

UNIVERSIDAD  
ICESI

---

El Etanol a partir de la Yuca Amarga: Una alternativa para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y una oportunidad de soberanía energética frente a la política E10.

**Por:**

*Camilo Andrés Gómez Cano*  
*Gabriel Antonio Salazar Redondo*

**Tutora:**

*María Cristina Amézquita Ortiz*  
PhD Ciencias Ambientales

Universidad Icesi  
Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas  
Programa de Economía y Negocios Internacionales  
Santiago de Cali, Junio 2022



**El Etanol a partir de la Yuca Amarga: Una alternativa para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y una oportunidad de soberanía energética frente a la política E10.**

*Camilo Andrés Gómez Cano  
Gabriel Antonio Salazar Redondo*

**Tutora:**

*María Cristina Amézquita Ortiz*  
PhD Ciencias Ambientales

Universidad Icesi  
Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas  
Programa de Economía y Negocios Internacionales  
Santiago de Cali, Junio 202



## ***Tabla de Contenido***

<i>Abstract</i> .....	<b>4</b>
<i>Introducción y Objetivo</i> .....	<b>7</b>
<i>Marco Conceptual</i> .....	<b>8</b>
El petróleo: sus derivados y su participación en la Matriz Energética Mundial y de Colombia .....	<b>8</b>
Cadena productiva del petróleo y sus emisiones de GEI .....	<b>11</b>
Los biocombustibles: Etanol y Biodiesel .....	<b>12</b>
<i>El Etanol</i> .....	<b>15</b>
Cadena productiva del Etanol y sus emisiones de GEI.....	<b>16</b>
Países productores, consumidores e importadores/exportadores de Etanol -2019 .....	<b>17</b>
Ventajas y desventajas del Etanol en comparación con la gasolina .....	<b>19</b>
<i>La yuca amarga para la producción de Etanol</i> .....	<b>20</b>
Yuca dulce y yuca amarga: sus diferencias y número de variedades a nivel mundial.....	<b>20</b>
Producción de yuca a nivel mundial y en Colombia .....	<b>21</b>
Características y ventajas de la yuca amarga para la producción de Etanol.....	<b>23</b>
Potencial del cultivo de yuca amarga para la producción de Etanol en Colombia.....	<b>23</b>
<i>Proyecto Cantaclaro: planta de producción de Etanol utilizando yuca amarga en Meta – Colombia</i> .....	<b>24</b>
<i>Política Internacional y Colombiana sobre la Industria del Etanol</i> .....	<b>25</b>
<i>Viabilidad de reactivación del proyecto Cantaclaro y sus posibles expansiones/plantas en los Llanos Orientales de Colombia</i> .....	<b>27</b>
Producción y oferta nacional de Etanol, 2021 .....	<b>28</b>
Consumo Promedio de gasolina y de Etanol en Colombia año 2021 .....	<b>29</b>
<i>Conclusiones</i> .....	<b>31</b>
<i>Referencia</i> .....	<b>32</b>

## ***Tabla de Figuras***

<b><i>Figura 1. Productos derivados del petróleo.....</i></b>	<b><i>9</i></b>
<b><i>Figura 2. Matriz energética mundial: Su transición entre 1973 y 2020.....</i></b>	<b><i>10</i></b>
<b><i>Figura 3. Matriz generación eléctrica Colombia 2018.....</i></b>	<b><i>10</i></b>
<b><i>Figura 4. Proceso de obtención del Etanol.....</i></b>	<b><i>17</i></b>
<b><i>Figura 5. Comparación entre yuca dulce y yuca amarga.....</i></b>	<b><i>21</i></b>
<b><i>Figura 6. Exenciones tributarias para biocombustibles .....</i></b>	<b><i>27</i></b>

## ***Tabla de Tablas***

<b><i>Tabla 1. Total de emisiones de GEI (Gg de CO<sub>2</sub>-eq) producidas por la Industria petrolera de Argentina en 2015 utilizando los Factores de Emisión del IPCC del 2012 .....</i></b>	<b><i>12</i></b>
<b><i>Tabla 2. Producción de biocombustibles (en miles de metros cúbicos) 2010-2019 .....</i></b>	<b><i>14</i></b>
<b><i>Tabla 3. Consumo de biocombustibles (en miles de metros cúbicos) 2010-2019.....</i></b>	<b><i>14</i></b>
<b><i>Tabla 4. Países productores, consumidores e importadores/exportadores de Etanol (Millones de litros, 2019).....</i></b>	<b><i>18</i></b>
<b><i>Tabla 5. Efectos del etanol en la mezcla con gasolina.....</i></b>	<b><i>20</i></b>
<b><i>Tabla 6. Los diez países mayores productores de yuca dulce (en toneladas/año) en 2019.....</i></b>	<b><i>22</i></b>
<b><i>Tabla 7. Incremento del cultivo de yuca en Colombia 2015-2020.....</i></b>	<b><i>22</i></b>
<b><i>Tabla 8. Siembra de yuca dulce y yuca amarga en Colombia 2018-2020.....</i></b>	<b><i>23</i></b>

## **Abstract**

The functioning of the world today is due to oil; however, its environmental repercussions have oriented society to the use of renewable energies for the reduction of Greenhouse Gases. This degree project will be responsible for exposing the world oil industry and, in turn, GHG emissions in all its production stages. To provide information on the ethanol biofuel industry, the bitter yucca being the main input for the Colombian case. And as international and Colombian policy leads to the partial replacement of gasoline in the automotive industry, reducing GHG emissions. For this reason, the possibility of reactivating the Cantaclaro project and its expansions/plants as a solution to the environmental problems and shortages presented by the national ethanol industry, which prevents compliance with the E10 policy.

**Key words:** Oil, Greenhouse Gases, Yuca Amarga, Ethanol, Politics E10.

## **Resumen**

El funcionamiento del mundo actual se debe al petróleo, sin embargo, sus repercusiones ambientales han orientado a la sociedad al uso de energías renovables para la reducción de Gases de Efecto Invernadero. Este proyecto de grado se encargara de exponer la industria mundial petrolera y su vez, las emisiones de GEI en todas sus etapas productivas. Con el fin de otorgar información sobre la industria del biocombustible etanol, siendo la yuca amarga el insumo principal para el caso colombiano. Y, como la política internacional y colombiana encamina al reemplazo parcial de la gasolina en la industria automotriz, reduciendo las emisiones de GEI. Por esa razón, se contempla la posibilidad de reactivar el proyecto Cantaclaro y sus expansiones/plantas como solución a la problemática ambiental y a la escasez que presenta la industria nacional de etanol, que impide el cumplimiento de la política E10.

**Palabras Claves:** Petróleo, Gases de Efecto Invernadero, Yuca Amarga, Etanol, Política E10.

## Introducción y Objetivo

A partir de la Revolución Industrial, el petróleo se ha convertido en una muy importante materia prima para la generación de energía eléctrica y para el funcionamiento de la sociedad actual. Sin embargo, su utilización ha dejado como consecuencia ambiental negativa, la alta generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) causantes del Cambio Climático Global. La política de cambio climático mundial en la Cumbre Climática de Glasgow, 2021, realizada entre octubre 31 y noviembre 13 del 2021, concluyó y resumió en el documento *Pacto de Glasgow*, entre otros temas lo siguiente (UNFCCC, 2021)

- Se reconoció que el uso de combustibles fósiles es el mayor causante de las emisiones globales de GEI y por ende el principal responsable del Cambio Climático.
- Las subvenciones ineficientes a combustibles fósiles deberán ir eliminándose.

Estas conclusiones apoyan datos del IPCC, 2000 que muestran que el 75% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> se atribuyen al uso combustibles fósiles; y los de *World Resources Institute* (2016) que indica el sector energético -dominado por el uso de combustibles fósiles- como responsable del 72% de las emisiones globales de GEI (tomado del capítulo de apertura).

El objetivo de la presente investigación es proporcionar información resumida sobre: a) la industria mundial petrolera y las emisiones de GEI en cada etapa de su producción; b) la industria mundial de Etanol; c) política internacional y colombiana sobre Etanol; d) la posibilidad de producir Etanol a base de yuca amarga en Colombia como reemplazo parcial del uso de la gasolina en la industria automotriz reduciendo sus emisiones de GEI; e) la importancia de políticas e incentivos del

gobierno colombiano para este fin; y f) las oportunidades que ofrece la reactivación del proyecto Cantaclaro para el cumplimiento de la política E10.

## **Marco Conceptual**

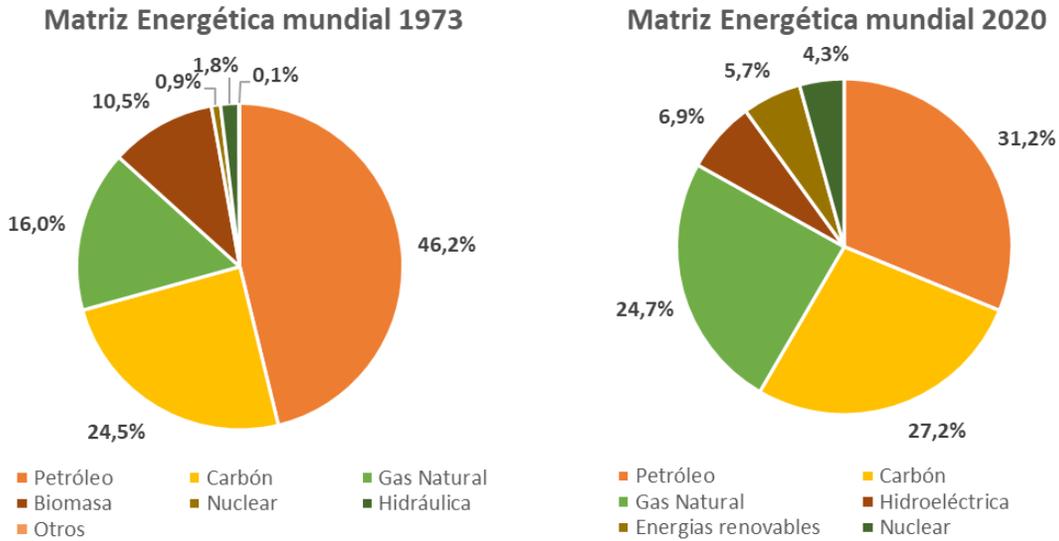
### **El petróleo: sus derivados y su participación en la Matriz Energética Mundial y de Colombia**

Según el Foro de la Industria Nuclear Española (Foro Nuclear, 2021) se define el petróleo como un aceite mineral que se produce en el interior de la Tierra por la transformación de la materia orgánica acumulada en sedimentos del pasado geológico y puede almacenarse en trampas geológicas naturales anaeróbicas. Es de color muy oscuro o negro, menos denso que el agua, siendo un recurso natural no renovable. Está formado por una mezcla de hidrocarburos compuesta por carbón, azufre, hidrógeno y nitrógeno en cantidades variables. A partir del petróleo se obtienen productos clasificados en tres grupos (PetroPerú, 2022):

- ***Energéticos:*** Combustibles específicos para el transporte, la agricultura, la industria, la generación de corriente eléctrica y para uso doméstico.
- ***Productos especiales:*** Lubricantes, parafinas, asfaltos, grasas para vehículos y productos de uso industrial.
- ***Materias primas para la industria petroquímica básica:*** Plásticos, acrílicos, guantes, pinturas, envases diversos, detergentes, fibras textiles, insecticidas, etc.



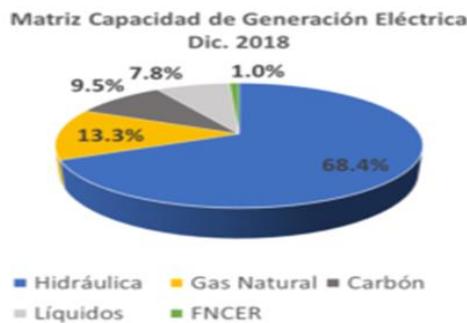
**Figura 2.** Matriz energética mundial: Su transición entre 1973 y 2020



**Fuente:** Adaptado de RunRun Energético (2020) y Sánchez (2021)

La figura 3 muestra que Colombia tiene una matriz energética muy limpia, con uso predominante de energía hidráulica (68.4%) y bajo empleo de combustibles fósiles (30.6%): petróleo (7.8%), gas natural (13.3%) y carbón (9.5%); y, por último, un 1.0% de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER).

**Figura 3.** Matriz generación eléctrica Colombia 2018



**Fuente:** Tomado de Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019)

## **Cadena productiva del petróleo y sus emisiones de GEI**

La producción del petróleo y sus derivados pasa por tres grupos de etapas productivas, las cuales generan una alta emisión de GEI, estas son: primera etapa: exploración, extracción y producción de petróleo crudo; segunda etapa: procesamiento, transporte-almacenamiento; y tercera etapa: refinado, distribución y venta al consumidor mayorista.

La tabla 1 muestra, para la industria petrolera de Argentina en el año 2015, el cálculo del total de emisiones de GEI de Gg CO<sub>2</sub>-eq y la contribución parcial de cada gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en Gg), generadas en las diferentes etapas de producción del petróleo. Estas emisiones se calcularon utilizando los *Factores de Emisión* del IPCC del 2012 atribuidas a procesos de combustión y fuga de gas, para equipos de combustión en industrias petroleras de países en vía de desarrollo, tomando en consideración el número de pozos productores existentes en el país (Alvarez, 2017).

Los datos de la tabla 1 permiten calcular que las emisiones totales de CO<sub>2</sub> representan el 73.3% del total de emisiones de GEI y las de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O el 26.7%. En la primera etapa se genera la mayor cantidad de emisiones (13140.11 Gg de CO<sub>2</sub>-eq) representando el 49.1% del total. En la segunda y tercera etapa se emiten el 23.7% y el 27.2% del total de emisiones de la cadena productiva del petróleo.

**Tabla 1.** Total de emisiones de GEI (Gg de CO<sub>2</sub>-eq) producidas por la Industria petrolera de Argentina en 2015 utilizando los Factores de Emisión del IPCC del 2012

Sector	Categoría	Tipo de Emisión	Gg CO <sub>2</sub> eq	Gg CO <sub>2</sub>	Gg CH <sub>4</sub>	Gg N <sub>2</sub> O
Exploración	Gas/Petróleo	Fugitivas	362.43	36.53	15.52	0.00
Producción	Gas	Fugitivas	2800.53	2.21	133.25	0.00
	Gas/Petróleo	Combustión	9704.72	9699.33	0.18	0.01
		Fugitivas	62.92	61.77	0.04	0.00
	Petróleo	Fugitivas	209.51	0.73	9.94	0.00
Procesamiento	Gas	Fugitivas	3088.22	2873.27	10.21	0.00
Transporte	Gas	Combustión	2571.80	2570.42	0.05	0.00
		Fugitivas	597.93	0.28	28.46	0.00
	Petróleo	Combustión	62.04	61.97	0.00	0.00
		Fugitivas	13.66	0.01	0.65	0.00
Refinación	Petróleo	Combustión	4315.28	4311.46	0.08	0.01
		Fugitivas	6.47	0.00	0.30	0.00
Distribución	Gas Petróleo	Fugitivas	1129.34	2.71	53.65	0.00
		Fugitivas	1.41	1.41	0.00	0.00
Consumo	Gas	Fugitivas	1819.56	0.00	86.65	0.00
<b>Total Resultado</b>			<b>26745.82</b>	<b>19622.10</b>	<b>338.98</b>	<b>0.02</b>

**Fuente:** Tomado de Alvarez (2017)

### Los biocombustibles: Etanol y Biodiesel

Los biocombustibles son combustibles producidos a partir de productos vegetales y son biodegradables, lo que los hace amigables con la naturaleza. El *Etanol* -para reemplazo parcial de la gasolina, producto derivado del petróleo- se produce utilizando la caña de azúcar, el sorgo dulce, la remolacha azucarera, el maíz, la madera y la celulosa. El *Biodiesel* -para reemplazo parcial del diésel, producto derivado del petróleo- se genera a partir de aceites vegetales de palma, girasol, soja, colza, entre otros (Federación Nacional de Biocombustibles [FEDEBIOCOMBUSTIBLES], 2021b).

**Etanol.** “Es un alcohol, llamado alcohol etílico, con fórmula  $C_2H_5-OH$ , producido por la fermentación por levaduras de los azúcares contenidos en los jugos extraídos de la caña de azúcar, el sorgo dulce, el maíz, la mazorca del maíz, la remolacha azucarera y en algunos proyectos privados de los almidones contenidos en la yuca amarga. Luego de la fermentación, el producto pasa por diversas etapas culminando con su destilación para retirar el exceso de agua y adecuarlo al uso como combustible para motores de vehículos de combustión interna a base de gasolina” (Federación Nacional de Biocombustibles [FEDEBIOCOMBUSTIBLES], 2021b, parrafo 2). Las mezclas de Etanol con gasolina se indican con la letra E seguida del porcentaje de Etanol en la mezcla. En Colombia desde el 2011 se han venido utilizando las mezclas E8 y E10 para algunas zonas del país. Sin embargo, a partir de julio de 2022 entrará en vigor la mezcla E10 para todo el país, exceptuando los departamentos del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Norte de Santander y el casco urbano del municipio de Rio de Oro en el departamento del Cesar, los cuales iniciarán la mezcla E10 a partir del 2023 (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

**Biodiesel.** Descubierta por el profesor Expedito Parente de la Universidad Federal de Ceará, Brasil, en 1977, resultante de la reacción de un ácido graso vegetal o animal, con un alcohol – etanol o metanol– en presencia de un catalizador, generalmente hidróxido de potasio o hidróxido de sodio. Se puede utilizar puro o mezclado con el diésel petrolero (Federación Nacional de Biocombustibles [FEDEBIOCOMBUSTIBLES], 2021b). Similar al etanol, se identifica la mezcla con diésel petrolero, con la letra B, seguida del porcentaje mezclado. En Colombia entrara en vigor a partir de abril del 2022 la mezcla B10, tiene 10% de biodiesel y 90% de diésel (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

Las tablas 2 y 3 muestran el crecimiento de la producción y del consumo entre 2010 y 2019 de los dos biocombustibles: biodiesel y etanol. En este período, la producción total de biocombustibles (tabla 2) creció en un 52.7%, la de etanol 31.2% y la de biodiesel en 140.2%. El porcentaje de la producción anual de Etanol en el periodo 2013-2019 osciló entre 6.1% y 2.6%, mientras que el de Biodiesel en el periodo 2011-2019 estuvo entre 20.7% y 13.7%, a excepción del 2015 que decreció un 5.6%. El consumo total de biocombustibles (tabla 3) aumentó en un 67.4%, la de etanol 50.4% y la de biodiesel en 129.3%. El porcentaje del consumo anual del Etanol en este periodo (2011-2019) osciló entre 0.65% y 10.02%, mientras que el de Biodiesel estuvo entre 13.5% y 14.3%.

**Tabla 2.** Producción de biocombustibles (en miles de metros cúbicos) 2010-2019

Año	Producción de Etanol	Crecimiento anual de Etanol (%)	Producción de Biodiesel	Crecimiento anual de Biodiesel (%)	Total	Porcentaje del Total
2010	85.834	-----	21.125	-----	106.959	-----
2011	85.731	-0.12%	25.503	20.72%	111.235	4.00%
2012	84.770	-1.12%	27.083	6.20%	111.852	0.55%
2013	90.019	6.19%	30.623	13.07%	120.641	7.86%
2014	95.558	6.15%	33.927	10.79%	129.485	7.33%
2015	99.896	4.54%	32.020	-5.62%	131.916	1.88%
2016	100.404	0.51%	36.920	15.30%	137.324	4.10%
2017	102.954	2.54%	40.764	10.41%	143.718	4.66%
2018	109.677	6.53%	44.617	9.45%	154.294	7.36%
2019	112.619	2.68%	50.751	13.75%	163.371	5.88%

**Fuente:** Adaptado de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2020)

**Tabla 3.** Consumo de biocombustibles (en miles de metros cúbicos) 2010-2019

Año	Consumo de Etanol	Porcentaje anual de Etanol	Consumo de Biodiesel	Porcentaje anual del Biodiesel	Total	Porcentaje Total
2010	76.722	-----	21.067	-----	97.789	-----
2011	77.220	0.65%	23.912	13.50%	101.133	3.42%
2012	80.915	4.79%	26.556	11.06%	107.470	6.27%
2013	86.204	6.54%	29.220	10.03%	115.424	7.40%
2014	90.489	4.97%	33.146	13.44%	123.635	7.11%

2015	98.478	8.83%	31.291	-5.60%	129.768	4.96%
2016	98.520	0.04%	35.415	13.18%	133.936	3.21%
2017	98.646	0.13%	37.004	4.49%	135.650	1.28%
2018	104.886	6.33%	42.239	14.15%	147.125	8.46%
2019	115.391	10.02%	48.315	14.38%	163.705	11.27%

**Fuente:** Adaptado de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2020)

## El Etanol

El funcionamiento del mundo actual es dependiente de los combustibles fósiles, cuyo uso en la matriz energética mundial es del 81.3% para el año 2018, como se mencionó en el Marco Conceptual. Según *World Resources Institute* (2016) el sector energético, dominado por los combustibles fósiles, es responsable del 72% del total de emisiones GEI. La UNFCCC, responsable de la política mundial de lucha contra el cambio climático, busca como objetivo principal la reducción de emisiones de GEI y en particular las generadas por la industria mundial del petróleo e industria mundial automotriz de vehículos de combustión interna con gasolina. El portal oficial del Estado argentino identifica las industrias usuarias del petróleo más contaminantes y posibles acciones de mitigación del cambio climático, de las cuales se destacan (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina, 2021):

- **Transporte:** Como acciones de mitigación se sugiere mayor utilización del transporte público, reemplazo de los combustibles líquidos por gas natural comprimido y Etanol/biodiesel, uso de bicicletas, implementación de reglas de tránsito y mejora en la tecnología de los vehículos.
- **Industria Energética:** Implementación gradual de energías renovables. Mejora de la eficiencia energética.
- **Industria Agropecuaria:** Como medidas de mitigación se sugiere: El reemplazo de fertilizantes químicos por fertilizantes orgánicos tanto en cultivos como en pasturas y

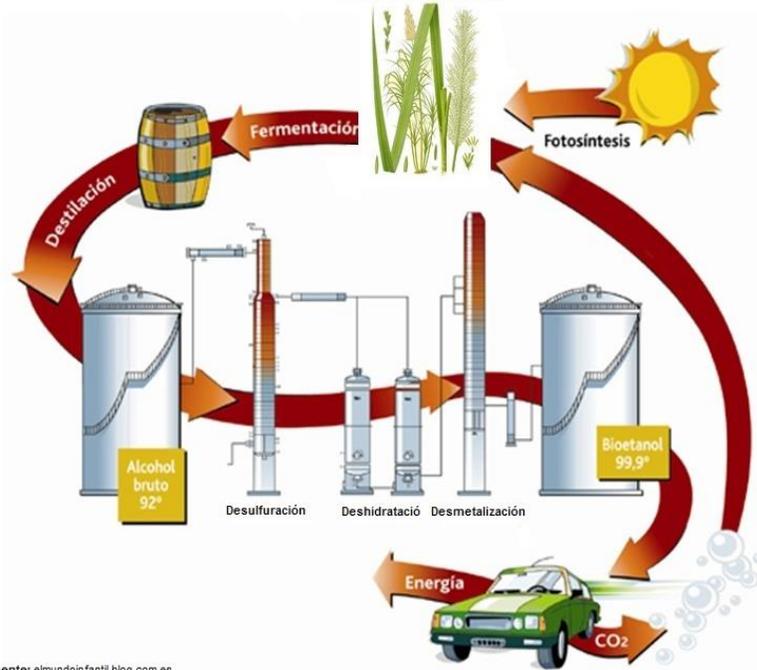
silvopasturas; producir ganadería bajo pastoreo o en silvopasturas con altas tasas de captura de carbono; buenas prácticas de manejo de residuos por parte del productor para la producción de compost o en la construcción de biodigestores utilizando el metano producido por los residuos orgánicos para generación de energía eléctrica.

El Etanol es una alternativa para reducir las emisiones de GEI generadas por la Industria del transporte, específicamente las emitidas por vehículos de combustión interna que usan gasolina.

### **Cadena productiva del Etanol y sus emisiones de GEI**

El proceso que se realiza para la obtención del Etanol consiste en las etapas de fermentación de los jugos y mieles de los productos vegetales, destilación para separar los compuestos obteniendo la vinaza y un alcohol más puro, y finalmente, la deshidratación para retirar el agua del alcohol dando como resultado el *Etanol* o *alcohol anhidro*. En la única etapa de la cadena productiva del etanol en donde se emiten GEI es durante el proceso de destilación porque consume energía calórica producida por combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural). (Federación Nacional de Biocombustibles [FEDEBIOCOMBUSTIBLES], 2021a). La figura 4 muestra la cadena productiva del Etanol.

**Figura 4.** Proceso de obtención del Etanol



Fuente: elmundoinfantil.blog.com.es

**Fuente:** Tomado de Federación Nacional de Biocombustibles (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2021a)

### **Países productores, consumidores e importadores/exportadores de Etanol -2019**

La tabla 4 presenta los valores de producción, consumo y comercio de Etanol en todo el mundo en 2019. Los principales productores son: Estados Unidos (61.552 millones de litros - mdl) cuya principal fuente de obtención de etanol es el maíz; Brasil (33.875,2 mdl) con obtención de etanol mediante la caña de azúcar; China (11.094,4 mdl) mediante la mazorca; Unión Europea (8.294,1 mdl) principalmente Francia (2.126 mdl), Alemania (788 mdl) y Reino Unido (374 mdl); y India (3.069,3 mdl). Estos cinco mayores productores son a su vez los mayores consumidores y dos de los mayores productores (Estados Unidos y Brasil) son los principales exportadores. Vale la pena resaltar que, cuatro de los mayores productores de etanol son los principales importadores (Estados Unidos, Brasil, Unión Europea e India) indicando que su producción no es suficiente

para abastecer su demanda interna y abre oportunidades para mayor producción de etanol en el mundo.

**Tabla 4.** Países productores, consumidores e importadores/exportadores de Etanol (Millones de litros, 2019)

Producción		Consumo		Comercio		
País	Total	País	Total	País	Importaciones	Exportaciones
Estados Unidos	62.552,0	Estados Unidos	57.105,4	Japón	1.531,2	0,2
Brasil	33.875,2	Brasil	33.290,7	Brasil	1.344,8	1.929,3
China	11.049,4	China	11.130,8	Estados Unidos	1.344,8	5.791,5
Unión Europea*	8.294,1	Unión Europea*	9,063.1	Canadá	1.268,9	81,3
India	3.069,3	India	3.689,3	Unión Europea*	1.230,0	250,0
Canadá	2.113,8	Canadá	3.301,3	India	675,0	55,0
Tailandia	1.851,2	Tailandia	1.861,4	Corea del Sur	455,5	64,2
Argentina	1.206,2	Japón	1.607,9	Filipinas	447,1	1,0
Rusia	934,6	Argentina	1.194,1	Colombia	353,9	6,2
Colombia	540,6	Colombia	888,3	Perú	206,2	190,9
Pakistán	479,8	Rusia	846,7	México	179,0	2,8
Australia	365,8	Filipinas	796,1	Suiza	118,1	1,2
Filipinas	350,0	Corea del Sur	547,7	China	100,0	18,7
Sudáfrica	320,0	Australia	345,7	Turquía	97,7	0,5
Bolivia	277,8	México	319,6	Ucrania	74,2	10,1
Guatemala	220,6	Perú	230,3	Nigeria	72,1	0,0
Perú	215,0	Ucrania	219,6	Jamaica	58,8	3,4
Indonesia	189,8	Turquía	218,3	Taiwán	48,8	0,1
Corea del Sur	156,3	Indonesia	135,9	Australia	39,5	59,7
Ucrania	155,3	Bolivia	135,6	Ghana	26,5	0,9
México	143,5	Sudáfrica	123,8	Malasia	25,5	16,5
Turquía	121,1	Nigeria	120,9	Tailandia	24,9	14,7
Etiopía	115,4	Suiza	116,8	Ecuador	4,3	8,3
Ecuador	109,1	Etiopía	115,4	Sudáfrica	4,0	200,3
Costa Rica	84,3	Ecuador	105,1	El Salvador	3,8	0,1
Zimbaque	78,0	Jamaica	80,4	Argentina	3,6	15,8
Japón	76,9	Zimbaque	78,1	Egipto	0,8	0,6
Cuba	75,7	Cuba	75,7	Indonesia	0,8	54,7
Nigeria	48,7	Taiwán	68,3	Rusia	0,3	88,2
Malasia	46,1	Malasia	55,2	Costa Rica	0,3	59,7
Jamaica	25,0	El Salvador	28,4	Guatemala	0,3	206,4
El Salvador	24,6	Ghana	25,6	Zimbaque	0,1	0,0
Taiwán	19,6	Costa Rica	24,8	Etiopía	0,0	0,0
Egipto	9,9	Pakistán	19,8	Pakistán	0,0	460,0
Suiza	-	Guatemala	14,4	Cuba	0,0	-
Ghana	-	Egipto	10,1	Bolivia	0,0	142,3
Otros	3.092,2	Otros	3.493,3	Otros	606,8	311,9
<b>Total</b>	<b>131.287,3</b>	<b>Total</b>	<b>131.483,7</b>	<b>Total</b>	<b>10.347,6</b>	<b>10.046,4</b>

\*en la Unión Europea se destacan: Francia (Producción: 2.126; Consumo: 1.769; Importaciones: 495; Exportaciones: 852), Alemania (Producción: 788; Consumo: 1.881; Importaciones: 1.575; Exportaciones: 483) y Reino Unido (Producción: 374, Consumo: 1.111; Importaciones: 953; Exportaciones: 215)

**Fuente:** Adaptado de Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2020)

## **Ventajas y desventajas del Etanol en comparación con la gasolina**

Olmedo (2021) indica las siguientes ventajas y desventajas de usar etanol:

**Ventajas:** 1) es más económica la producción de Etanol como combustible que la producción de gasolina; 2) muestra eficiencia en la reducción de GEI, debido a que las fuentes de Etanol son plantas, mientras que la gasolina es un derivado del petróleo; 3) genera empleo en el sector agrícola porque, dependiendo de la etapa productiva del Etanol, la mano de obra requerida no necesita ser calificada (por ejemplo en la siembra, cosecha, recolección y transporte), mientras que en todas las etapas de producción de la industria de petróleo hasta la producción de gasolina se requiere mano de obra calificada; 4) el etanol al ser un oxigenante para las gasolinas incrementa y mejora el octanaje del motor, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub>, en aproximadamente 500.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, con la mezcla E10 (ACP, 2019). Además, como el octanaje del etanol puro es de 113, mientras que el de gasolina corriente es de 87 y el de gasolina extra es de 92, se quema mejor en altas compresiones a comparación de la gasolina, generando mayor potencia al motor; 5) el etanol actúa como un anticongelante en los motores, lo que ayuda al arranque del motor en frío, previniendo su congelamiento; 6) la única etapa de la cadena productiva del etanol que produce GEI es el proceso de destilación porque consume energía calórica producida por combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural).

**Desventajas:** 1) algunas de las fuentes de etanol como maíz, caña de azúcar, mazorca y sorgo compiten con la cadena alimenticia de humanos y animales; 2) El etanol se consume de 25% a 30% más rápido que la gasolina, implicando una eficiencia menor en cuanto a km/galón.

La tabla 5 menciona los efectos del etanol en mezcla con gasolina sobre el funcionamiento del motor de vehículos de combustión interna a base de gasolina.

**Tabla 5.** Efectos del etanol en la mezcla con gasolina

<b>Octanaje</b>	Mejora la resistencia de detonación en la gasolina.
<b>Volatilidad</b>	Depende del contenido, puede imponer un ajuste en la gasolina base, su tendencia a evaporarse.
<b>Desempeño</b>	Mejora potencia y torque, aumenta el consumo de gasolina.
<b>Separación de fases</b>	Reduce la posibilidad de separación de agua.
<b>Compatibilidad de materiales</b>	Para contenidos más elevados que E10 requiere de alguna atención.
<b>Emisiones</b>	Disminución de emisiones CO <sub>2</sub> y CO.

**Fuente:** Tomado de Legiscomex (2007)

## **La yuca amarga para la producción de Etanol**

### **Yuca dulce y yuca amarga: sus diferencias y número de variedades a nivel mundial**

La yuca es un tubérculo, carbohidrato de alta capacidad nutritiva, rica en almidón que se produce en zonas tropicales pobres, acidas, infértiles y semiáridas. Existen dos tipos de variedades de yuca.

La *yuca dulce* que se usa como alimento para humanos y animales, y la *yuca amarga* para uso industrial, no apta para consumo humano por su contenido en cianuro, ácido cianhídrico y taninos que pueden ser letales. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) con sede en Cali, Colombia, conserva 6.155 variedades de yuca entre yuca dulce y yuca amarga en su Banco de Germoplasma, provenientes de 61 países tropicales de África, Asia y América, número que representa el 95% del total de variedades existentes en el mundo (Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], 2022). El Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para

Trópicos Semiáridos (ICRISAT) con sede en Hyderabad, India, ha investigado la yuca en colaboración con el CIAT para zonas tropicales, pobres y semiáridas. Sin embargo, también prospera en zonas de alta precipitación, siempre y cuando sus raíces no estén en aguas estancadas (Schwerin, 1970). La figura 5 ilustra y menciona las diferencias entre yuca dulce y yuca amarga.

**Figura 5.** Comparación entre yuca dulce y yuca amarga



**Fuente:** Tomado de Sulbarán Lovera (2017)

### Producción de yuca a nivel mundial y en Colombia

La tabla 6 muestra los diez países con las mayores producciones de yuca (en toneladas/año) a nivel mundial en el 2019 para consumo humano y animal, siendo países africanos y del sureste asiático los mayores productores, exceptuando a Brasil que ocupa el quinto puesto. Es importante resaltar

que dichos países podrían invertir en la siembra de yuca amarga para una futura producción de Etanol debido a sus condiciones de suelo y clima aptas para el cultivo de la yuca.

**Tabla 6.** Los diez países mayores productores de yuca dulce (en toneladas/año) en 2019

País	Producción	Porcentaje
Nigeria	59.193.708	19.5%
República Democrática del Congo	40.050.112	13.2%
Tailandia	31.079.966	10.2%
Ghana	22.447.635	7.4%
Brasil	17.497.115	5.8%
Indonesia	14.586.693	4.8%
Camboya	13.737.921	4.5%
Vietnam	10.105.224	3.3%
Angola	9.000.432	3.0%
República Unida de Tanzania	8.184.093	2.7%

**Fuente:** Tomado de Bastida Cañada (2021)

En Colombia, la yuca se cultiva en todos sus departamentos, siendo las principales regiones productoras las zonas cálidas de Bolívar, Córdoba, Magdalena, Sucre, Cauca, Norte de Santander, Santander, Meta y Chocó. Es así como el cultivo de yuca dulce, para consumo humano y animal, es muy grande. Según los datos del Ministerio de Agricultura, las áreas sembradas en yuca crecieron en un 7.3% y su producción se incrementó en 34.7% entre 2015 y 2020 (tabla 7) y se calcula que anualmente se establezcan 19.000 hectáreas de nuevos cultivos en el país.

**Tabla 7.** Incremento del cultivo de yuca en Colombia 2015-2020

Año	Área Sembrada (ha)	Área Cosechada (ha)	Producción (t)
2015	203.677	172.978	1.842.111
2016	218.932	194.545	2.130.160
2017	214.111	190.851	2.148.094
2018	206.730	186.640	2.116.433
2019	217.725	209.321	2.443.312
2020	218.521	209.740	2.481.183

**Fuente:** Adaptado de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MinAgricultura, 2021)

La tabla 8 muestra el crecimiento en siembra de yuca dulce y amarga en Colombia entre 2018 y 2020, representando la yuca dulce el 95% del área sembrada y la yuca amarga solo el 5%.

**Tabla 8.** Siembra de yuca dulce y yuca amarga en Colombia 2018-2020

Variedad	2018	2019	2020	Participación
Yuca dulce	197.127	207.765	207.732	95%
Yuca Amarga	9.604	9.959	10.789	5%
Total	206.730	217.725	218.521	100%

**Fuente:** Adaptado de MinAgricultura (2021)

### **Características y ventajas de la yuca amarga para la producción de Etanol**

Las características y ventajas de la yuca amarga para la producción de etanol son las siguientes:

- Resistente a sequías, adaptada y productiva en suelos pobres, ácidos e infértiles, con mínimos requerimientos de agua, como se dijo antes y el tubérculo puede almacenarse dentro del suelo por mucho tiempo sin que se deteriore.
- No apta para consumo humano ni animal por su contenido en cianuro, ácido cianhídrico y taninos que pueden ser letales.

### **Potencial del cultivo de yuca amarga para la producción de Etanol en Colombia**

Colombia ofrece una amplia área potencialmente útil para siembra de yuca amarga en suelos pobres, ácidos e infértiles de los departamentos de clima cálido. Sin embargo, el potencial de cultivo de yuca amarga para la producción Etanol no se ha cuantificado. Existe un proyecto privado de 22.000 hectáreas para la producción de Etanol en el departamento del Meta denominado “*Proyecto Cantaclaro*” desarrollado por la empresa internacional GPC con planes de ampliación

de nuevas plantas de Etanol en Colombia. El interés del Gobierno Colombiano en invertir en plantas de producción de Etanol con base en yuca amarga es fundamental porque, por un lado, generaría un incremento en el abastecimiento de Etanol para consumo local y para exportación, y por el otro, aumentaría la capacidad productiva y el empleo en poblaciones situadas en zonas pobres, acidas e infértiles de los departamentos mencionados.

***Proyecto Cantaclaro: planta de producción de Etanol utilizando yuca amarga en Meta – Colombia***

El *Proyecto Cantaclaro* es una planta de carácter privado para la producción agroindustrial de Etanol utilizando yuca amarga. Está ubicada en el municipio de Puerto López, departamento del Meta, Colombia, que operó hasta el 2010 por la empresa internacional de servicios petroleros *Grupo Petrotesting Colombia (GPC)*. Esta planta tiene una capacidad de producción de 20.000 lts de Etanol por día, con un rendimiento de 185 lts de Etanol/tonelada cosechada de yuca. Ocupa un área de 2.300 hectáreas para la siembra de yuca e instalaciones de la planta.

Este proyecto con sus características únicas ha permitido contribuir económica, social y ambientalmente a la región y al país, debido a su generación de empleo directo e indirecto en el sector agrícola e industrial, creando una construcción social en esta zona azotada por varios años por la violencia del país, apoyando a la generación de paz. El *Proyecto Cantaclaro* generó en el año 2010, 204 empleos directos que trabajaron en la siembra, cosecha y procesamiento de 30 a 45 ton/ha de yuca amarga, de tres variedades, generando una producción de 185 lts de Etanol/ton de yuca cosechada, como se mencionó anteriormente.

La empresa GPC tiene planes de ampliar su inversión en el *Proyecto Cantacclaro* con 3 plantas nuevas en la región, con un área de 60.000 hectáreas, generando 8.000 empleos directos para producir 1'125.000 lts de Etanol por día. Los beneficios del *Proyecto Cantacclaro* a la región comprenden: generación de empleo y de tejido social, aumento de la productividad en el sector agrícola, creación de polos de desarrollo regional, ofrecimiento de una alternativa viable a la siembra de cultivos ilícitos y mejoramiento de la productividad de las tierras pobres, acidas e infértiles del Piedemonte caqueteño y Llanos Orientales de Colombia (Londoño, 2009).

### **Política Internacional y Colombiana sobre la Industria del Etanol**

**Política Internacional.** El Protocolo de Kioto, firmado en 1997 por más del 55% de los países del mundo y más del 55% de los países industrializados, liderado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, su sigla en inglés) compromete a los países industrializados bajo penalidad económica u otras alternativas, a reducir en determinada proporción -dependiendo del período de cumplimiento (2008-2012 y 2013-2020)- sus emisiones de GEI. El Protocolo de Kioto, que está en vigencia, compromete a los países firmantes a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para reducir sus emisiones de GEI.

En la última Cumbre Mundial de Cambio Climático, UNFCCC COP26, Glasgow 2021, se confirmó por los 200 países participantes, que el uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) es la principal fuente de emisiones de GEI causantes del cambio climático. Si la comunidad internacional quiere lograr el objetivo del Acuerdo de París adoptado en 2015, de limitar el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2 °C con respecto a la era preindustrial y del acuerdo de la Cumbre Climática de Madrid 2019 de limitar el aumento de

la temperatura media mundial a 1.5 °C con respecto a la era preindustrial, es necesario acelerar la transición del uso de combustibles fósiles a energías renovables y otras energías limpias como es el caso los biocombustibles: Etanol y Biodiesel (no se fijó un plazo). Se acordó en el *Pacto de Glasgow* que las emisiones mundiales de GEI deberán reducirse en un 45% antes del 2030.

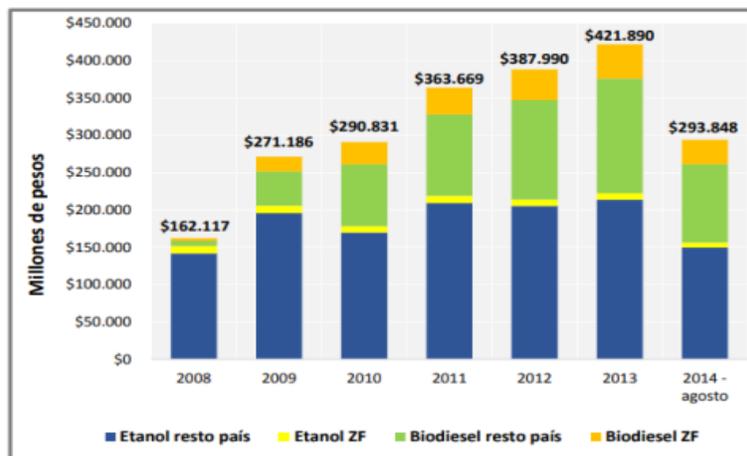
**Política Colombiana.** Colombia, con la ley 693 del 2001 hace obligatorio el uso del Etanol en mezcla con gasolina, creando estímulos para su producción, comercialización y consumo (Congreso de la República de Colombia, 2022b). Años después, con la Ley 939 de 2004 estimula la producción y comercialización de los biocombustibles, específicamente el Biodiesel. A partir de ese año, el territorio nacional empezó su producción para cubrir la demanda colombiana debido a las exigencias del gobierno y permitió, mediante el “*Plan Nacional de Desarrollo Estado Comunitario: desarrollo para todos*” 2006-2010, una estabilidad financiera y abastecimiento energético a partir de los biocombustibles. La Industria Azucarera inició la producción de Etanol utilizando caña de azúcar en el 2005 (Carvajal, 2007). La “*Política de crecimiento verde*”, expuesta por el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2019) en el Documento CONPES 3934 de 2018, estimula la productividad y competitividad económica del país mediante un uso sostenible del capital natural y la inclusión social.

La resolución 40111 del 2021, establece de manera obligatoria la mezcla entre un 10% y 12% de etanol con gasolina. La caña de azúcar, como insumo principal del Etanol, suple la demanda colombiana (Ministerio de Minas y Energía et al., 2021). El MinAgricultura (2021b) lanzó el plan “*Yuca país*” para volver más competitivo el cultivo de la yuca a 2025, abordando específicamente la yuca amarga como materia prima para la producción de etanol.

## Incentivos para las industrias de biocombustibles en Colombia

Segura Sáenz (2019) el principal incentivo tributario para el sector de biocombustibles, apoyando mezclas obligatorias con gasolina y diésel, es la exención del Impuesto al Valor Agregado (IVA) al Etanol y Biodiesel mediante la Ley 788 de 2002 apoyado por la Ley 1943 de 2018 (Congreso de la República de Colombia, 2022c, 2022a). La Figura 6 muestra el valor en millones de pesos de las exenciones tributarias al sector de biocombustibles, dinero que ha dejado de recaudar el Estado.

**Figura 6.** Exenciones tributarias para biocombustibles



**Fuente:** Tomado Segura Sáenz (2019, p. 14)

## Viabilidad de reactivación del proyecto Cantaclaro y sus posibles expansiones/plantas en los Llanos Orientales de Colombia

Desde el 2010 la planta de producción de Etanol con base de Yuca Amarga del proyecto Cantaclaro en Puerto López, Meta está inactiva. El departamento desea volver reactivar su producción con los beneficios económicos, sociales y ambientales que esa planta venía generando. Los Llanos

Orientales cuentan con áreas propias para la siembra de Yuca Amarga y tiene el potencial de reactivar la producción de Etanol con base en este cultivo.

Como se explicó anteriormente en este documento, según MinAgricultura (2019), la producción de yuca se realiza en todos los 32 departamentos, siendo los más importantes los de la Costa Atlántica, Llanos y el Cauca, contando con 209.700 hectáreas sembradas que producen 2.4 millones de toneladas de yuca al año, 95% de yuca dulce y 5% de yuca amarga. Esta se puede cultivar en dichas zonas, específicamente en los Llanos Orientales. Sin embargo, se requiere de incentivos del estado para su cultivo y aprovechamiento – ya utilizándola para sustitución de almidones procesados de maíz por almidones de yuca, o para la producción de Etanol.

El MinAgricultura acompaña técnicamente el proceso de conformación de la “*Cadena Nacional de la Yuca Amarga*” y avanza con el llamado plan “*Yuca País*”. Ambas estrategias abren posibilidades de producción de Etanol con base en Yuca Amarga en los Llanos Orientales, otorgando validez a la expansión del producto, como también a su investigación (MinAgricultura, 2021b). Por lo anterior, se ve viable la construcción de plantas de obtención de Etanol utilizando yuca amarga en los Llanos Orientales.

### **Producción y oferta nacional de Etanol, 2021**

En 2021 Colombia presentó una disminución en la producción y en la oferta nacional de Etanol por 4 aspectos principales que no han permitido el cumplimiento de la política presentada anteriormente de mantener la mezcla de 90% de gasolina y 10% de Etanol (E10). 1) Altos costos de logística y producción de la caña de azúcar por parte de los productores colombianos; 2)

decrecimiento en los rendimientos de los cultivos de caña por la temporada de lluvias (Semana, 2022). 3) Aumento de los subsidios otorgados en Estados Unidos a los productores locales lo cual incremento las importaciones de Etanol proveniente de Estados Unidos hacia Colombia, con detrimento de la producción nacional, 4) baja medida compensatoria del Estado colombiano a productores locales de Etanol (0.13 centavos de dólar/galón) que han influido de manera drástica en la disminución de la oferta nacional, por ende, un mayor porcentaje de importación y un incremento en su precio.

Por lo anterior, es necesario cubrir dicho desabastecimiento, causante de que se importe el 40% de la demanda nacional (La República, 2021). Por lo que, se contempla la viabilidad de reactivar el proyecto "Cantaclaro" y sus expansiones, para satisfacer la demanda local e idealmente poder exportar Etanol. El uso de terrenos improductivos en la región del Meta y/o Vichada pueden ser el medio de expansión del área de cultivo de la Yuca Amarga para este fin.

### **Consumo Promedio de gasolina y de Etanol en Colombia año 2021**

Según (Asociación Colombiana del Petróleo y Gas, 2021) el consumo promedio de gasolina en el año 2021 fue de 142 mil barriles al día (KBD), - un barril = 42 galones y un galón = 3,8 litros – es decir un barril = 160 litros. Esto implica que la demanda nacional es de 22,7 millones de litros/día. Si el 10% corresponde a Etanol, la demanda nacional de Etanol es de 2,3 millones de litros/día, de donde el 40% (903.120 litros/día) se importa.

La planta de producción de Etanol utilizando yuca amarga del Proyecto Cantaclaro en Meta – Colombia, con 2.300 ha de área total, 805 ha sembradas de yuca, con 3,5 ha de requerimiento, produjo 20 mil litros/día de etanol.

Según las proyecciones de crecimiento del grupo empresarial GPC (Petroleum Colombia) de construir 3 plantas más, con un área de 60 mil ha de yuca sembrada, se obtendría 1'125.000 litros/día de Etanol. Esta cifra supera las importaciones de Etanol de Colombia en el 2021, de 903,120 litros/día, dejando un excedente de 221,880 litros/día correspondiente a el 25% de las importaciones totales. Esto nos permite concluir que con 60 mil ha sembradas en Yuca Amarga en zonas pobres, ácidas e infértiles y actualmente improductivas, en cualquier región de los Llanos Orientales la producción de Etanol satisfaría las importaciones totales y dejaría un 25% de margen para exportar Etanol.

Las regiones del Meta y/o Vichada, son territorios caracterizados por suelos pobres, ácidos e infértiles y con grandes cantidades de tierra improductivas y dedicadas a la siembra de cultivos ilícitos. El departamento de Vichada por ejemplo, tiene 1,4 millones ha las cuales albergan suelos aptos para la siembra y cultivo de Yuca Amarga (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2016). Por lo tanto, las 60 mil hectáreas estimadas por el grupo GPC se podrían identificar en esta zona generando alrededor de 8.000 empleos directos y muchos más de manera indirecta. Además, contribuyendo a una opción de sustitución de cultivos ilícitos creando empresas éticas y productivas.

## **Conclusiones**

En resumen, este proyecto de grado puede concluir que la industria mundial petrolera, es la mayor generadora de GEI con un 75% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>, causante del cambio climático y problemática ambiental en general. Teniendo diferentes políticas internacionales que buscan limitar la temperatura global y reducir los GEI en un 45% antes del 2030. Por la cual ha surgido la industria de los biocombustibles/etanol como reemplazo parcial de la gasolina.

Colombia también hace parte de la búsqueda de mitigación de los GEI y esto se observa mediante diferentes leyes, resoluciones e incentivos para la industria. Sin embargo, actualmente se presenta una problemática de cumplimiento con la política E10% disminuyendo su mezcla hasta el 2%. Es por ello que se observa la viabilidad de reactivación del proyecto Cantaclaro y sus expansiones/plantas a través de inversión nacional y extranjera, puesto que el terreno a usar es apenas del 4.3% del total de las hectáreas improductivas del Vichada, apoyado con planes como el de yuca país. Además de cubrir el total de las importaciones, también se obtiene un excedente de producción del 25% que permite el cumplimiento de la política E10 y con posibilidad de aumento a una política E12 o ser exportado.

## Referencia

- Alvarez, J. M. (2017). *EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL SECTOR DE GAS Y PETRÓLEO EN ARGENTINA: Situación y Perspectivas* [UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES Buenos Aires, Argentina]. <https://www.ceare.org/tesis/2017/tes18.pdf>
- Arenas, J. M. (2022). *¿Qué objetos de nuestra vida diaria son derivados del petróleo?* GeoInnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/objetos-derivados-del-petroleo/>
- ACP (2017). *EVOLUCIÓN 2021 Y PERSPECTIVAS 2022-2030 DEL MERCADO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN COLOMBIA* [Colombia]. <https://acp.com.co/web2017/es/publicaciones-e-informes/economicos/842-informe-economico-evolucion-2021-y-perspectivas-2022-2030-del-mercado-de-combustibles-liquidados-en-colombia/file>
- ACP (2019). *IMPORTACIONES DE ETANOL, RESPALDO A LA PRODUCCIÓN NACIONAL* [Colombia]. <https://acp.com.co/web2017/es/informes/633-informe-economico-importaciones-de-etanol-respaldo-a-la-produccion-nacional/file>
- Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2019, March 26). *La matriz energética de Colombia se renueva*. <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/>
- Bastida Cañada, O. A. (2021). *Países productores de yuca en 2019*. Blog Agricultura. <https://blogagricultura.com/paises-productores-yuca-2019/>
- Carvajal, A. (2007). *Energía: La nueva agenda del sector azucarero*. Análisis Estructural 2006 - 2007 Por Asocañas. <https://www.asocana.org/StaticContentFull.aspx?SCid=167>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA]. (2020). *La producción y el comercio de los biocombustibles en México y en el mundo*. [http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/56Producción\\_y\\_comercio\\_de\\_biocombustibles.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/56Producción_y_comercio_de_biocombustibles.pdf)
- Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]. (2022). *Conservación y uso de cultivos*. Banco de Germoplasma. <https://ciat.cgiar.org/lo-que-hacemos/conservacion-y-uso-de-cultivos/?lang=es>
- Congreso de la República de Colombia. (2022a). *LEY 1943 DE 2018*. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30036049>
- Congreso de la República de Colombia. (2022b). *LEY 693 DE 2001: por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=19114>
- Congreso de la República de Colombia. (2022c). *LEY 788 DE 2002*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=7260>

- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2019). *POLÍTICA DE CRECIMIENTO VERDE DOCUMENTO CONPES 3934 DE 2018*. [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Política CONPES 3934/Resumen Política de Crecimiento Verde - diagramación FINAL.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Política%20CONPES%203934/Resumen%20Política%20de%20Crecimiento%20Verde%20-%20diagramación%20FINAL.pdf)
- Federación Nacional de Biocombustibles [FEDEBIOCOMBUSTIBLES]. (2021a). *Etanol*. [https://www.fedebiocombustibles.com/main-pagina-id-4-titulo-proceso\\_de\\_los\\_biocombustibles.htm](https://www.fedebiocombustibles.com/main-pagina-id-4-titulo-proceso_de_los_biocombustibles.htm)
- Federación Nacional de Biocombustibles [FEDEBIOCOMBUSTIBLES]. (2021b). *Preguntas Frecuentes de los Biocombustibles*. <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>
- Foro de la Industria Nuclear Española, F. N. (2021). *¿Qué es el petróleo y qué usos tiene?* <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-el-petroleo-y-que-usos-tiene/>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2020). *Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020*. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/13974/BVE20128304e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IGAC (2016). *Vichada, un territorio apto para cultivos y ganado pero con restricciones y grandes inversiones*. Gobierno de Colombia. <https://igac.gov.co/es/noticias/vichada-un-territorio-aptopara-cultivos-y-ganado-pero-con-restricciones-y-grandes>
- Legiscomex. (2007). *BIOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA*. [https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos/PDF/estudio\\_biocombustiblesfinal1.pdf](https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos/PDF/estudio_biocombustiblesfinal1.pdf)
- Londoño, J. G. (2009). *Proyecto Cantaclaro comenzará producción de 20.000 litros diarios de alcohol carburante en Puerto López (Meta)*. El Espectador. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4846026>
- La República (2021). *Aumento de 10% a 12% en mezclas de biodiésel en los combustibles se incumplió*. Revista La República. <https://www.larepublica.co/economia/aumento-de-10-a-12-en-mezclas-de-biodiesel-en-los-combustibles-se-incumplio-3226134>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MinAgricultura]. (2019). *Subsector Productivo de la Yuca: dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales*. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2019-06-30 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MinAgricultura]. (2021a). *Cadena Productiva de la Yuca*. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2021-03-31 Cifras Sectoriales yuca.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales%20yuca.pdf)

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MinAgricultura]. (2021b). *Minagricultura lanzó 'Yuca País', un plan que contempla 5 puntos para volver más competitivo el cultivo de la yuca a 2025*. [https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Minagricultura-lanzó-'Yuca-País',-un-plan-que-contempla-5-puntos-para-volver-más-competitivo-el-cultivo-de-la-yuca-a-2025-.aspx#:~:text=19%2F08%2F2021-,Minagricultura lanzó 'Yuca País'%2C un plan que cont](https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Minagricultura-lanzó-'Yuca-País',-un-plan-que-contempla-5-puntos-para-volver-más-competitivo-el-cultivo-de-la-yuca-a-2025-.aspx#:~:text=19%2F08%2F2021-,Minagricultura%20lanzó%20'Yuca%20País'%2C%20un%20plan%20que%20cont)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina. (2021). *Mitigación o reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. Cambio Climático, Desarrollo Sostenible e Innovación. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/mitigacion>
- Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MinAgricultura], & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente]. (2021). *Resolución 40111 del 2021*. <https://medioambiente.ueexternado.edu.co/wp-content/uploads/sites/19/2021/07/PDF-Resolucion-40111-de-2021.pdf>
- Olmedo, F. (2021). *¿Cuáles son las ventajas y las desventajas de usar etanol en lugar de gasolina? Biocombustibles, bioetanol*. Biodisol. <https://www.biodisol.com/biocombustibles/cuales-son-las-ventajas-y-las-desventajas-de-usar-etanol-en-lugar-de-gasolina-o-nafta-biocombustibles-bioetanol/>
- PetroPerú, S. A. (2022). *Usos del Petróleo*. Museo Del Petróleo. <https://museo.petroperu.com.pe/usos-del-petroleo/>
- RunRun Energético. (2020). *LA ERA DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES CONTINUARÁ POR VARIAS DÉCADAS*. <https://www.runrunenergetico.com/la-era-de-los-combustibles-fosiles-continuara-por-varias-decadas/>
- Sánchez, C. (2021). *MATRIZ-ENERGETICA-MUNDIAL-2020-ALIMENTOS-Y-PODER-CLARA-SANCHEZ.PNG*. <https://misionverdad.com/file/2515>
- Schwerin, K. (1970). *Apuntes sobre la Yuca y sus Orígenes*. Universidad de Nuevo Mexico. [https://www.academia.edu/17002083/Apuntes\\_sobre\\_la\\_Yuca\\_y\\_sus\\_Origenes](https://www.academia.edu/17002083/Apuntes_sobre_la_Yuca_y_sus_Origenes)
- Segura Sáenz, H. (2019). *Incentivos a actividades económicas consolidadas en Colombia: El caso de los biocombustibles como el Etanol y el Biodiesel* [Universidad Católica de Colombia]. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23787/1/Artículo Bios \(2\).pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23787/1/Artículo%20Bios%20(2).pdf)
- Sulbarán Lovera, P. (2017). *Qué es la yuca amarga que vinculan con varias muertes en Venezuela y por qué es tan peligrosa*. BBC Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-39213495>
- Semana (2022). *Por escasez, gasolina se venderá en Colombia con menor mezcla de etanol*. Revista Semana. <https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/por-escasez-gasolina-se-vendera-en-colombia-con-menor-mezcla-de-etanol/202207/>

United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC]. (2021). *Climate Change Conference COP26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>