



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

“EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE BIODIESEL B5 A PARTIR DEL CULTIVO ENERGÉTICO DE HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”

AUTOR

VELALCÁZAR RHEA CRISTHIAN MAURICIO

DIRECTOR

PhD. Juan Carlos García Montoya

ASESORES

PhD. Silvia Montes

MSc. Henry Arroyo

MSc. Luis Álvarez

Ibarra – Ecuador

2018

Lugar de investigación: Provincia de Imbabura.

HOJA DE VIDA



APELLIDOS: VELALCÁZAR RHEA

NOMBRES: CRISTHIAN MAURICIO

C. CIUDADANÍA: 100355378-9

TELÉFONO CELULAR: 0984429130

CORREO ELECTRÓNICO: mvelalcazar@outlook.com

DIRECCIÓN: Ibarra, Yacucalle, Eduardo Almeida y Río Blanco.

FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO: 12 de noviembre del 2018

EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE BIODIESEL B5 A PARTIR DEL CULTIVO ENERGÉTICO DE HIGUERILLA (*Ricinus Communis* L.) EN LA PROVINCIA DE IMBABURA

Mauricio Velalcázar R. *¹, Juan Carlos García¹

¹Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales Av. 17 de julio 5-21 y José Córdova,

Ibarra-Ecuador Teléfono: 00593-6-2997800

*Autor correspondiente: e-mail: mvelcazar@outlook.com

RESUMEN

La alta dependencia de los derivados de petróleo para el desarrollo de los sectores estratégicos, entre ellos el transporte, uno de los más importantes y de mayor consumo energético con una demanda nacional del 42% del total, hace pensar en alternativas como los biocombustibles. En Imbabura, los cultivos energéticos no han sido una vía para el cambio de la matriz, sin embargo, la provincia tiene potencial significativo para dichos cultivos debido a sus condiciones climáticas y edafológicas. La presente investigación se basó en la evaluación de la demanda de biodiesel B5 a partir del cultivo energético de higuera en la provincia de Imbabura; lo que permitió localizar áreas óptimas para su crecimiento masivo y máximo rendimiento a partir de requerimientos climáticos, tales como temperatura y precipitación y edáficos como textura, pH, profundidad, y pendiente. Se estimó la cantidad

de biodiesel necesaria en base a la demanda en 2016 y el área óptima de cultivo para implementar B5 al mercado y con proyección al 2030 mediante regresión lineal, posteriormente con Sistemas de Información Geográfica, se elaboraron mapas temáticos de la distribución de las variables en Imbabura y se examinaron los rangos de estos para plantearlos en tres casos. Por último, se realizó trabajo de campo para corroborar la teoría, al georreferenciar densidades considerables de higuera (mínimo 10m²). El estudio tuvo como perspectiva desarrollar un sistema bioenergético para generación de biodiesel, enmarcándose en los proyectos de investigación que se realizan en la UTN en la línea de investigación de energías renovables y recursos naturales.

Palabras clave: Cultivos energéticos, higuera, biodiesel, SIG, B5

ABSTRACT

The high dependence on oil derivatives for the development of strategic sectors, including transport, one of the most important and with the highest energy consumption with a national demand of 42% of the total, suggests alternatives such as biofuels. In Imbabura, energy crops have not been a way to change the matrix, however, the province has significant potential for these crops due to climatic and edaphic conditions. This research was based on the evaluation of the B5 biodiesel demand from the castor energy crop in the province of Imbabura; which allowed to locate optimal areas for its massive growth and maximum performance from climatic requirements, such as temperature and precipitation and edaphic like texture, pH, depth, and slope. The amount of

biodiesel needed was estimated based on the demand in 2016 and the optimum cultivation area to implement B5 to the market and with projection to 2030 through linear regression, later with Geographic Information Systems was elaborate thematic maps of the distribution of the variables in Imbabura and the ranges of these were examined to raise them in three cases. Finally, field work was carried out to corroborate the theory, by georeferencing considerable densities of castor (minimum 10m²). The study had the perspective to developing a bioenergetic system for the generation of biodiesel, framed in the research projects that are carried out in the UTN in the line of research on renewable energies and natural resources.

Key words: words: Energy crops, castor, biodiesel, SIG, B5

INTRODUCCIÓN

La matriz energética del Ecuador refleja una dependencia de los combustibles fósiles, con aproximadamente el 88% de toda la producción de energía primaria, eso según el Balance Energético Nacional (BEN, 2016). Por tal razón, la búsqueda de nuevas fuentes de energía es la respuesta ante la contaminación del medio ambiente, que poco a poco va ganando espacio a causa de los problemas socioeconómicos y ambientales. De esta manera, las energías renovables, como la hidráulica, eólica, biomasa y geotérmica, sugieren que son la respuesta para mitigar el problema del uso de la energía a partir de combustibles fósiles, con el fin de promover un desarrollo limpio y sostenible, al usar recursos renovables que mejorarán las condiciones de vida a mediano y largo plazo.

El Ecuador es un país con un considerable potencial energético, debido a su ubicación geográfica privilegiada, donde existen recursos naturales renovables con mucho potencial. Sin embargo, las energías como la hidráulica, la leña y los productos de la caña sólo llegan a ser el 7% de toda la producción de la matriz energética (BEN, 2016). Además de esto, las renovables no convencionales (fotovoltaica y eólica) conforman el 0,04% de la producción de energía primaria (BEN, 2016).

Según lo expuesto, el país depende en gran medida de los derivados del petróleo para el

desarrollo de todos sus sectores, siendo el de transporte uno de los más importantes y de mayor consumo, puesto que el 46% del consumo nacional de energía corresponde a este sector (BEN, 2016). Además, el subsidio destinado a los combustibles para el año 2108 es de 1.707,04 millones de dólares, lo que representa el 53,4% de totalidad de las subvenciones y dentro de ellas el diésel ocupa el primer lugar del gasto estatal, el cual es de 899,30 millones de dólares (Ministerio de Economía y Finanzas, 2018).

La política del Estado es promovida por un modelo de desarrollo sostenible, en la que las energías renovables se convertirán en un pilar fundamental para el avance de todos los sectores estratégicos, reduciendo de esta manera la necesidad del uso masivo de hidrocarburos. Una de las energías renovables con potencial en el Ecuador es la biomasa, ya que el país en el año 2016 tuvo una alta producción agrícola que constituye el 10,2% del PIB (Banco Mundial, 2017). La producción de biocombustibles y bioelectricidad podría obtenerse de la biomasa que se encuentra en los residuos agrícolas y en cultivos energéticos sostenibles, es decir que no incidan en la cadena alimentaria y que no desplacen a cultivos destinados para la alimentación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en tres fases:

Fase 1: Determinación de la demanda de biodiesel actual y con proyección al 2030.

Para el desarrollo de esta fase se tomaron en cuenta los siguientes componentes:

Demanda del diésel premium en Imbabura

Para los cálculos y proyecciones realizadas, se tomaron en cuenta solamente las cifras de diésel premium, a pesar de que en el país se comercializan también los combustibles diésel 1 y diésel 2, estos dos últimos no cumplen con las normas de calidad INEN de contenido de azufre (expresado en partes por millón) mínima para la

comercialización destinada hacia los automotores del Ecuador.

Proyección de demanda de biodiesel en Imbabura en el año 2030

La proyección de la demanda se realizó a través del método de regresión lineal simple, debido a que (R^2) fue superior al 80% lo que permitió obtener una regresión confiable.

La regresión se desarrolló con dos variables, el tiempo y la demanda de diésel premium, la primera de ellas es totalmente independiente de cualquier situación, mientras que la demanda era la variable dependiente del tiempo.

Ecuación de regresión:

$$Y = a + bX \quad (1)$$

Donde:

a = desviación al origen de la recta

b = pendiente de la recta

X = valor dado de la variable X, el tiempo

Y = valor calculado de la variable Y, la demanda

Rendimiento en la producción del aceite de higuierilla

Según Reyes y Mendoza (2015b), “el rendimiento de aceite de higuierilla es 1.364 (kg aceite/ha) con un porcentaje de aceite presente en la semilla de aproximadamente 52%” (p. 1).

Rendimiento de transesterificación del aceite de higuierilla

Mafla, Revelo, Hernández y Benavides (2016), sostienen que “en base a experimentaciones realizadas, el rendimiento de conversión del aceite en biodiesel es del 63%” (p. 4).

Fase 2: Análisis de las variables climáticas, edafológicas y restricciones a considerar para ubicar las áreas óptimas del cultivo de higuierilla

Esta fase fue realizada mediante el desarrollo de los siguientes componentes:

Selección de variables

De acuerdo con Tapia (1984), existen diferentes propuestas de requerimientos agroecológicos con diferentes prioridades, sin embargo, prevalecen las condiciones tales como: clima, suelo, topografía etc. Por lo tanto, las variables climáticas seleccionadas para el estudio fueron: temperatura y precipitación, y las variables edáficas tomadas en cuenta: textura del suelo, pH, profundidad efectiva y pendiente.

Elaboración de mapa base

En la elaboración del mapa base se incluyeron los siguientes entes: límites provinciales, cabeceras cantonales, capital provincial, conexiones parroquiales, curvas de nivel, río simple, río doble, lagunas importantes, zonas urbanas, límites administrativos provinciales y límites administrativos cantonales. De esta manera se aseguró la veracidad de los resultados puesto que allí no es posible ubicar las áreas de cultivo de higuierilla.

Elaboración de mapas temáticos

Una vez identificados los aspectos ambientales, se procedió a evaluar los impactos ambientales, para esto fue necesario considerar varios criterios de evaluación que permitieron identificar cuales impactos son significativos, mismos que fueron abordados prioritariamente dentro del sistema de gestión ambiental de la organización.

Fase 3: Comparar la producción potencial de biodiesel con la demanda actual y con proyección al 2030

Formación de casos de estudio

La creación de casos de estudio surgió con la necesidad de conocer si los requerimientos teóricos de la higuierilla coincidían con densidades presentes en la provincia, y para establecer algunas áreas potenciales a través de la clasificación de los rangos de las variables y de la correlación entre ellas.

La determinación de estos casos se llevó a cabo mediante el estudio de las exigencias que la higuierilla necesita para tener alto potencial productivo. Dichos casos se muestran en la tabla 1 y 2, donde se ubican los rangos de cada variable de acuerdo con lo requerido por la planta.

Tabla 1. Caso de los requerimientos climáticos

Caso	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Climático	≥ 16 a ≤ 30	≥ 400 a ≤ 1.500

Tabla 2. Casos de los requerimientos climáticos y edáficos

Casos	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Textura	pH	Pendiente	Profundidad efectiva (cm)	Cobertura y Uso del suelo
Óptimo	≥ 16 a ≤ 30	≥ 400 a ≤ 1.500	Franco a Franco arenosa	$\geq 5,5$ a $\leq 7,0$	0 a 12 %	≥ 30 a 150	Vegetación arbustiva
Óptimo (Cultivos asociados)	≥ 16 a ≤ 30	≥ 400 a ≤ 1.500	Franco a Franco arenosa	$\geq 5,5$ a $\leq 7,0$	0 a 12 %	≥ 30 a 150	Cultivos temporales

Superposición de mapas

Según (ESRI, 2016) una superposición es mucho más que una simple fusión del trabajo de línea ya que se materializan las tablas de atributos de los dos o más mapas que forman parte de ésta, para crear otro nuevo, en el que se encuentra la información agrupada y lista para analizar los usos potenciales de cada una de las variables agroecológicas.

Por lo tanto, la superposición de rásteres es el procedimiento que se utilizó para obtener el mapa agroecológico, sin embargo, dentro de esta metodología se debe resaltar el uso de una herramienta de geoprocésamiento llamada intersecar, la que permitió superponer las características o porciones de características de todas las capas y/o entidades de entrada para fusionarlas en una capa de salida (ESRI, 2014).

Lenguaje estructurado de consulta SQL

El mayor interés del modelo geo-relacional estará en poder lanzar una consulta SQL y obtener una o varias entidades espaciales (en lugar de número, tabla o fila) como respuesta. Para ello debe enlazarse la base de datos espacial (mapa vectorial) con la base de datos temática (tablas) mediante una columna en una de las tablas de la base de datos que contenga los mismos identificadores que las entidades en la base de datos espacial.

Comprobación de hipótesis densidades de higuera en Imbabura

Para determinar los posibles lugares donde la higuera pudo desarrollarse silvestremente se estudió el mapa agroecológico, identificando los

sitios que se encuentran dentro de las áreas demarcadas. Posteriormente se verificó dicha hipótesis realizando sitios de muestreo para validar la información generada en los mapas.

Las densidades de higuera debieron cumplir los siguientes parámetros para ser consideradas dentro de este estudio, siendo así:

- Tener un área total de mínimo diez metros cuadrados.
- Ser plantas silvestres.
- No tener plantaciones con las que pueda competir (alimenticias).

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de las tres fases de la investigación.

Modelo de regresión de la demanda de diésel premium en Imbabura

En la tabla 3 se muestran los análisis del ANOVA, donde se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple R de 0,93, lo que expresa que existe un alto grado de correlación de la variable independiente con la variable dependiente. Así mismo el valor del coeficiente de determinación R² fue de 0,88, indicando que el 88% de la variación de la demanda de diésel está explicado por el paso de los años. También, los valores medidos de la demanda de diésel premium versus los valores estimados mostraron porcentajes del 80%.

Tabla 3. Modelo de regresión de diésel en Imbabura

Modelo	R	R ²	Σ(D-Dest)
$D = -2.757.044.375,655 + 1.385.032,497 * \text{año}$	0,93	0,88	0,00

D: Diésel

Modelo: $y = a + bx$

Cantidad de biodiesel necesario para cubrir el escenario B5

La cantidad de biodiesel necesario se calculó mediante el modelo de regresión, obteniendo los valores de la demanda proyectada al 2030, los cuales se presentan en la tabla 13. El diésel necesario para remplazar por biodiesel B5 proveniente de higuera en 2016 es de 1.584.094 gal y en el año 2030 es de 2.728.580 gal.

En la figura 1 se observa la proyección de la demanda de diésel con una clara tendencia de crecimiento sostenido a través del tiempo, es importante destacar que el aumento de la demanda es considerable, pues ésta se incrementará alrededor del 43% dentro de los próximos 14 años.

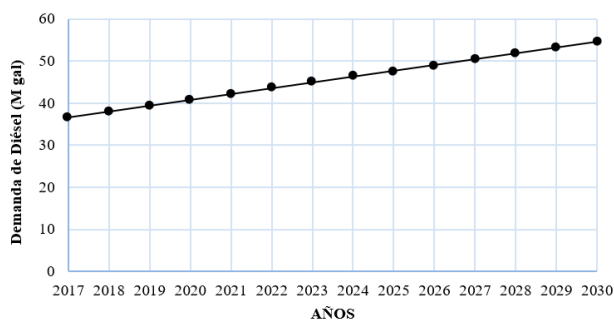


Figura 1. Proyección de la demanda de diésel al año 2030

Área necesaria para suplir la demanda de biodiesel

El biodiesel por hectárea que se puede obtener es de aproximadamente el 63% del total del aceite extraíble debido a pérdidas, por lo que se alcanza 237.797 galones de biodiesel de higuera por cada hectárea.

No obstante, según Reyes y Mendoza (2015b) el ciclo vegetativo de la variedad de higuera INIAP-401 es de 110 días por lo que podría

plantarse dos veces al año, obteniendo así 475,58 galones de biodiesel anuales.

De esta manera, se relacionó la demanda de diésel B5 con el biodiesel total por hectárea, lo que permite determinar el área necesaria para cubrir la demanda de diésel premium en Imbabura para el año 2016, la cual es de 3.331 hectáreas y también el área necesaria para cubrir la demanda de diésel premium en Imbabura para el año 2030 que es de 5.738 hectáreas.

Análisis de las variables climáticas, edafológicas y restricciones a considerar para ubicar las áreas óptimas del cultivo de higuera

La provincia de Imbabura posee distintas características de suelo y tipos de clima, indicando que es apta para el desarrollo de variedades de sembríos energéticos, con altas posibilidades de producción y rendimiento, sin embargo, las restricciones que se tuvieron en cuenta para ubicar las áreas óptimas fueron: zonas pobladas, infraestructuras antropogénicas, lagunas, ríos, lagos, bosques, áreas de cultivos existentes y áreas protegidas, por lo que se limitó considerablemente las extensiones a utilizarse.

Zonas óptimas para producción de biodiesel de higuera

• Caso óptimo

En la figura 2 se observa el primer caso, en donde las zonas óptimas están distribuidas por toda la provincia en pequeñas extensiones de terreno, éstas suman en total 346 hectáreas, y la más grande se encontró en el cantón de San Miguel de Ibarra con 53 hectáreas, ubicada exactamente en los alrededores de la laguna de Yahuarcocha, cerca de Aloburo.

EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE BIODIESEL B5 A PARTIR DEL CULTIVO ENERGÉTICO DE HIGUERILLA (*Ricinus Communis* L.) EN LA PROVINCIA DE IMBABURA

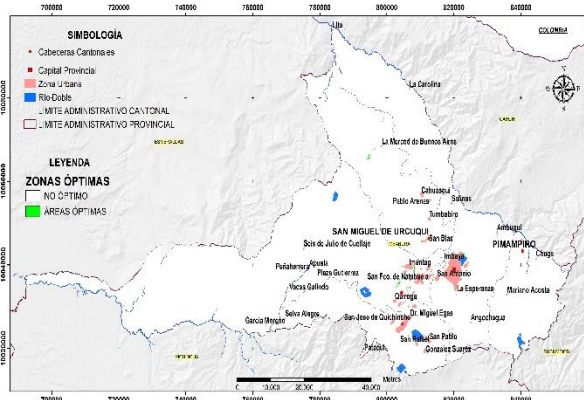


Figura 2. Zonas óptimas para el cultivo de higuierilla sin cultivos asociados

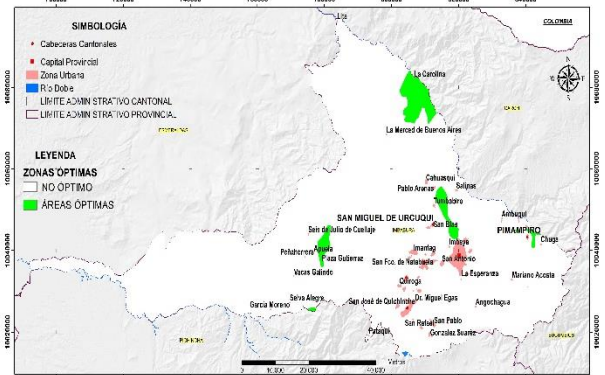


Figura 4. Zonas óptimas para el cultivo de higuierilla sin cultivos asociados

• Caso óptimo (cultivos asociados)

Se obtuvieron dos áreas de cultivos semipermanentes en el cantón Antonio Ante, en el pueblo La Graciela como se muestra en la figura 3, que juntos suman 3,9 hectáreas de terreno. Estas extensiones de terreno al ser sumadas a las 346 ha del caso anterior alcanzan 349,9 hectáreas debido a que también es posible producir biodiesel de higuierilla con cultivos asociados temporales.

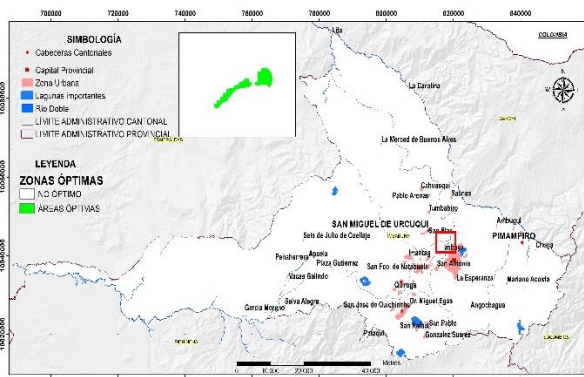


Figura 3. Zonas óptimas para el cultivo de higuierilla con cultivos asociados

• Caso climático

En la figura 4, donde se consideraron solamente las condiciones climáticas, se consiguieron las áreas más extensas debido a que los requerimientos edafológicos no coexisten juntos en grandes extensiones y limita de gran manera el resultado. Las cinco áreas se ubican en todos los cantones de Imbabura, pero principalmente en Ibarra, Cotacachi y Urcuquí, con una extensión de 13 mil hectáreas de terreno.

Validación de densidades de higuierilla en Imbabura

La validación de densidades se realizó en los tres casos de estudio, en el que se pudo evidenciar la existencia de la especie en los lugares visitados y en los transectos entre los puntos. La densidad más grande es de 36 m², la clase de la higuierilla es verde mayor y se ubica a un lado de la autopista Ibarra – El Juncal, en el sector conocido como los cañaverales.

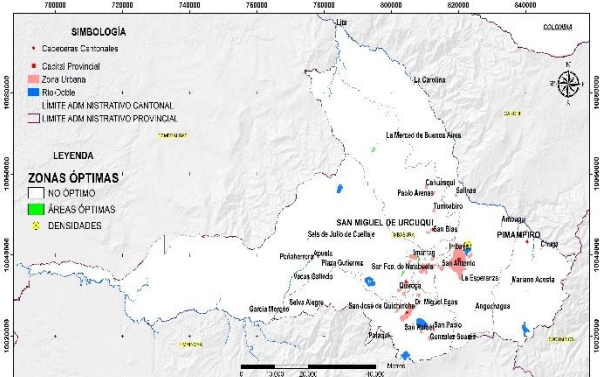


Figura 24. Densidades de higuierilla en las zonas óptimas para su cultivo, incluidos los cultivos asociados

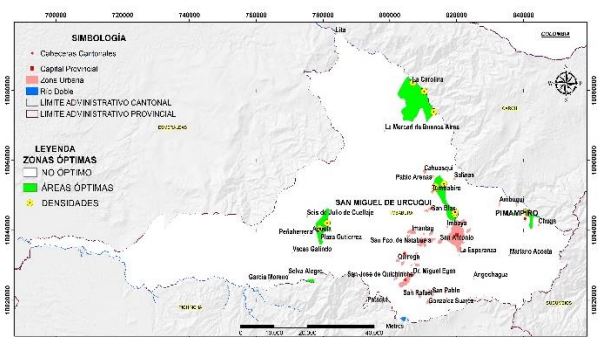


Figura 25. Densidades de higuera en las zonas óptimas para su cultivo considerando las condiciones climáticas

CONCLUSIONES

La demanda de biodiesel en la provincia de Imbabura para el escenario B5, se estimó en 1.584.094 galones en el 2016 y en proyección para el año 2030 de 2.728.580 galones.

Las características edafológicas que necesita la higuera para su cultivo en Imbabura no son coincidentes, específicamente la textura del suelo es -en su mayoría- inversamente proporcional a la cobertura del suelo y a la profundidad efectiva del suelo.

De acuerdo con la demanda de biodiesel B5 en 2016 y en proyección al 2030, se necesitan de 3.331 hectáreas y 5.738 hectáreas de terreno cultivable respectivamente.

En los dos primeros casos de estudio (óptimo y óptimo con cultivos asociados) no es posible suministrar de biodiesel a la provincia debido a que cuenta con 349,9 ha propicias, cubriendo únicamente el 10,5% del escenario B5 planteado.

En el caso de estudio climático si se abastece la demanda, puesto que la extensión obtenida fue de 13 mil ha, es decir casi cuatro veces más de lo que se necesitó en el 2016 y dos veces más de lo que se necesitará en el 2030 de espacio cultivable para la producción de biodiesel.

Las áreas óptimas determinadas en este estudio son de importancia debido a que aseguran el rendimiento que un cultivo energético debe tener, certificando el correcto desarrollo de la especie en ese entorno e impactando positivamente a la economía de los lugareños.

RECOMENDACIONES

El modelo utilizado sirve de base a futuros estudios donde se deba determinar zonas para sembrar cualquier cultivo, sea energético o alimenticio.

Comparar el rendimiento de la higuera en las áreas óptimas de Imbabura con otros lugares donde se evidencia grandes cantidades de higuera y no exista la posibilidad de plantar otro cultivo.

Es necesario contar con mayor cantidad de datos de consumo de derivados de petróleo disgregado por provincias para futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2016). Balance Energético Nacional. Quito.

Ministerio de Economía y Finanzas. (2018). Proforma del Presupuesto General del Estado 2018. Quito.

Banco Mundial. (2017). Agricultura, valor agregado (% del PIB). Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?end=2016&locations=EC&start=2015&view=chart>

Mendoza, H., Reyes, S. (2015b). INIAP-401: Nueva variedad de higuera indehisciente, de altos rendimientos. Departamento de Comunicación del INIAP. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1120/1/INIAP-401.pdf>

Mafla, C., Revelo, M., Hernández, P., Benavides, I. Análisis de la producción de biodiesel de aceite de higuera, para la aplicación del 5% en el combustible diésel de la ciudad de Ibarra. Recuperado de <http://es.calameo.com/books/00478947253819e7e42a3>

Tapia, M. (1997). Zonificación agroecológica basada en el uso de la tierra, el conocimiento local y las alternativas de producción. En Tapia, M. Manejo integral de Microcuencas (pp. 53-66).

Environmental Systems Research Institute, Inc. (2014). Herramienta de geoprocamiento "Intersect".