

Pasado, presente y perspectiva del Bioetanol en Ecuador

Ana Macias-Mendoza^{1*}; Jean Pérez-Parra²; Julio Torres-Puentes³

Resumen

Desde 2010 en Ecuador se estableció como política energética la utilización de gasolina con 10% de bioetanol, esto en favor de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; sin embargo, hasta la fecha se comercializa gasolina con 5% de bioetanol solo en ciertas provincias del país. El objetivo de este estudio fue evaluar el desarrollo de la industria del bioetanol en Ecuador en la última década y su perspectiva hacia el futuro, para ello se presenta el marco legal sobre biocombustibles en el país, así como un análisis de datos e informes de la empresa EP Petroecuador que determinan la trayectoria de la industria del bioetanol en el país entre 2010 y 2020, además se realizó un análisis bibliográfico de diferentes estudios realizados sobre la obtención de bioetanol a partir de diferentes materias primas, así como de pruebas de funcionamiento realizadas en vehículos de diferentes marcas con gasolina Ecopaís. Con base en la información revisada, se concluyó que Ecuador puede optar por otras materias primas para la producción de bioetanol, siguiendo experiencias de otros países, para de esta manera poder cumplir con el objetivo de proveer a todo el país, gasolina con un 10% de bioetanol.

Palabras claves: Bioetanol, gasolina Ecopaís, biocombustibles, producción.

Past, present and perspective of Bioethanol in Ecuador

Abstract

In 2010, Ecuador established as an energy policy the use of 10% bioethanol from sugar cane as an additive to commercial gasoline, to act in favor of the reduction of the greenhouse effect, the reduction of acid rain and the reduction of emissions from different transports; However, to date only 5% is sold in certain provinces of the country (Ecopaís gasoline). The objective of this study is to evaluate the development of the bioethanol industry in Ecuador in the last decade and its perspective towards the future. In this research work, the legal framework around biofuels is presented, and through the analysis of data and reports from the company EP Petroecuador, it was possible to determine the path followed by the bioethanol industry in the country between the years 2010 - 2020. In addition, in a bibliographic analysis of several authors, it was possible to obtain different studies on the production of bioethanol from different raw materials and tests that have been carried out on vehicles of different brands with Ecopaís gasoline. Based on the information reviewed, it is concluded that in Ecuador you can choose other types of raw material for the production of bioethanol, following experiences from other countries, in this way it will be possible to supply the entire country with 10% gasoline. of bioethanol.

Keywords: Ethanol, Ecopaís, biofuels, production.

Recibido: 8 de abril de 2022

Aceptado: 31 de julio de 2022

^{1*} Ingeniera Química, Docente en la Unidad Educativa Albertina Rivas Medina en la ciudad de Santa Ana, Manabí, Ecuador. amacias041375@utm.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-8956-9476>

² Doctor en Ciencias, mención Química, Profesor principal I de la Universidad Técnica de Manabí (UTM). Perteneciente al grupo de investigación en Química Ambiental del Instituto de Ciencias Básicas de la UTM, Portoviejo, Manabí, Ecuador. jean.perez@utm.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-7971-1782>

³ Doctor en Química, Profesor principal I de la Universidad Técnica de Manabí (UTM), Portoviejo, Ecuador. julio.torres@utm.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-1290-5240>

Autor de correspondencia: amacias041375@utm.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

La demanda mundial de energía ha aumentado debido al desarrollo industrial y de las sociedades. En consecuencia, esto ha generado un aumento en la demanda de combustibles fósiles (Gwak et al., 2018).

Los combustibles fósiles constituyen más del 80% del suministro energético mundial. Su combustión libera importantes gases de efecto invernadero a la atmósfera. Los niveles de estos gases han aumentado drásticamente en los últimos años, provocando el calentamiento global, aumento del nivel del mar y temperaturas medias anuales (Mansouri et al., 2016).

Según Naik et al. (2010), los biocombustibles producidos a partir de desechos orgánicos o plantas podrían ayudar a reducir tanto la dependencia mundial de la producción de petróleo como las emisiones de CO₂. Esto puede deberse a que el CO₂ liberado en la combustión es igual al absorbido por la planta durante la fotosíntesis y, por lo tanto, no aumenta el existente en la atmósfera; formando así, parte del ciclo del carbono.

La necesidad de diversificar las fuentes de energía y utilizar los recursos locales para la producción de bioetanol, en el orden social ha creado más puestos de trabajo debido a que es necesario contratar nueva mano de obra (Noboa et al., 2019).

En América Latina, de todos los biocombustibles conocidos, sobre el que se tiene mayor interés es en el bioetanol; para lo cual, Ecuador en el 2010 al ser signatario del Protocolo de Kioto, consideró no solo ratificarlo, también decidió actuar a favor de la reducción de emisiones de gases que producen el efecto invernadero y la lluvia ácida, y de la disminución de emisiones de los diferentes medios de transporte, al establecer como política energética, la utilización de biocombustibles como el etanol, promoviendo con ello la preservación del medio ambiente; de esta manera se aprovechó la agricultura del país, con elevado potencial para los productos del sector primario, los cuales ayudaron a fortalecer la seguridad energética, en la búsqueda de sustituir los combustibles fósiles (Castro-Armijos et al., 2017; Morán-Coello & Gallardo-Campoverde, 2015).

La propuesta de comercializar bioetanol que se

implantó por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en el Ecuador, comenzó con políticas que promovían el uso de energías renovables y el desarrollo de la industria nacional de energías limpias. Estas se obtienen de recursos naturales que normalmente suelen ser inagotables, y en el caso del Ecuador, la producción de biocombustible se realiza a partir de la caña de azúcar (Navas Jurado, 2014).

El gobierno ecuatoriano se planteó producir bioetanol, e incorporarlo en la gasolina hasta alcanzar un 10% de este componente en el combustible, pero a la fecha solo se comercializa gasolina con 5% de bioetanol, y ésta aún no se ofrece en todas las provincias del país. En este estudio se revisa el avance de la producción de bioetanol desde el 2010 hasta la actualidad, y se plantean las perspectivas u oportunidades que presenta el Ecuador para la producción de bioetanol hacia el futuro, con base en la capacidad de producción de las diferentes materias primas requeridas para la obtención de este biocombustible.

Metodología

La metodología que se aplicó para desarrollar la investigación se basa en investigación descriptiva, ya que en la misma se realiza un proceso de búsqueda, recolección y análisis de la información; con el fin de presentar un panorama general de la cronología de la producción de bioetanol en el Ecuador, así como de la producción y demanda de las diferentes materias prima con potencial uso para la producción de bioetanol en Ecuador, para finalmente presentar que opciones podrían considerarse en Ecuador para alcanzar el porcentaje de bioetanol establecido para la gasolina en 2010 (10%).

Desarrollo Marco Legal

El marco legal que regula la producción de biocombustibles lo rige la Constitución Nacional, leyes y reglamentos ambientales y los diferentes decretos ejecutivos. (Reyes Cedeño, 2011). La Constitución declara en el artículo 15:

El Estado tomará las medidas orientadas a promover en el sector público y privado el uso de tecnologías limpias y de energías

alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. (Constituyente, 2008, p. 13)

El Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, dispone en el artículo 67 que:

En la producción de combustibles, la calidad podrá ser mejorada mediante la incorporación de aditivos en refinerías y/o terminales. Se preferirá y fomentará el uso de aditivos oxigenados tal como el etanol anhidro a partir de materia prima renovable. (GobiernodelEcuador, 2001, p. 38)

Según Gallardo & Saúl (2018), el 28 de septiembre de 2012, se emite el Decreto Ejecutivo No. 1303, el cual establece en su artículo 1, que “Es de interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país como medio para el impulso del fomento agrícola. Se dispone que la producción, el uso y el consumo de los biocombustibles responderán a una estrategia inclusiva de desarrollo rural, precautelando la soberanía alimentaria y sostenibilidad ambiental” (p 17).

Además, Martínez Olaya (2018) afirma que en el Acuerdo Ministerial 135 del Reglamento para Autorización de actividades de Comercialización de Mezclas de Combustibles del Ecuador, se autoriza las actividades de comercialización de mezclas de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos con biocombustibles (p 40).

A partir de lo anteriormente expuesto se puede establecer que el marco legal en relación a los biocombustibles en Ecuador contempla las medidas orientadas a promover tecnologías limpias y de energías alternativas no contaminantes, para lo cual se prefiere y fomenta el uso de aditivos oxigenados tal como el etanol anhidro a partir de materia prima renovable en la producción

de combustibles, precautelando la soberanía alimentaria y sostenibilidad ambiental.

Bioetanol

El bioetanol también denominado como etanol, alcohol carburante, etanol anhidro o alcohol etílico, es un alcohol líquido de fórmula química C_2H_5OH (Reyes Soriano, 2016), ha sido utilizado como potenciador de gasolina o combustible (Castro-Martínez et al., 2012). Este alcohol se obtiene a partir de la fermentación de la caña de azúcar u otras materias orgánicas. Comercialmente se puede disponer gasolinas E5 (5% de etanol) a E15 (15% de etanol) (Pillajo, 2020), al aumentar el contenido de etanol en la mezcla, se reduce el impacto contaminante (Callejas & Quezada, 2009).

Los procesos de producción de bioetanol dependen de la biomasa y su composición química (Figura 1). Actualmente, en la producción masiva de bioetanol, se utilizan tres tipos de materias primas o materiales:

- Productos con gran cantidad de sacarosa como caña de azúcar, remolacha, melazas o sorgo dulce.
- Productos con gran cantidad de almidón como maíz, patata o mandioca.
- Productos con gran cantidad de celulosa como madera o residuos agrícolas (Martínez Olaya, 2018). Para la biomasa lignocelulósica, se debe realizar un pretratamiento para mejorar la eficiencia general del proceso al reducir la cantidad de lignina, hemicelulosa y la celulosa cristalina; y aumentar el área utilizada en la etapa de la hidrólisis enzimática. Estos métodos y técnicas de pretratamiento pueden ser físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas, cada una con sus propias fortalezas, debilidades y alcance (Avila et al., 2020).

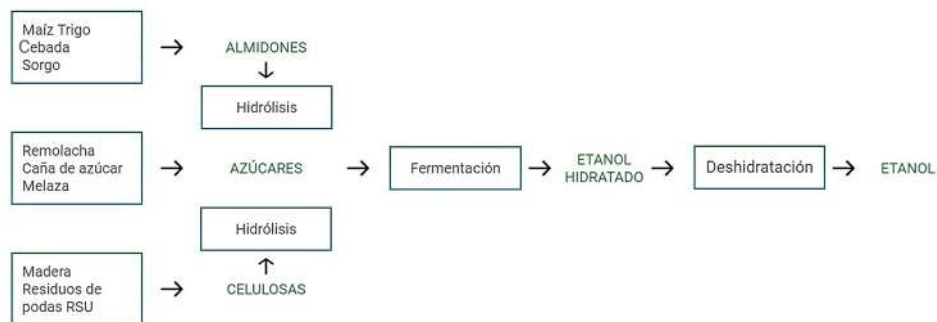


Tabla 1. Proceso de producción de bioetanol.

Fuente: Seaboard, 2021.

Según la materia prima que se utiliza para producir biocombustibles, estos pueden ser de primera, segunda o tercera generación. Los de primera generación se obtienen de productos que también se utilizan como fuente de alimentación, como por ejemplo frutos, tubérculos, jugos, etc. Los de segunda generación se procesan a partir de materiales lignocelulósicos como hojas, aserrín, pastos y residuos agrícolas; y los de tercera generación a partir de algas (Beckman, 2013; Zamora-Hernández et al., 2014). Los avances biotecnológicos han permitido obtener una cuarta generación de biocombustibles (4G), los cuales utilizan organismos genéticamente modificados (OGM), lo cual ayuda a una mayor captura de CO₂ (Ramos et al., 2016).

La perspectiva global para los biocombustibles en los próximos años dependerá de varios factores, incluidos los precios futuros del petróleo, la disponibilidad de materias primas más baratas, y la continuidad de las políticas públicas que fomentan la producción de biocombustibles (Castro-Martínez et al., 2012).

Producción de bioetanol en Ecuador.

El Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC), promueve actualmente la producción de gasolina Ecopaís E5, un biocombustible compuesto en un 95% de gasolina base, y en un 5% de etanol carburante, proveniente de la caña de azúcar; como parte de los cambios en la matriz productiva (Vanegas, 2017). Ecuador se encuentra en tercer lugar de los países latinoamericanos productores de bioetanol a partir de la caña de azúcar (Gómez, 2016), la cual es uno de los principales productos agrícola del país en

términos de producción y número de hectáreas cultivadas. La superficie de caña de azúcar cosechada en 2010 fue de 80 mil hectáreas, de las cuales el 60% son cultivadores de caña de azúcar y el 40% restante pertenece a los ingenios (Dominguez, 2011). Hasta el 2019, el 80% de la producción de caña de azúcar era para la obtención de azúcar y de alcohol, y este último utilizado principalmente para la fabricación de biocombustibles (América-economía, 2013; MAG, 2019). A partir de la caña de azúcar también se pueden obtener productos como biometanol, azúcares, biobutanol, bioetanol celulósico, polietileno, biodiésel, ácido poliláctico, alimentos para animales y otros tipos de compuestos (Silva et al., 2016). Según datos del Banco Central de Ecuador, la producción de la caña de azúcar aporta con el 1,4% al PIB nacional, generando más de 80 mil indirectos en la época de la cosecha y 30 mil empleos directos (Saragosín Lozada, 2016). La zonificación agrícola publicada por el Ministerio de Agricultura (MAG) identificó que las provincias con mayor producción de caña de azúcar son: Guayas 74%, Loja 12%, Cañar 7%, Imbabura 4%, Los Ríos 1% y Carchi <1% (Chiriboga et al., 2020).

Periodo 2010-2015.

El 11 de enero de 2010 se inició el plan piloto del programa de gasolina Ecopaís en la ciudad de Guayaquil, formado por 45% de nafta de alto octanaje (NAO), 50% de nafta bajo octanaje (NBO) y 5% de etanol (Morales Enríquez, 2010), y mediante el cual se pretendió reemplazar 250 mil galones diarios de gasolinas (Gomelsky et al., 2010). Paulatinamente se fue reemplazando a la gasolina Extra en varias provincias del país

(PETROECUADOR, 2017), la cual tenía 76% de nafta de alto octanaje que se importaba, con 24% de naftas de bajo octanaje (Pillajo, 2020). La gasolina Ecopais se comercializó al mismo precio de la gasolina Extra en Guayaquil, USD 1,46 por galón (Reyes Cedeño, 2011).

La producción de Ecopais a nivel nacional ha aumentado considerablemente desde que inicio el plan piloto en el 2010 con 644 337 barriles, siendo así que para el año 2015 se produjeron 4 368 153 (Figura 2).

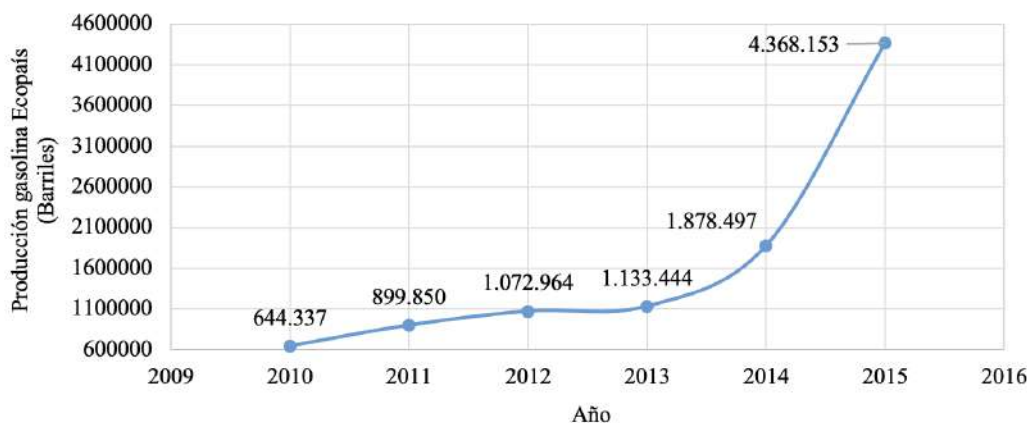


Figura 2. Producción Nacional de Gasolina Ecopais entre los años 2010-2015.

El proyecto Ecopais ha representado para Ecuador varios beneficios tanto económicos, como sociales y ambientales, entre estos destacan:

- Ahorro de USD 28 millones en subsidios, reducción en emisiones de CO2 a la atmósfera de 233 mil TM, lo que semeja a que todos los vehículos de la provincia de Cotopaxi dejen de circular un año y; ahorro en salida de divisas de 278 MM USD al sustituir NAO importado (Castilla & Ordoñez, 2017). Solo en los primeros tres años del proyecto Ecopais se generó un ahorro neto en divisas al país de 14 millones de dólares.
- El sector cañicultor y los productores de etanol se beneficiaron, ya que se promovió el desarrollo agroindustrial y aumentó el empleo rural. Para el año 2017, alrededor de 865 productores artesanales comercializaron sus productos al proyecto Ecopais (Pérez et al., 2017).

Periodo 2015-2020.

Con los resultados positivos del Plan Piloto, el gobierno de turno para el 2015 decidió ampliar el proyecto en todo el país (Vanegas, 2017), y así el 13 de mayo de ese año, se firmó el Decreto Ejecutivo 675; con el cual se aprobó la venta de la gasolina Ecopais en todo el país, con un costo de USD 1,48 el galón (Andrade, 2018); llegando a comercializarse en ocho provincias del país: Guayas, Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Santa Elena, Zamora Chinchipe, Loja, y El Oro. Además, también se vende en Bolívar y Morona Santiago (Torres, 2021).

El objetivo era que la comercialización y distribución se extendiera gradualmente a todo el territorio ecuatoriano, en función de la oferta de bioetanol anhidro grado carburante de producción nacional (EPPetroecuador, 2017).

Para el mismo año 2015 el consumo de gasolina Ecopais, en relación al total de los combustibles, fue del 40% en la provincia del Guayas, mientras que a nivel nacional este representó un 9% (Figura 3) (Castilla & Ordoñez, 2017).

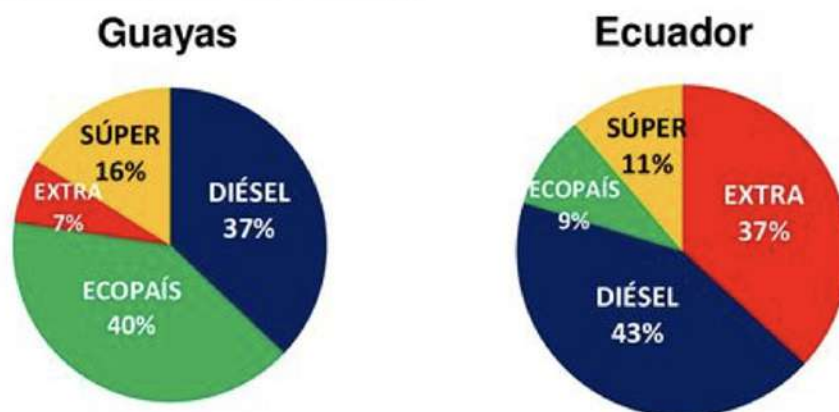


Figura 3. Consumo nacional de combustibles del año 2015.
Fuente: Castilla & Ordoñez, 2017.

En enero de 2016, Petroecuador en su nuevo proceso de contratación confirió a las empresas Codana S. A., Producargo S. A., Soderal S. A., y

Cado, nuevos volúmenes de litros de bioetanol, los cuales se presentan en la Tabla 1 (Zambrano Quimís, 2017).

Tabla 1. Volúmenes adquiridos por Petroecuador de empresas productoras de bioetanol.

Empresas	Millones de litros
Codana S.A.	19,90
Producargo S.A.	16,83
Soderal S.A.	15,97
Cado S.A.	4,90
Total	37,70

Fuente: Zambrano Quimís (2017, p. 35)

Al igual que en los años anteriores la producción de gasolina Ecopaís siguió aumentando (Figura 4), teniendo así en el año 2019 un total de 14 380 834 barriles; sin embargo, durante el año 2020 hubo una disminución de esta cifra. A continuación, se detalla las razones para dicha afectación:

Transporte de Crudo

Se produjo debido a un hundimiento de tierra en el límite entre las provincias Napo y Sucumbíos, en el sector de San Rafael lo que provocó el rompimiento de los Oleoductos SOTE y OCP, y también del Poliducto Shushufindi – Quito, a partir del 7 de abril hasta el 2 de mayo de 2020. Por

esta razón el transporte de crudo por el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano presentó un 9,0% menos con respecto al año 2019.

Exportación de Crudo

Debido a la rotura de los oleoductos las cifras de exportación de crudo Oriente y Napo fueron 4,4% menor con relación al año 2019.

Cargas de Crudo

Las cargas en refinerías fueron 17,9% menor con relación al 2019 (EPPETROECUADOR, 2020, p. 2).

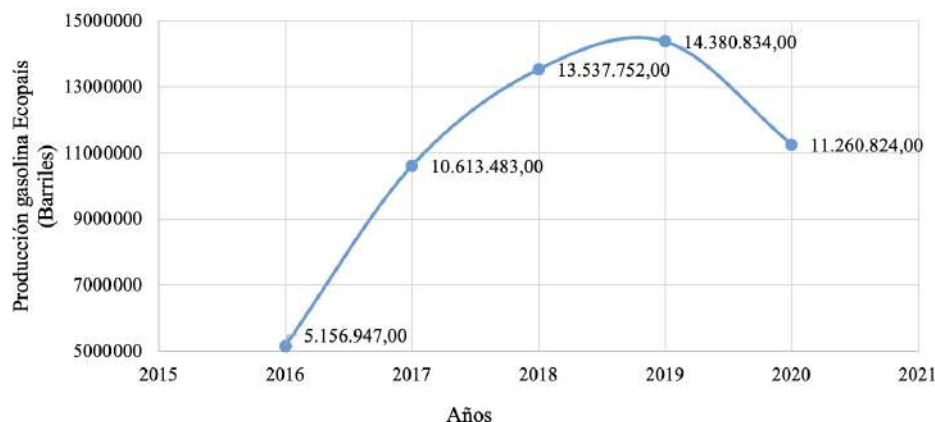


Figura 4. Producción nacional de gasolina Ecopais entre los años 2016-2020.

En junio de 2020, la demanda de combustibles tuvo un incremento del 55%, en comparación a abril, mes en el que hubo un máximo en la crisis sanitaria por la propagación del COVID 19 y además limitaciones de movilidad. (E. PETROECUADOR, 2020).

Para el período comprendido entre el 11 de octubre al 10 de noviembre de 2020, el precio de venta al público sugerido para la gasolina Ecopais fue de USD 1,75 (PETROECUADOR, 2020).

Perspectiva del bioetanol en el Ecuador.

A los inicios de la comercialización de la gasolina Ecopais, los usuarios mostraron cierta desconfianza hacia este producto, debido a que se creía que el mismo podría causar daños de

consideración al motor de los vehículos en los que se empleaba, fue por lo que se consideró necesario analizar el rendimiento de la gasolina Ecopais en varios modelos de vehículos. De igual manera, para el 2016, el gobierno de turno aseguró que la gasolina con etanol cumplía con los mismos patrones de la gasolina Extra, referente a potencia y precio, y que además brindaba otros beneficios como una mayor protección a los motores (Villafuerte & Pabon, 2017). Según Amaris et al. (2015) “La mayoría de los autos a gasolina soportan una mezcla de E5 y E10, sin necesidad de realizar cambios en los vehículos; el uso de mezclas superiores involucra cambios en los sistemas de alimentación y en algunas partes de los motores, que deben ser considerados previo a su uso” (p27) (Tabla 2).

Tabla 2. Bioetanol (en mezcla) comparado con la gasolina convencional.

Parámetro por comparar	Comportamiento
Beneficios de emisiones	Reduce las emisiones de monóxido de carbono. Comportamiento variable en cuanto a los óxidos de nitrógeno e inquemados. La emisión de aldehídos tiende a aumentar
Conversión del motor	Necesaria (con una mezcla mayor a E10)
Ajuste y regulación del motor	Necesaria (con una mezcla mayor a E10)
Torque	Aumenta
Potencia	Aumenta (9% con una mezcla E20)
Consumo	Aumenta (4% para mezclas E15)
Lubricidad	Disminuye
Respuesta del motor en condiciones invernales	Problemático
Corrosión	Aumenta en las partes metálicas y componentes de caucho
Temperatura de ignición	Disminuye Bioetanol: 363°C Gasolina: 456°C

Emisiones	Disminuyen Reducción de CO (monóxido de carbono) y HC (Huella de carbono) a medida que se aumenta el porcentaje de alcohol en la mezcla
-----------	---

Fuente: Amaris et al. (2015, p. 29)

Se han realizado diferentes estudios para la potencia y el torque de los vehículos a los cuales hicieron pruebas, además se disminuye las emisiones de algunos contaminantes ambientales (Tabla 3).

Tabla 3. Pruebas de la gasolina Ecopaís en vehículos de diferentes marcas.

Modelo de vehículo	Resultados	Referencia
Chevrolet Aveo Family	Con el uso del combustible Ecopaís el desarrollo del motor fue bajo, también existieron pérdidas de potencia en el arranque. Según los datos obtenidos de las pruebas, con la gasolina Ecopaís se obtuvo un menor porcentaje de emisiones de contaminantes como el CO en relación con el combustible Super.	Andrade, 2018
Volkswagen Gol 1.8	Se experimento con tres diferentes vehículos para lo cual, el que mejores resultados presentó en factores de emisión CO y HC en comparación con la gasolina Extra, fue el Chevrolet Gran Vitara 2.0. Sin embargo; la gasolina Extra mantuvo mejor resultado referente a los NOx medidos en frio, en este mismo vehículo.	Calero et al., 2018
Chevrolet Gran Vitara 2.0		
Mazda BT-50 2.2		
Grand Vitara SZ de la línea SUV	En este estudio se concluye que la gasolina Ecopaís y la Extra presentan valores parecidos en el porcentaje de HC. A su vez la gasolina Ecopaís presenta condiciones similares respecto a las emisiones de CO. Para este estudio se toma en cuenta algunos elementos que influyen en estos resultados como el octanaje del combustible, la humedad relativa, la densidad del aire y la altura a nivel del mar.	Darquea, 2018
Chevrolet Aveo Family	Se observa un comportamiento similar entre la gasolina Ecopaís y el combustible “Extra”, en los parámetros de consumo específico, potencia y torque lo que indica que el MCIA (Motor de Combustión Interna Alternativo) no se verá afectado en su rendimiento en ciudades con características geográficas similares a la ciudad de Cuenca	Maurat Argudo & Galarza Valarezo, 2017
Chevrolet Gran Vitara	Al utilizar el combustible “Ecopaís” las emisiones de CO disminuyeron hasta un 60% en ralentí y a 2 500 rpm, mientras que las emisiones de CO2 con combustible “Ecopaís” aumenta un 4%. En cuanto a la emisión de hidrocarburos no combustionados, con combustible “eco-país” también se registró una disminución considerable entre 40 y 50% respecto a la emisión con combustible “Extra”.	Urgilés & Erreyes, 2018
	Para reducir las emisiones contaminantes y aumentar la potencia, con el uso de la gasolina Ecopaís, se debe configurar el factor lambda a 1,05 y el adelanto al encendió a 10°.	

Materia prima para la obtención de bioetanol.

Como se mencionó anteriormente, en Ecuador, el etanol proviene únicamente de la caña de azúcar, lo cual exige una gran demanda de esta materia prima, pudiendo afectar en un futuro a la seguridad

alimentaria, es decir, la producción local de azúcar (Reyes Soriano, 2016). No existe una producción industrial de biocombustibles a base de maíz, madera u otras materias primas de producción significativa en Ecuador (Chiriboga et al., 2020); por lo que es importante analizar los costos y la

producción de bioetanol a partir de diferentes de manera que puedan ser considerados y materiales utilizados en las diversas generaciones; empleados en un futuro (Tabla 4).

Tabla 4. Producción de bioetanol a partir de diferentes materias primas.

Primera Generación			
Materia prima	Costo	Producción de bioetanol	Referencia
Papa	4,99 UDS/L	81,85 L de etanol/tonelada de papa	Lizarazo et al., 2015
Segunda Generación			
Materia prima	Costo	Producción de bioetanol	Referencia
Paja (Stipa ichu)	No establece	0,18 g etanol/g paja hidrolizada	Albarracín et al., 2015.
Melaza con cáscaras de banano	No establece	Melaza de banano 0,04%	Caballero Williams, 2017.
Melaza con cáscaras de naranja		Melaza de naranja 6,50%	
Melaza con cáscara de maracuyá		Melaza de Maracuyá 0,18%	
		kg et/kg MP	
Tallo de plátano		0,259	
Cáscara de arroz		0,257	
Bagazo de caña		0,255	
Elote /Maíz		0,253	
Aserrín		0,168	
Corteza de madera	No establece	0,166	Duque et al., 2015.
Otros desperdicios de palma		0,108	
Cáscara de piña		0,049	
Desechos de mango		0,034	
Cáscara de plátano		0,009	
Papel usado	0,43 UDS/L	100 a 350 L / tonelada seca	Gwak et al., 2018.
Desecho de madera	0,519 UDS/L		
Estiércol de vaca	1,454 UDS/L		
		v/v, ml bioetanol obtenido/100 ml de fermento destilado	
Cáscaras de mandarina	No establece	3,8 ± 0,2%	Llenque-Díaz et al., 2020.
Maracuyá		4,2 ± 0,1%	
Hojas de eucalipto		4,7 ± 0,1%	
Mucílago de cacao CCN-51	No establece	25,41 g/L	Noboa et al., 2019.
Pseudotallo del plátano	USD 1,56 con cogeneración USD 1,84 sin cogeneración	99,7% en peso	Rendón et al., 2015.
Jacinto de agua	No establece	0,1289 g / g de jacinto de agua seca	Wang et al., 2019.
Tercera Generación			
Materia prima	Costo	Producción de bioetanol	Referencia
Residuos celulósicos de macroalgas (MCR)	Precio de venta mínimo para el etanol anhidro de UDS 0,54 / kg	7626 kg / h de bioetanol anhidro	(Chong et al., 2020)

Cuarta Generación			
Materia prima	Costo	Producción de bioetanol	Referencia
Levadura genéticamente modificada <i>Scheffersomyces shehatae</i> JCM 18690	No establece	9.21 g/L	(Tanimura et al., 2015)

En la mayoría de los estudios se ha hecho énfasis a la producción de etanol de materias primas lignocelulósicas (2G). En los últimos años, se busca materias primas altas en almidón, preferiblemente de uso no alimentario, bajo costo y con alto rendimiento, para la producción de etanol de menor costo, en comparación con los procesos de producción a partir de caña de azúcar (Alonso-Gómez & Bello-Pérez, 2018).

Los residuos agroindustriales más típicos generados por las grandes industrias y la agricultura, en el Ecuador son: rastrojo de maíz (tallo y hojas), cáscara de cacao, bagazo de caña, salvado de arroz y desperdicios de plátano (Peñañiel Cargua, 2019). De los anteriormente nombrados, los residuos orgánicos del plátano y arroz generan una gran problemática ambiental debido a que no son reciclados o procesados apropiadamente, ya que existe una falta de conocimiento sobre el tratamiento de este recurso. En el caso del plátano se cosecha solo el racimo, para lo cual queda gran parte de la plantación como desperdicio (Velasteguí et al., 2017), de este producto, para el año 2020 se tuvo una producción de 722 298 ha. En cuanto al arroz, para ese mismo año se tuvo una producción de 1 546 523 ha (SIPA, 2020), que generan alrededor del 20% de cascarilla. Zambrano et al., (2021) expresa que “este último es un residuo que, debido a sus características abrasivas y alto contenido de cenizas y sílice, no es empleada en la alimentación de animales siendo quemadas de manera descontrolada o depositadas en botaderos” (p 418).88

Duque et al. (2015) considera al bagazo de caña, el tallo de banano, la mazorca de maíz y la cascarilla de arroz como materias primas con potencial real para la producción de etanol; debido a que estos residuos mostraron una rentabilidad superior al 40% con respecto a los flujos de proceso (reactivos, materias primas, combustible) y reducción del impacto ambiental en un 44% en promedio.

Para el 2030, éstas podrían reducir costos, al

mejorar las tecnologías para su conversión, este etanol costará entre USD 60 y 70 por barril (USD 0,38-0,44 el litro de etanol) (Castro, 2012).

La implantación de fábricas de bioprocesos puede generar empleo en cadenas productivas agrícolas y zonas rurales, enfocadas al suministro de materias primas convencionales. La presencia de refinerías pequeñas y ligeramente descentralizadas podría generar empleos decentes en las pequeñas y medianas ciudades de un país, que serían una alternativa a la transferencia de tecnología (Castro, 2012).

Conclusiones

Los biocombustibles son la manera costo-eficiente más efectivas para reducir emisiones de carbono, puesto que la disminución del CO₂ producirá un impacto positivo en el efecto invernadero, reduciendo así la contaminación ambiental derivada por la quema de combustibles fósiles; además generan empleo y el desarrollo agroindustrial. Aun cuando al inicio la gasolina Ecopaís no tuvo una buena aceptación, estudios demostraron que ésta presentaba mejores parámetros de funcionamiento en comparación con la gasolina Extra a la cual estaba sustituyendo. Con la revisión de la producción de bioetanol a partir de diferentes materias primas, se puede concluir que Ecuador tiene la capacidad de mirar hacia otros rubros, debido a que, en la actualidad se generan desechos que pueden afectar el ambiente y que se pueden aprovechar en esta industria; los que además de presentar buenos rendimientos y bajos costos, benefician a la seguridad alimentaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Albarracín, K. G., Jaramillo, L. I., & Albuja, M. (2015). Obtención de bioetanol anhidro a partir de paja (*Stipa ichu*). *Revista Politécnica*, 36(2), 109. Recuperado a partir de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/526.

- Alonso-Gómez, L. A., & Bello-Pérez, L. A. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia*, 52(7), 967-990. Recuperado en 10 de enero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967&lng=es&tlng=es.
- Amaris, J. M., Manrique, D. A., & Jaramillo, J. E. (2015). Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. Una revisión. *Fuentes, el reventón energético*, 13(2), 23-34. <https://doi.org/10.18273/revfue.v13n2-2015003>.
- América-economía. (2013). *Ecuador ampliará la producción de biocombustibles hasta el 2020*. Recuperado a partir de <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/ecuador-ampliara-la-produccion-de-biocombustibles-hasta-el-2020>.
- Andrade, F. L. M. (2018). Análisis de rendimiento y costo de los combustibles ecopaís y super. *INNOVA Research Journal*, 3(10.1), 135-149. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n10.1.2018.899>.
- Avila, J. M. S., Noboa, J. W. D., Rivera, F. R. P., & Quezada, J. P. S. (2020). Estimación del potencial de producción de bioetanol para los residuos de la corteza del cacao en Ecuador. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-20. doi:10.21930/rcta.vol21_num3_art:1429.
- Beckman, L. (2013). Estudio de factibilidad del uso de etanol anhidro en mezclas con gasolina en el distrito metropolitano de Quito. *Quito: Universidad Central del Ecuador Instituto de investigación y posgrado*. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2840>.
- Caballero Williams, J. F. (2017). Evaluación de la fermentación de melazas para producción de etanol de segunda generación a partir de residuos sólidos orgánicos de las plazas de mercado del Municipio de Soacha Cundinamarca. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/11349/4012>.
- Calero, E. W., Campoverde, H. E., Cedeño, E. L., Celi, S., Peralta, D., & Rocha, J. C. (2018). Evaluación en ruta de las emisiones vehiculares en frío a 2850 msnm con oxigenación de gasolina a base de etanol. Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE. <https://doi.org/10.24133/ctespe.v13i1.571>.
- Callejas, E. S., & Quezada, V. G. (2009). Los biocombustibles. *El cotidiano* (157), 75-82. ISSN: 0186-1840. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32512739009>.
- Castilla, M. F., & Ordoñez, J. (2017). Proyecto Ecopaís. *SlidePlayer*. <https://slideplayer.es/slide/11964585/>.
- Castro-Armijos, C., Prado-Carpio, E., Paladines-Romero, J., & Cervantes-Álava, A. (2017). Factores que afectan al cultivo de caña de azúcar para producción de bioetanol en Ecuador. *European Scientific Journal, ESJ*, 13, 24. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n24p58>.
- Castro-Martínez, C., Beltrán-Arredondo, L. I., & Ortiz-Ojeda, J. C. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿una alternativa sustentable a la crisis energética. *Ra Ximhai*, 8(3), 93-100. ISSN: 1665-0441. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125177010>.
- Castro, M. (2012). Reflexiones en torno al desarrollo de los biocombustibles en Ecuador. *CEDA. Centro Ecuatoriano Desarrollo Ambiental. Temas de análisis*, 25, 1-6. Recuperado de: <https://docplayer.es/27873622-Reflexiones-en-torno-al-desarrollo-de-los-biocombustibles-en-ecuador.html>.
- Chiriboga, G., De La Rosa, A., Molina, C., Velarde, S., & Carvajal C, G. (2020). Energy Return on Investment (EROI) and Life Cycle Analysis (LCA) of biofuels in Ecuador. *Heliyon, Volume 6, Issue 6, ISSN 2405-8440*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04213>.
- Chong, T. Y., Cheah, S. A., Ong, C. T., Wong, L. Y., Goh, C. R., Tan, I. S., Foo, H. C. Y., Lam, M. K., & Lim, S. (2020). Techno-economic evaluation of third-generation bioethanol production utilizing the macroalgae waste: A case study in Malaysia. *Energy*, 210, 118491. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118491v>.

- Constituyente, A. (2008). Constitución de la República del Ecuador. 13. Recuperado de: https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf.
- Darquea, D. G. P. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal*, 3(3), 23-34. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635>.
- Dominguez, J. M. (2011). Biocombustibles: Hacia una industria cero-desechos. *Revista E+E ESPAE Y Empresa, Año I, No. 3*, 4-7. Recuperado de: <https://www.espae.edu.ec/publicaciones/biocombustibles-hacia-una-industria-cero-desechos/>.
- EPPetroecuador. (2017). *EP Petroecuador inicia despacho de gasolina Ecopais en Esmeraldas*. Recuperado de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/02/Bol-008-2017-despacho-de-gasolina-Ecopais-en-Esmeraldas.pdf>.
- EPPETROECUADOR. (2020). *Informe anual estadístico 2020*. Recuperado de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=2787>
- Gallardo, T., & Saúl, R. (2018). *Soberanía alimentaria y la producción de monocultivos para biocombustibles en el subtrópico de la provincia de Cotopaxi en el Periodo 2013-2016*. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Economista. Carrera de Economía. Quito: UCE. 82 p. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16769>.
- Gobierno del Ecuador. (2001). Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador. 38. Recuperado de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulaciones/2018-09/Documento_RAHOE-DECRETO-EJECUTIVO-1215.pdf.
- Gomelsky, R., Chiliquinga, B., & Figueroa, F. (2010). Política Nacional de Biocombustibles en el Ecuador. Recuperado de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadw724.pdf.
- Gómez, J. M. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios gerenciales*, 32(139), 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.01.001>.
- Gwak, Y. R., Kim, Y. B., Gwak, I. S., & Lee, S. H. (2018). Economic evaluation of synthetic ethanol production by using domestic biowastes and coal mixture. *Fuel*, 213, 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.101>.
- Lizarazo, S. P., Hurtado, G. G., & Rodríguez, L. F. (2015). Análisis técnico económico de la producción de bioetanol a partir de papa a nivel de laboratorio en Boyacá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 97-111. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3749>.
- Llenque-Díaz, L. A., Díaz, A. Q., Lino, L. T., & Vega, R. S. (2020). Producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos vegetales. *REBIOL*, 40(1), 21-29. Recuperado de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/2991>.
- MAG. (2019). *Ecuador marca su rumbo en la industria de los agrocombustibles*. Retrieved 13 from <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-marca-su-rumbo-en-la-industria-de-los-agrocombustibles/>
- Mansouri, A., Rihani, R., Laoufi, A. N., & Özkan, M. (2016). Production of bioethanol from a mixture of agricultural feedstocks: Biofuels characterization. *Fuel*, 185, 612-621. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.008>.
- Martínez Olaya, H. E. (2018). Análisis del uso de biocombustibles en Ecuador periodo 2010-2017. Recuperado de <http://201.159.223.180/handle/3317/10407>.
- Maurat Argudo, W. F., & Galarza Valarezo, C. P. (2017). *Evaluación del consumo específico de combustible y emisiones de gases de escape, con el uso del combustible Eco-país en un motor de combustión interna alternativo*. (Tesis de licenciatura, Universidad del Azuay). Recuperado de <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7331>
- Morales Enríquez, J. D. (2010). *La industria de los bio-*

- combustibles en Ecuador: el estado de situación.* (Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador). Recuperado de <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/2737>.
- Morán-Coello, H., & Gallardo-Campoverde, A. (2015). La Industria de los Biocombustibles y su Efecto en el Desarrollo Nacional (Ecuador). *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 9(2), 80-89. <https://doi.org/10.53591/cna.v9i2.241>.
- Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., & Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(2), 578-597. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>.
- Navas Jurado, D. C. (2014). *La Industria de los Biocombustibles en Ecuador: caso producción y comercialización de etanol anhidro en la provincia de Bolívar* (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6903>.
- Noboa, J. W. D., Soler, J., & Peña, J. Á. (2019). Aplicación de los modelos cinéticos Logístico Integrado y Gompertz Modificado para la producción de bioetanol en procesos fermentativos a partir de mucílago de cacao CCN-51. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*, 7. <https://doi.org/10.26754/jji-i3a.003527>.
- Peñaflor Cargua, A. S. (2019). *Producción de la enzima recombinante Cel6D de Paenibacillus barcinonensis para la degradación de residuos agroindustriales* (Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos). Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30557>.
- Pérez, J. C., Altamirano, M., Nejer, J., & Castelo, D. (2017). Potencialidad de la provincia de Chimborazo para la producción de bioetanol a partir de la papa. *Revista Bases de la Ciencia. e-ISSN 2588-0764*, 2(1), 15-30. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v2i1.730.
- PETROECUADOR. (2020, Octubre 10). *Precios de los combustibles se actualizan con el sistema de bandas para octubre 2020*. Recuperado de <https://www.eppetroecuador.ec/?p=9338>.
- PETROECUADOR, E. (2017). *Informe estadístico de la industria hidrocarbúrfica ecuatoriana 1972-2017*. Recuperado de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=2337>.
- PETROECUADOR, E. (2020, Julio 6). *Demanda de combustibles en el sector automotriz se incrementó en un 55%, una vez que existen menos restricciones de movilidad*. Recuperado de <https://www.eppetroecuador.ec/?p=9008#:~:text=Durante%20el%20mes%20de%20junio,Emergencia%20Sanitaria%20en%20el%20pa%C3%ADs>.
- Pillajo, D. R. P. (2020). Investigación exploratoria sobre el aumento de bioetanol en la gasolina de Ecuador. *INSTA MAGAZINE*, 3(1), 19-23. Recuperado a partir de <http://186.69.149.245/index.php/instamagazine/article/view/19>.
- Ramos, F. D., Díaz, M. S., & Villar, M. A. (2016). Biocombustibles. 69-73. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/25791>.
- Rendón, J. C. S., Serna, L. V. D., Piedrahita, V. H., Galiano, E. C., & Alzate, C. A. C. (2015). Análisis tecno-económico de una biorefinería a partir de residuos del plátano. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas. ISSN: 1390-1869* (13), 32-39. Recuperado de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1600>.
- Reyes Cedeño, M. A. (2011). *Análisis de la producción de biocombustibles en el Ecuador y su relación con el desarrollo sustentable y las políticas establecidas desde el 2004 al 2009* (Bachelor's thesis, QUITO/PUCE/2011). Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/3795>.
- Reyes Soriano, A. H. (2016). *Evaluación del proyecto de desarrollo de biocombustibles en el Ecuador: caso Gasolina Ecopais período 2010-2015* (Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Guayaquil). Recuperado de <http://>

- repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/14175.
- Saragosín Lozada, M. L. (2016). *Incremento en la producción de ETANOL proveniente de la caña de azúcar. Fundamentos para disminuir la contaminación* (Master's thesis, Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas). Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/12050>.
- Seaboard. (2021). *Bioetanol*. Recuperado de <https://www.seaboard.com.ar/negocio/nuestros-productos/bioetanol>
- Silva, E., Escobar, J., García-Núñez, J., & Barrera, J. (2016). Bioenergía y biorrefinerías para caña de azúcar y palma de aceite. *Palmas*, 37, 119-136. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11928>.
- SIPA. (2020). *Cifras agroproductivas*. Recuperado a partir de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Tanimura, A., Kikukawa, M., Yamaguchi, S., Kishino, S., Ogawa, J., & Shima, J. (2015). Direct ethanol production from starch using a natural isolate, *Scheffersomyces shehatae*: toward consolidated bioprocessing. *Scientific reports*, 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep09593>.
- Torres, W. (2021). *Petroecuador comprará más etanol para producción de gasolina Ecopais*. Recuperado de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/petroecuador-etanol-produccion-gasolina-ecopais-ecuador/>.
- Urgilés, L., & Erreyes, J. (2018). Análisis de la influencia del combustible Ecopais en emisiones contaminantes y prestaciones de un vehículo Chevrolet Grand Vitara como prototipo en la ciudad de Cuenca. *Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana*. Recuperado a partir de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15324>.
- Vanegas, E. (2017). Informe Proyecto ECO-PAÍS-01-03-16-1. *Obtenido De Lineamientos Principales Del Proyecto Eco país: <https://Es.Scribd.Com/Document/357908420/Informe-Proyecto-Ecopais-01-03-16-1>*.
- Velasteguí, A. J. H., Arévalo, A. E. B., & Bloisse, S. Y. T. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de las Ciencias*, 3(2), 506-525. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6325873>.
- Villafuerte, M., & Pabon, P. (2017). *Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales*. Facultad de Mecánica Automotriz. UIDE. Quito. 165p. Recuperado a partir de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2299>.
- Wang, Z., Zheng, F., & Xue, S. (2019). The economic feasibility of the valorization of water hyacinth for bioethanol production. *Sustainability*, 11(3), 905. <https://doi.org/10.3390/su11030905>.
- Zambrano, G. A. Z., Macías, V. L. G., Palacios, C. A. C., & Cedeño, U. E. A. (2021). Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de fibras de celulosa. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(4), 415-437. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7927005>.
- Zambrano Quimís, M. F. (2017). *Análisis de la comercialización de la gasolina ecopais y su incidencia en la economía de la ciudad de Guayaquil durante el período 2012-2016*. (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas). Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/23138>.
- Zamora-Hernández, T., Prado-Fuentes, A., Capataz-Tafur, J., Barrera-Figueroa, B. E., & Peña-Castro, J. M. (2014). Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales. *Educación química*, 25(2), 122-127. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70534-8](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70534-8).