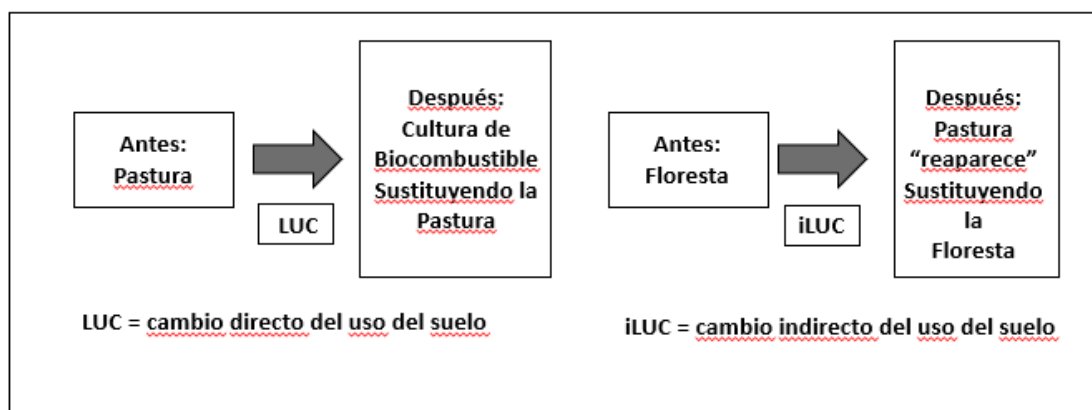


Figura 1. Diagrama de efectos de cambios directos (LUC) e indirectos ($iLUC$) de uso del suelo.
Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de este mismo concepto, ahora con la producción de etanol de maíz y los coproductos, se puede decir que el resultado será un $iLUC$ negativo, o sea, que la producción de etanol de maíz integrada a la ganadería pecuaria tendrá como resultado final una liberación de tierras para otras actividades (Figura 2).

⁸ LUC es una abreviación en inglés para cambio directo del uso del suelo. Son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido al cambio del uso de la tierra, por ejemplo, de pastura para maíz.

⁹ $iLUC$ es una abreviación en inglés para cambio indirecto del uso del suelo. Son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido al cambio secundario o posterior del uso de la tierra, por ejemplo, que la pastura inicialmente remplazada por el maíz "reaparece" en la forma de reducción de florestas.

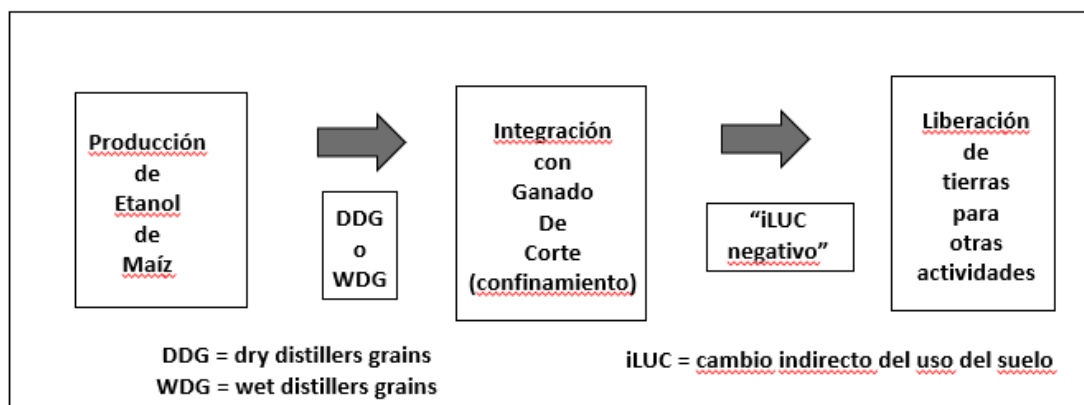


Figura 2: iLUC negativo resultante de la integración de la producción de etanol de maíz con ganado vacuno. **Fuente:** Elaboración propia

Esto se debe a que, en Brasil, la actividad pecuaria de ganado vacuno es una actividad poco intensiva, de baja densidad (Figura 3) y relativamente poca producción de carne por hectárea al año. Debido a eso, cuanto mayor el "efecto de intensificación" de la ganadería causado por el uso de los coproductos, más importante puede ser el iLUC y consecuentemente más bajas las emisiones. En otras palabras, el uso de coproductos de la producción de bioetanol de maíz produciría una intensificación en la producción ganadera en Brasil y eso llevaría a liberar tierra que era usada por el ganado para otras actividades agrícolas o forestales. La cuantificación de este fenómeno aquí llamado "efecto de intensificación" es un aspecto considerado importante en la expansión de la producción de etanol de maíz en Brasil.

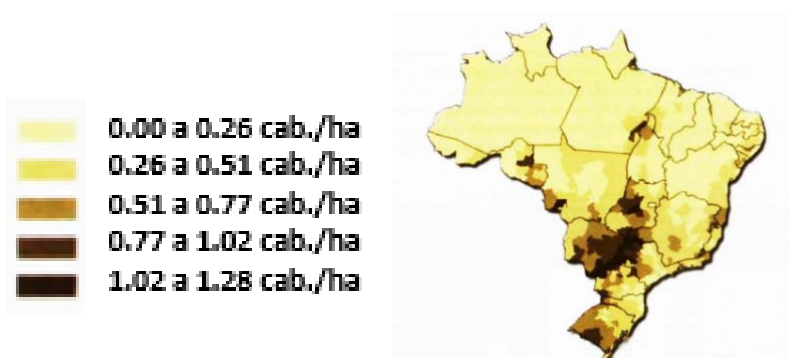


Figura 3. Densidad de ganado de carne por microrregión en Brasil – 2003. **Fuente:** Datos del IBGE, Base Agrotec de la SGE/ Embrapa (2005)

4. FACTORES QUE PUEDEN CONTRIBUIR PARA LA EXPANSIÓN DEL ETANOL DE MAÍZ EN BRASIL

La producción de etanol de maíz ya ocurre en cerca de 20 usinas en la región Centro-Oeste de Brasil. En la figura 4 se destaca la localización de las primeras usinas de etanol de maíz en los estados de Mato Grosso y Goiás. Estas usinas o destilerías se benefician de los bajos costos de la producción de maíz, los elevados precios del etanol, y la existencia de una importante actividad de ganado vacuno. Además de estos puntos, existen otras ventajas comparativas que pueden permitir una expansión continuada de este modelo de producción.

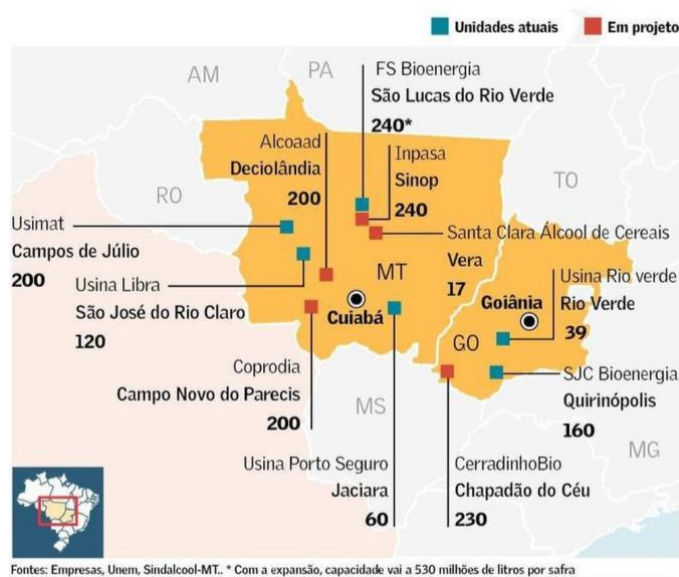


Figura 4. Usinas o destilerías de etanol de maíz en la región Centro-Oeste de Brasil, su localización y capacidad anual de producción (millones de litros). **Fuente:** Empresas, UNEM, Sindalcool-MT en Valor Econômico (2018)

El primer factor a ser considerado es que, en la región Centro-Oeste de Brasil, el maíz es producido como segunda cultura en el año agrícola. Primeramente, la soya es plantada en el verano y después, como segunda zafra o "*safrinha*", el maíz. Esta doble ocupación de la tierra es posible gracias a factores climáticos e insolación. Actualmente, cerca de 36 millones de hectáreas son plantadas con soya en primera zafra y aproximadamente 20 millones de hectáreas de maíz en segunda zafra o "*safrinha*", como es conocida en Brasil. Esto quiere decir que, aunque la productividad es relativamente baja (cerca de seis toneladas de granos por hectárea) todavía es posible un crecimiento importante de la producción de maíz en Brasil.

Un segundo factor a considerar es el combustible necesario para la industria. A diferencia de lo que ocurre en los EEUU, en Brasil la fuente energética utilizada primordialmente es la biomasa vegetal. Brasil cuenta con tres tipos de destilerías de etanol de maíz:

- Destilerías tipo full o solamente de etanol de maíz. En estas usinas se opera 12 meses al año usando únicamente maíz como materia prima;
- Destilerías flex que operan con caña en la zafra y con maíz en la entre zafra de la caña. En estas usinas se opera con caña por cerca de 7 meses y con maíz los 5 meses restantes del año;
- Destilerías flex que operan todo el año con caña y maíz. Estas son en realidad, dos usinas operando en paralelo, una usina operando 7 meses con caña y la otra usina con maíz operando 12 meses por año.

La leña de eucalipto plantado es el combustible en el primer caso. En los otros dos, el bagazo de la caña es suficiente para garantizar la energía necesaria en el proceso. Esto representa una importante contribución y un diferencial en la sustentabilidad de la producción de etanol de maíz en Brasil.

Un tercer punto muy importante es el relativo al uso de los coproductos de la producción de etanol de maíz. Como dicho anteriormente, la densidad de ganado vacuno en Brasil puede ser considerada baja. Los actuales 220 millones de cabezas de ganado ocupan aproximadamente 200 millones de hectáreas de tierra, o sea cerca del 20 al 25% del suelo en Brasil. Cuando se compara con el tamaño de la Amazonia (casi 450 millones de hectáreas) y de la tierra actualmente utilizada por la agricultura brasileña (cerca de 70 millones de hectáreas) se puede tener una idea que el mencionado "efecto de intensificación"¹⁰ puede tener.

Estos tres factores, maíz en segunda zafra, biomasa vegetal como energía, y el "efecto de intensificación" o iLUC negativo sumados pueden resultar en una actividad con resultados ambientales y económicos altamente positivos.

¹⁰ El efecto de intensificación es esperado por que el uso del DDG irá permitir una intensificación de la actividad de ganado de corte en Brasil, sobre todo en zonas donde la densidad de ganado es muy baja.

5. EFECTO SUSTITUTIVO DE LOS COPRODUCTOS DE ETANOL DE MAÍZ PARA INTENSIFICACIÓN DE LA GANADERÍA PECUARIA BASADA EN PASTURA

Los coproductos de granos de destilería (*DDG* o *WDG*) poseen altas concentraciones de proteína, energía, minerales y fibra. Estos coproductos pueden ser incorporados en dietas para animales de producción, como ganado de corte o leche, porcinos y aves, en reemplazo de ingredientes comúnmente utilizados como sorgo, maíz, harina de soya, torta de algodón, entre otros. Además, las posibilidades de uso van desde la suplementación de animales en pastoreo hasta la alimentación de animales en confinamiento. Sin embargo, más allá de un ingrediente alimentario, la utilización de *DDG* en suplementos puede ser una estrategia para la intensificación de la producción de rumiantes en pasturas y reducción de las áreas de pastoreo.

Aunque el potencial sustitutivo de los *DDG* no esté bien delimitado en las condiciones de las pasturas en Brasil, vale la pena reflexionar a partir de un ejercicio hipotético. Se utilizaron como referencia las necesidades nutricionales (BENEDETI et al., 2016) para terneros machos con 300 kg de peso vivo, con una ganancia de peso de 800 g/día y un consumo diario de materia seca de 6.97 kg/día, criados en pasturas con carga animal promedio de 1 animal/hectárea. A partir de estos datos, se estimó el consumo de pasto y la carga animal en diferentes escenarios de suministro de suplemento concentrado a base de *DDG* según los datos presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Efecto sustitutivo del suministro de suplemento concentrado a base de *DDG* (formulados con 40% de *DDG*) sobre el consumo de pasto y carga animal

Parámetros	Suministro de suplemento concentrado (% del peso vivo)						
	0.0	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.5
Consumo total de alimento (kg de MS/día)	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97
Consumo de suplemento (kg de MS/día)	0.00	0.90	1.50	2.10	3.00	3.90	4.50
Consumo de pasto (kg MS/día)	6.97	6.07	5.47	4.87	3.97	3.07	2.47
Carga animal (animal/hectárea)	1.00	1.13	1.21	1.30	1.43	1.56	1.65

En términos prácticos, se observa que el suministro de suplemento concentrado a base de *DDG* puede tener un impacto significativo en el consumo de pasto y la carga animal en ganado de corte criados en pastoreo, dependiendo del

nivel de suplementación (incremento de hasta alrededor de 50% en la carga animal). Estos resultados apuntan hacia una posible estrategia de intensificación de la producción de rumiantes en pasturas, reduciendo las áreas de pastoreo necesarias. Por supuesto, es importante tener en cuenta que estos resultados deben interpretarse con precaución por tratarse de un ejercicio hipotético simplificado, ya que se debe tener en cuenta la complejidad de factores involucrados en diferentes escenarios. Pero es innegable que la integración de la producción de etanol de cereales con la intensificación de la ganadería basada en pastoreo (y/o como ingrediente alimentario para otros animales) hace referencia a una economía circular. Sin embargo, investigaciones deben ser realizadas en el sentido de establecer los parámetros de intensificación en diferentes condiciones brasileñas de producción para la aplicación precisa de modelos.

6. CONCLUSIONES

Brasil ha logrado construir un importante programa de biocombustibles a partir de las dificultades que surgieron a partir de las crisis de los años 70. Un gran parque industrial de usinas fue creado para producir etanol. El modelo adoptado desde entonces fue la coproducción de azúcar y etanol para garantizar su viabilidad económica. Sin embargo, la producción de azúcar creció mucho conjuntamente a la producción de etanol, eventualmente agotando este modelo de producción. En función de esto, Brasil necesita buscar otro modelo de producción de etanol combustible si desea aumentar el volumen anual y atender las metas del RenovaBio¹¹.

Hay dos modelos alternativos que pueden ser considerados para la expansión de la producción de etanol en Brasil. El primero sería la producción de etanol celulósico. Este modelo es aparentemente perfecto pues elimina la posibilidad de competir con alimentos y valora todavía más la materia prima, se catalogó como muy complejo. Hasta hoy, únicamente la empresa Raízen del Grupo Cosan ha logrado una producción cercana a los 20 mil litros anuales, todo

¹¹ RenovaBio es una iniciativa del Ministerio de Minas y Energía (MME) de Brasil, lanzada en diciembre de 2016, que tiene como objetivo ampliar la producción de biocombustibles, con base en la previsibilidad y la sostenibilidad ambiental, económica y social.

dirigido a la exportación debido a los incentivos asociados a las muy bajas emisiones de CO₂.

Otra alternativa, discutida en este trabajo, es la producción de etanol de maíz. Como fue presentado, esto ya está ocurriendo en la región Centro-Oeste de Brasil (estados de Mato Grosso-MT, Goiás-GO y Mato Grosso do Sul-MS) donde ya existen 20 usinas instaladas de etanol de maíz o usinas flex (caña + maíz). Estas usinas por el momento producen etanol para el mercado regional, así como suministran los coproductos ricos en proteína sobre todo a la producción de ganado de carne. Importante decir que la región Centro-Oeste es la mayor productora de granos, en especial de maíz y de carne de ganado del país.

En el trabajo fueron presentadas las razones por las que el etanol de maíz producido en las condiciones del Centro-Oeste de Brasil puede tener impactos ambientales, *iLUC* negativo debido a la reducción de la área de pastura, y económicos muy positivos. Los tres principales factores destacados son la producción de maíz en segunda zafra, el uso de biomasa vegetal como fuente energética industrial y el llamado "efecto de intensificación" o *iLUC* negativo causado por el uso de los coproductos para ganado vacuno.

Finalmente, se recomienda que se hagan estudios en otras regiones donde la presencia de factores semejantes pueda llevar a una producción de biocombustibles más sustentable.

EXPRESIONES DE GRATITUD

Agradecimiento a el Consejo Nacional de Desenvolvimento Científico y Tecnológico de Brasil – CNPq.

Un agradecimiento especial a María José Elizarrarás de la Red INNOVAGRO por traducir este artículo al español.

REFERENCIAS

BENEDETI, P.D.B., PRADOS, L.F., COSTA E SILVA, L.F., LOPES, S.A., VALADARES FILHO, S.C. "Planilha para cálculo das exigências nutricionais de bovinos em crescimento e terminação (BR-Corte 2010 e BR-Corte 2016)". 2016. Disponible en www.brcorte.com.br. Acceso en 02/05/2023.

CORTEZ, L.A.B. (Coord.)(2010). "Sugarcane Bioethanol: R&D for productivity and sustainability" ISBN 978-85-212-0530-2, Editora Edgard Blucher, 992p. Disponible en: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/openaccess/sugarcane-bioethanol/completo.pdf>

CORTEZ, L.A.B. (Org.) (2016). "Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro" 224p., Editora Blucher, São Paulo.

CORTEZ, L.A.B. and ROSILLO-CALLE, F. (2023). "The Future Role of Biofuels in the New Energy Transition" Editora Blucher, São Paulo. (in Press)

DA SILVA, A.L. and J.A. CASTAÑEDA-AYARZA. (2021). Macro-environment analysis of the corn ethanol fuel development in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 135, 110387, 14p.

DE SOUZA, N. R. D., FRACAROLLI, J. A., JUNQUEIRA, T. L., CHAGAS, M. F., CARDOSO, T. F., WATANABE, M. D., & CORTEZ, L. A. B. (2019). Sugarcane ethanol and beef cattle integration in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 120, 448-457.

DE SOUZA, N.R.D. de. (2017). *Techno-Economic and Environmental Evaluation of Beef Pasture Intensification with Sugarcane Ethanol*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola-FEAGRI, UNICAMP, 86p. <file:///E:/Nariê/Tese%20Nariê.pdf>

ERICKSON, G.E., T.J. KLOPFENSTEIN, D.C. ADAMS, and R.J. RASBY. (2005). Utilization of corn coproducts in the beef industry. - A joint project of the Nebraska Corn Board and the University of Nebraska-Lincoln, Institute of Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research Division, Cooperative Extension Division. www.nebraskacorn.org

IBGE, Base Agrotec de la SGE/ Embrapa in EMBRAPA (2005) "Sistemas de Produção de Gado de Corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate" • no Regime Alimentar e no Abate" Documentos 151, ISSN 1517-3747, Brasil, Outubro, 2005. Disponible en [Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. - Portal Embrapa](#)

LEE, U. et al. (2021). Retrospective analysis of the U.S. corn ethanol industry for 2005–2019: implications for greenhouse gas emission reductions. *Biofpr*, DOI: 10.1002/bbb.2225; *Biofuels*, *Bioprod.* *Bioref.* 15:1318–1331 (2021). Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bbb.2225>

MOREIRA, M.M.R.; J.E.A. SEABRA; L.R. LYND; S.M. ARANTES; M.P. CUNHA; J.J.M. GUILHOTO. (2020). Social-Environmental and Land-Use Impacts of Double-Cropped Maize Ethanol in Brazil. *Nature Sustainability*, 3, pages209–216. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0456-2>

SALLES FILHO, S.L.M.; CORTEZ, L.A.B.; DA SILVEIRA, J.M.J.; TRINDADE, S.C. (Editors). (2016). "Global Bioethanol: evolution, risks, and uncertainties" Elsevier and Academic Press, ISBN: 978-0-12-803141-4, 258p.

NASSAR, A. M.; RUDORFF, L. B.; ANTONIAZZI, L. B.; AGUIAR, D. A.; BACCHI, M. R. P.; ADAMI, M. (2008). Prospects of sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: ZUURBIER, P.; Van de VOOREN, J. (Eds.), *Sugarcane Ethanol*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, p. 63-93.

NEVES, M.F. A Sustentabilidade do Etanol de Milho no Brasil / ICMIPA - Integração Cana, Milho e Proteína Animal. (2020). Disponível en: https://drive.google.com/file/d/15HLtyA6XcV1o4LOEyVla89SDeM8_lEcj/view?ts=63c09ab3

OLIVÉRIO, J.L. Usinas Flex – usina de etanol de cana e milho. Apresentação DEDINI ppt, 51 slides (sin fecha)

RAJAGOPALAN, S., E. PONNAMPALAM, D. McCALLA, and M. STOWERS. (2005). Enhancing Profitability of Dry Mill Ethanol Plants. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 120(1):37-50. Disponible en: <https://europepmc.org/article/med/15640556>

Renewable Fuels Association. [How Ethanol is Made](https://ethanolrfa.org/ethanol-101/how-is-ethanol-made). (2005). Disponible en: <https://ethanolrfa.org/ethanol-101/how-is-ethanol-made>

ROSILLO-CALLE, F. and JOHNSON, F. (2010). Food versus Fuels: an informed introduction to biofuels, Disponible en: <https://www.amazon.com.br/Food-versus-Fuel-Informed-Introduction/dp/1848133839>

US GRAINS COUNCIL. (2023). High Protein Handbook for DDGS. Disponible en: <https://grains.org/buying-selling/ddgs/user-handbook/>

VALOR ECONÔMICO. (2018). Etanol avança no Centro-Oeste. *Agronegócios*. 30/01/2018. Disponible en: <https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2018/01/30/etanol-de-milho-avanca-no-centro-oeste.ghtml>