



# **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”**

#### **PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

##### **AUTOR:**

Cristhian Mauricio Velalcázar Rhea

##### **DIRECTOR**

Juan Carlos García Montoya PhD.

**Ibarra - Ecuador  
2018**

**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”**

**Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa la obtención del  
Título de:**

**INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

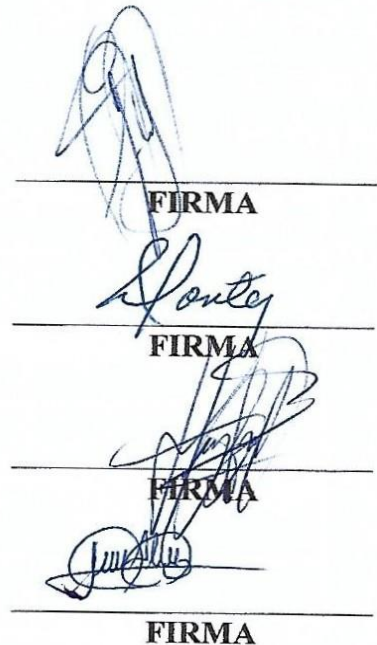
**APROBADA:**

PhD. Juan Carlos García  
**DIRECTOR**

PhD. Silvia Montes  
**ASESOR**

Msc. Henry Arroyo  
**ASESOR**

Msc. Luis Álvarez  
**ASESOR**



**FIRMA**

**FIRMA**

**FIRMA**

**FIRMA**

**IBARRA – ECUADOR  
NOVIEMBRE, 2018**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD</b>	1003553789	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	Velalcázar Rhea Cristhian Mauricio	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra - Imbabura	
<b>EMAIL:</b>	mvelalcazar@outlook.com	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0984429130

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE BIODIESEL B5 A PARTIR DEL CULTIVO ENERGÉTICO DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus Communis</i> L.) EN LA PROVINCIA DE IMBABURA
<b>AUTOR:</b>	Velalcázar Rhea Cristhian Mauricio
<b>FECHA:</b>	12 noviembre del 2018
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Energías Renovables
<b>DIRECTOR:</b>	Juan Carlos García PhD.

## 2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días de noviembre del 2018.

### EL AUTOR

  
**Velalcázar Rhea Cristhian Mauricio**  
**C.I. 100355378-9**

## AGRADECIMIENTO

*Al Dr. Juan Carlos García, director de trabajo de titulación, por brindarme sus sólidos conocimientos impartidos durante mi etapa estudiantil, por los consejos, la paciencia, comentarios y la amistad desinteresada que se ha cultivado en todos estos años. El éxito alcanzado depende de gran manera del maestro.*

*A los asesores MsC. Henry Arroyo y MsC. Luis Álvarez, por el tiempo invertido en la revisión, sugerencias y comentarios que permitieron la correcta redacción del trabajo de titulación.*

*A la Dra. Silvia Montes, por su constante preocupación, por los conocimientos y las sugerencias que siempre fueron importantes para la elaboración y pronta culminación del documento. El arduo apoyo frente a las adversidades que se fueron presentando son parte fundamental del éxito conseguido.*

*A los docentes de la FICAYA, MsC. José Guzmán e Ing. María Vizcaino por su importante aporte a este trabajo de investigación, porque sus conocimientos permitieron que los objetivos propuestos se lleven a cabo, por su importante amistad y consejos desinteresados.*

*Al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), en especial a la línea de Investigación de Biomasa, por la oportunidad brindada de trabajar en el avance de la investigación energética en el Ecuador, por un sinnúmero de conocimientos adquiridos y una gran amistad que sobrepasa el tiempo.*

***Cristhian Mauricio Velalcázar Rhea***

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

*Gloria a Dios por todas y cada una de las bendiciones, gracias por permitirme culminar este trabajo de titulación, porque tu gracia y bondad no tienen fin y se renuevan día a día, que tu Palabra Padre me guíe por caminos de vida y rectitud.*

### **A MIS ABUELITOS**

*Nina y Luis † mis luchadores incansables, este logro es para ustedes porque han sido parte fundamental en mi desarrollo como hijo, nieto, hermano, primo, amigo, como ser humano.*

### **A MIS PADRES**

*Lorena y Mauricio por el apoyo incondicional en cada etapa, por el ejemplo, la dedicación y esfuerzo diario que me han ido marcando en el transcurso de mi vida. Los quiero mucho.*

### **A MIS HERMANOS**

*Mis dos grandes orgullos Anita y Mathew, son ustedes los que a diario me enseñan tantas cosas y me dan muestra constante de perseverancia y tenacidad, son un gran ejemplo.*

### **A MI TÍA**

*Sory, por los conocimientos brindados, la constante preocupación en todo momento y el apoyo diario tanto dentro como fuera de la Universidad, porque la familia siempre será, después de Dios, lo primero y el único apoyo en todo tiempo.*

***Cristhian Mauricio Velalcázar Rhea***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### Contenido

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	iii
CONSTANCIA.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Problema de investigación y justificación.....	1
1.2. Preguntas directrices de la investigación.....	17
1.3. Objetivos .....	17
1.3.1. Objetivo general .....	17
1.3.2. Objetivos específicos .....	17
1.4. Hipótesis.....	17
1.5. Marco legal.....	18
1.5.1. Constitución de la República del Ecuador .....	18
1.5.2. Decreto Ejecutivo 1303.....	18
CAPITULO II .....	20
MARCO METODOLÓGICO.....	20
2.1. Caracterización del área de estudio.....	20
2.2. Métodos.....	21

2.2.1. Determinación de la demanda de biodiesel actual y con proyección al 2030.....	21
2.2.2. Análisis de las variables climáticas, edafológicas y restricciones a considerar para ubicar las áreas óptimas del cultivo de higuera.....	24
2.2.3. Comparar la producción potencial de biodiesel con la demanda actual y con proyección al 2030 .....	38
2.3. Materiales y equipos .....	46
CAPÍTULO III.....	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
3.1. Determinación de la demanda de biodiesel actual y con proyección al 2030	47
3.1.1. Modelo de regresión de la demanda de diésel premium en Imbabura.....	47
3.1.2. Cantidad de biodiesel necesario para cubrir el escenario B5 .....	48
3.1.3. Área necesaria para suplir la demanda de biodiesel.....	49
3.2. Análisis de las variables climáticas, edafológicas y restricciones a considerar para ubicar las áreas óptimas del cultivo de higuera .....	50
3.2.1. Variables climáticas .....	51
3.2.2. Variables edafológicas .....	51
3.3. Comparar la producción potencial de biodiesel con la demanda actual y con proyección al 2030.....	57
3.3.1. Zonas óptimas para producción de biodiesel de higuera .....	57
3.3.2. Validación de densidades de higuera en Imbabura.....	60
3.4. Discusión de Resultados .....	62
CAPÍTULO IV.....	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
4.1. Conclusiones .....	64



4.2. Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS .....	66
CAPITULO V .....	75
ANEXOS .....	75
5.1. Anexo A – Tablas.....	75
5.2. Anexo B – Ilustraciones .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido.....</b>	<b>Páginas</b>
<b>Tabla 1.</b> Demanda histórica de diésel premium en Imbabura.....	21
<b>Tabla 2.</b> Simbología en el mapa de isotermas.....	27
<b>Tabla 3.</b> Simbología en el mapa de isoyetas.....	28
<b>Tabla 4.</b> Simbología para la clasificación de texturas.....	30
<b>Tabla 5.</b> Tipos de pendientes.....	32
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de profundidad efectiva del suelo.....	33
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de pH del suelo.....	35
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de la cobertura y uso del suelo.....	36
<b>Tabla 9.</b> Áreas protegidas en Imbabura.....	37
<b>Tabla 10.</b> Casos de los requerimientos climáticos y edáficos.....	39
<b>Tabla 11.</b> Caso de los requerimientos climáticos.....	39
<b>Tabla 12.</b> Modelo de regresión de diésel en Imbabura.....	47
<b>Tabla 13.</b> Demanda de diésel en el año 2016 y 2030.....	48
<b>Tabla 14.</b> Localización de densidades de higuerilla en Imbabura.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b> .....	<b>Páginas</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación de la provincia de Imbabura con respecto al Ecuador continental.....	20
<b>Figura 2.</b> Superposición de capas temáticas en Sistemas de Información Geográfica.....	25
<b>Figura 3.</b> Triángulo de clases texturales del suelo según el USDA.....	30
<b>Figura 4.</b> Esquema de la profundidad efectiva del suelo.....	33
<b>Figura 5.</b> Diagrama del pH de diferentes suelos.....	34
<b>Figura 6.</b> Superposición de rásteres por suma.....	40
<b>Figura 7.</b> Diagrama de la herramienta intersectar.....	41
<b>Figura 8.</b> Elaboración de mapa geopedológico.....	42
<b>Figura 9.</b> Elaboración de mapa climático.....	43
<b>Figura 10.</b> Base de datos geo-relacional.....	44
<b>Figura 11.</b> Demanda de diésel premium vs demanda diésel premium estimado en Imbabura.....	48
<b>Figura 12.</b> Proyección de la demanda de diésel al año 2030.....	49
<b>Figura 13.</b> Mapa de isotermas de la provincia de Imbabura.....	53
<b>Figura 14.</b> Mapa de isoyetas en la provincia de Imbabura.....	54
<b>Figura 15.</b> Mapa de textura de suelos en la provincia de Imbabura.....	54
<b>Figura 16.</b> Mapa de pendientes de la provincia de Imbabura.....	55

<b>Figura 17.</b> Mapa de profundidad efectiva de la provincia de Imbabura.....	55
<b>Figura 18.</b> Mapa de pH de suelos de la provincia de Imbabura.....	56
<b>Figura 19.</b> Mapa de cobertura y uso del suelo en la provincia de Imbabura.....	56
<b>Figura 20.</b> Mapa de áreas protegidas de la provincia de Imbabura.....	57
<b>Figura 21.</b> Zonas óptimas para el cultivo de higuera sin cultivos asociados.....	58
<b>Figura 22.</b> Zonas óptimas para el cultivo de higuera con cultivos asociados.....	59
<b>Figura 23.</b> Zonas óptimas para el cultivo de higuera considerando las condiciones climáticas.....	59
<b>Figura 24.</b> Densidades de higuera en las zonas óptimas para su cultivo, incluidos los cultivos asociados.....	61
<b>Figura 25.</b> Densidades de higuera en las zonas óptimas para su cultivo considerando las condiciones climáticas.....	61

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Contenido</b> .....	<b>Páginas</b>
<b>Ecuación 1.</b> Regresión lineal simple.....	22
<b>Ecuación 2.</b> Regresión lineal simple.....	23
<b>Ecuación 3.</b> Regresión lineal simple.....	23
<b>Ecuación 4.</b> Regresión lineal simple.....	23
<b>Ecuación 5.</b> Regresión lineal simple.....	23
<b>Ecuación 6.</b> Cálculo de la pendiente del suelo.....	31
<b>Ecuación 7.</b> Cálculo del pH del suelo.....	34
<b>Ecuación 8.</b> Cálculo del rendimiento de producción de aceite de higuera por hectárea.....	49
<b>Ecuación 9.</b> Cálculo de biodiesel por hectárea.....	49
<b>Ecuación 10.</b> Cálculo de biodiesel por hectárea.....	50
<b>Ecuación 11.</b> Cálculo de biodiesel por hectárea.....	50
<b>Ecuación 12.</b> Cálculo de biodiesel total por hectárea.....	50

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

*Cristhian Mauricio Velalcázar Rhea*

## 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 10m<sup>2</sup>). 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 claves:** Cultivos energéticos, higuera, biodiesel, SIG, B5

# **“EVALUATION OF THE BIODIESEL B5 DEMAND FROM ENERGY CROP OF CASTOR (*Ricinus Communis* L.) IN IMBABURA PROVINCE”**

*Cristhian Mauricio Velalcázar Rhea*

## **ABSTRACT**

The significant dependence on oil derivatives for the development of strategic sectors, including transport, one of the most important and 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 applied 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 Imbabura province, 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, then by Geographic Information System, elaborating thematic maps of the distribution of 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, georeferencing considerable densities of castor (minimum 10m<sup>2</sup>). 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 research area of renewable energies and natural resources.

**Keywords:** Energy crops, castor, biodiesel, SIG, B5

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### **1.1. Problema de investigación y justificación**

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). Así también para el desarrollo de todos sus sectores, siendo el de transporte uno de los más importantes y de mayor consumo, puesto que el 46% de la demanda nacional de energía corresponde a este sector (BEN, 2016). Además, el subsidio destinado a los combustibles para el año 2018 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).

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).



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 constituyó 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.

Precisamente el trabajo de investigación de Falasaca y Ulberich (2011), trata de cultivos energéticos sostenibles en la región con el estudio denominado: *Argentina's Semiarid Lands Aptitude to Cultivate Non Traditional Species For Biodiesel Production*.

Para el desarrollo del capítulo, los autores identificaron los requerimientos, límites y tolerancia bio-meteorológica y las condiciones para cada especie (incluida la higuerilla), tomando en cuenta las características climatológicas de las áreas nativas y las regiones con cultivos exitosos alrededor del mundo. La zonificación agroclimática permitió identificar áreas potenciales con diferentes rendimientos, según sus condiciones ambientales. Se realizó un inventario agroclimatológico basado en: información de estadísticas climatológicas disponibles, valores derivados de la climatología e índices estimados. A partir de la base de datos disponible, se mapearon los límites geográficos para las diferentes variables, las cuales definieron las clases de aptitud: zona óptima, adecuada, marginal y no adecuada. Para interpretar las áreas clasificadas con las clases de aptitud agroclimática, se incluyó el mapa de argentina política con la toponimia de las provincias. Los mapas proporcionados pudieren ser una ayuda útil para quienes quieran implementar cultivos energéticos a gran escala, ya que estos proveerán la base para futuros trabajos, a una mayor escala cartográfica, los mismos que proporcionarán una guía regional más detallada para la siembra de cultivos energéticos (Falasaca y Ulberich, 2011).

Recalde y Durán, (2009) realizaron el trabajo de investigación: *Estudio de las Características Botánicas y Etnobotánicas de Higuierilla (Ricinus comunis L.)*.

La higuierilla es una especie cosmopolita cuyo crecimiento espontáneo y gran poder colonizador permite que espacios que no están siendo sometidos a las actividades agrícolas, sean adecuados para esta especie; su capacidad colonizadora evita que plagas y enfermedades interfieran en su dinámica de crecimiento y desarrollo. Es así como, el estudio pretende generar la información botánica y etnobotánica suficiente que permitan delinear una estrategia de manejo de estos importantes recursos fitogenéticos. La metodología utilizada consiste en trabajo de campo, mediante la identificación de ejemplares botánicos “in situ” y la foto documentación de los ejemplares fértiles. Toda esta información se consigna en los respectivos libros de campo y agrupa en bases de datos georreferenciadas, además, se incluyó información sobre el uso tradicional gracias a la colaboración de los habitantes conocedores de la especie, y las características del terreno permitieron explicar los resultados encontrados. Con la georreferenciación y la representación en la cartografía digital que se generan mapas de adaptación de *Ricinus communis* en Ecuador (Recalde y Duran, 2009).

Valdemar, (2012), realizó la investigación: *Colecta de los ecotipos de higuierilla (Ricinus Communis) en las zonas de vida de Imbabura y Carchi para su conservación en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra*.

Para el estudio se recopiló y procesó información geográfica y ecológica del territorio, la cual sirvió de base para la creación de mapas de colecta de *Ricinus communis* de la zona norte del Ecuador. Una vez realizada la colecta de la especie, se procede a la elaboración de la base de datos de colecta de acuerdo con la referencia geográfica levantada con el navegador GPS. Posteriormente se ubicó en el espacio utilizando un sistema de información geográfica (SIG). La distribución espacial de las colectas determinó que la mayor presencia de esta especie en forma silvestre se localizaba en el bosque seco montano bajo, que corresponde a las zonas en las que se

asientan la mayoría de las poblaciones de la provincia de Imbabura, lo que corrobora que la higuerilla es una especie cosmopolita (Valdemar, 2012).

En el caso de Argentina, que según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2011), “es el segundo productor de biodiesel a nivel mundial con 13,1% del mercado”. Se logró debido a la imposición de un Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles, que estableció una mezcla obligatoria de biocombustibles con combustibles fósiles a partir del 1 de enero del año 2010: el diésel deberá contener como mínimo 7% de biodiesel (Di Paola, 2013). Esta medida representó beneficios para muchos sectores, tanto el económico, social y ambiental puesto que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2008) afirmó que, entre otras tantas ayudas, al momento de usar biodiesel en los motores, se está reduciendo emisiones de efecto invernadero de 70 a 90 por ciento en comparación con el diésel fósil.

### Energía

La energía se define de forma general como *toda causa capaz de producir un trabajo*, y su manifestación es precisamente la realización de su virtualidad, es decir, la producción de un trabajo, o bien su transformación en otra forma de energía (Sardón, 2003).

La energía se puede manifestar de distintas maneras, recibiendo así diferentes denominaciones según las acciones y los cambios que puede provocar, encontrando los siguientes tipos de energía (Endesa, 2014):

- Energía mecánica
- Energía interna
- Energía eléctrica
- Energía térmica

- Energía electromagnética
- Energía química
- Energía nuclear

Así también la energía tiene propiedades que la definen como tal, siendo éstas (Endesa, 2014):

*Se transforma:* la energía no se crea, sino que se transforma, siendo durante esta transformación cuando se ponen de manifiesto las diferentes formas de energía.

*Se conserva:* al final de cualquier proceso de transformación energética nunca puede haber más o menos energía que la que había al principio, siempre se mantiene. *La energía no se destruye.*

*Se transfiere:* la energía pasa de un cuerpo a otro en forma de calor, ondas o trabajo.

*Se degrada:* solo una parte de la energía transformada es capaz de producir trabajo y la otra se pierde en forma de calor o ruido (vibraciones mecánicas no deseadas).

### Fuentes de Energía

La energía se produce de diferentes fuentes y es almacenada de distintas formas. Las fuentes se pueden clasificar en primarias o secundarias, según pueda obtenerse de ellas la energía directamente o sea necesario recurrir a otra fuente y también se puede clasificar en *renovables* y *no renovables* (Sardón, 2003).

### Energía Renovable

La Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA, 2016), menciona que las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales inagotables a escala humana, bien porque el recurso dispone de una cantidad de energía inmensa, o porque el recurso tiene la capacidad de regenerarse de manera natural. Dentro de las renovables existen varias fuentes que nos permiten satisfacer nuestras necesidades

energéticas, sin embargo, entre las más comunes y de mayor interés se encuentran las siguientes:

- Biomasa
- Energía Solar
- Energía Eólica
- Energía Hidráulica
- Energía Geotérmica

### Biomasa

Biomasa comprende al grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de la materia orgánica formada por vía biológica (Sardón, 2003). La energía que acumula la biomasa tiene su origen en el sol mediante la fotosíntesis, las plantas toman la energía lumínica del sol (fotones), el dióxido de carbono de la atmósfera y el agua y las sales del suelo, produciendo azúcares. A su vez, los animales se alimentan de las plantas (Vicente, 2012).

Bajo la denominación genérica de biomasa se incluye un conjunto muy heterogéneo de materias, tanto por su origen como por su naturaleza. Atendiendo al origen es posible diferenciar, desde un punto de vista ecológico, biomasa de distintos órdenes:

- *Biomasa primaria*. Es la materia orgánica formada directamente por los seres fotosintéticos.
- *Biomasa secundaria*. Es la producida por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria.
- *Biomasa terciaria*. Es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria.

### Clasificación de la Biomasa

A pesar de que normalmente la biomasa provenga de algún tipo de vegetación, también es posible encontrarlo en otras fuentes (residuos orgánicos de origen animal, por ejemplo). Se puede encontrar 3 tipos de biocombustibles de acuerdo con su origen (Costa, 2013):

- De origen vegetal: Tienen su base en las plantas y algas. Algunos ejemplos son la higuera (con la que se produce biodiésel), el miscanthus (con el que se produce etanol), las algas (con la que se producen biodiésel), el maíz (con el que se produce etanol), etc.
- De origen animal: Tienen su origen principalmente en las grasas de animales comúnmente utilizados para la alimentación humana como el pollo, la vaca, etc, y siempre producen biodiésel. Se confunde un poco con la biomasa de origen residual, de hecho muchas veces esa grasa es oriunda de restos del procesamiento de carnes.
- De origen residual: Se originan de residuos que pueden ser animales, vegetales, o incluso de la naturaleza misma, como aguas residuales (empleadas para producir gas metano), restos de fritura de restaurantes (biodiésel), basura (etanol y gas metano), etc.

### Biocombustibles

Los biocombustibles o biocarburantes son líquidos combustibles producidos a partir de carga de biomasa mediante una serie de procesos químicos.

Los biocombustibles más importantes son el biodiésel (aceite vegetal) y el bioetanol y su derivado el éster terciario butil etil (ETBE) (de plantas de azúcar). Pueden sustituir directamente a los combustibles fósiles usados en motores (modificados o no) y usarse en pequeños calefactores, o producir electricidad, con la ventaja de aprovechar las mismas tuberías de los combustibles fósiles y con la ventaja adicional aceptada de

que sus emisiones perjudiciales son inferiores a las de dichos combustibles (Creus 2014).

A continuación, se detallan los diversos tipos de biocombustibles:

1. Biodiésel
2. Bioetanol
3. Biogás

Los biocarburos actuales o de primera generación que ya están en el mercado solo se pueden producir de manera sostenible en cantidades limitadas, por competir en usos de la tierra, o en materias primas con los productos alimentarios. En este sentido, deben contemplarse como una etapa de transición hasta el despliegue de tecnologías más evolucionadas (Vicente, 2012).

Es por esta razón que se debe poner énfasis en el desarrollo de nuevas alternativas de generación de biocombustibles, procedentes de materias primas no alimentarias y que cumplan con requisitos de sostenibilidad desde el punto de su viabilidad tecnológica y económica, con perspectiva de largo plazo (Vicente 2012).

### Biodiésel

El biodiésel es un combustible que se obtiene a partir de los aceites y grasas naturales por una reacción de transesterificación, donde el aceite se combina con un alcohol ligero (metanol, por ejemplo), obteniéndose el biodiésel y como residuo glicerina. Este biocarburo es la única energía de tipo limpio y renovable que se puede utilizar en los motores de ciclo diésel (Vicente, 2012).

Como se mencionó anteriormente, para la obtención del biodiésel es necesario llevar a cabo una reacción química llamada *transesterificación* que consiste en convertir los aceites vegetales obtenidos por prensado de semillas, filtración, y secado, en “biodiésel” líquido, tomando una molécula de triglicérido o un ácido graso complejo del aceite, neutralizar los ácidos grasos libres, extraer la glicerina y crear un éster de

alcohol, que debe presentar las características del combustible diésel (índice de cetano, viscosidad, etc.) (Damien, 2010).

Es necesario que el biodiésel sea mezclado en porcentajes de volumen – volumen con el petrodiesel para ser utilizado como combustible, de esta manera las combinaciones más habituales se dan desde 5% de biodiesel y 95% de petrodiesel (B5), hasta 20% de biodiesel - 80% petrodiesel (B20).

El biodiésel ha alcanzado un gran interés debido a sus múltiples ventajas entre las que se puede destacar (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA, 2007):

- El biodiésel tiene mayor lubricidad que el diésel de origen fósil, por lo que extiende la vida útil de los motores.
- Es más seguro de transportar y almacenar, ya que tiene un punto de inflamación 100°C mayor que el diésel fósil. El biodiésel podría explotar a una temperatura de 150°C.
- El biodiésel se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel fósil y puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diésel fósil.
- El biodiésel permite al productor agrícola autoabastecerse de combustible; además, su producción promueve la inclusión social de los habitantes menos favorecidos del sector rural, debido a que no requiere altos niveles de inversión.
- Prácticamente no contiene azufre, por lo que no genera SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), un gas que contribuye en forma significativa a la contaminación ambiental. El Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés) está considerando al azufre como el “plomo” del próximo siglo. Actualmente en todas partes las legislaciones están exigiendo disminuir el contenido de azufre del diésel, de manera que este sea Low sulpher diesel o LSD (diésel de bajo contenido de azufre). El LSD tiene un menor grado de lubricidad que el diésel, por lo que es más necesario adicionarle biodiésel.



- El biodiésel no contamina fuentes de agua superficial ni acuíferos subterráneos.

De esta manera el biocombustible obtenido a partir de aceite de higuera tiene un coste inferior en comparación con los obtenidos a partir de otros aceites debido a su solubilidad en alcohol de transesterificación, que se produce sin calentamiento (Conceição, et al., 2007). Además, el biodiesel producido a partir de semillas de ricino también satisface los estándares de calidad pertinentes sin tener en cuenta la viscosidad (Jeong y Park, 2009).

### Cultivos energéticos

Se puede entender como cultivo energético a aquel cultivo agrícola, forestal o acuático, cuya producción parcial o total se utiliza como materia prima para generar energía aprovechable. Clasificándolos del siguiente modo: 1) agrícolas: oleaginosos y fermentables, que a su vez pueden ser herbáceos o leñosos; 2) forestales: especies forestales, en particular las tradicionalmente utilizadas para madera; y 3) acuáticos: que son los menos desarrollados y se traba con algas, pero hay otras opciones viables (Nava y Doldán, 2014).

Los cultivos susceptibles de ser utilizados como productores de energía deben seleccionarse de acuerdo con la premisa general de obtener de forma rentable la máxima cantidad posible de energía neta compatible con las condiciones edafoclimáticas de cada zona (Sardón. 2003).

### Plantas oleaginosas

Los vegetales que contienen grandes cantidades de aceite en sus semillas o frutos se conocen como oleaginosos. Estas plantas provienen de diferentes familias botánicas y se han adaptado a las diferentes regiones climáticas del planeta, aunque las regiones tropicales son las que albergan la mayor cantidad de variedades de ella (Castro, Coello y Castillo, 2007). Las plantas oleaginosas han sido utilizadas por el hombre durante cientos de años para cubrir sus necesidades, bien sea para alimentación o para la elaboración de productos industriales.

En la actualidad existen algunas plantas importantes en el mercado mundial debido a sus propiedades, pudiendo nombrar algunas como la Soya, Higuierilla, Girasol, Maní, Palma Africana, Ajonjolí, Canola, Nuez y Jatropha.

#### Plantas oleaginosas en el Ecuador

En el país, debido a la variedad de climas, altura y suelos existentes se evidencia la presencia de algunos cultivos oleaginosos como la Soya, el Girasol, la Palma Africana y la Jatropha; en donde solo los dos últimas se usan para la elaboración de aceite con finalidades energéticas o industriales. No obstante, en el Ecuador hay algunas otras plantas ricas en aceite que aún no han sido desarrolladas como en otras naciones de la región y del mundo, perdiendo competitividad y mercado. Siendo así la higuierilla, el chontaduro y morete, las oleaginosas promisorias presentes en diferentes zonas del país.

#### La higuierilla

El origen de la higuierilla (*Ricinus communis L.*) se creía inicialmente que podía haberse dado en cuatro lugares: (i) Este de África (Etiopía), (ii) Noreste y Sureste de Asia y Península Árabe, (iii) India, y (iv) China (Severino et al., 2012). Sin embargo, Etiopía es considerado como el lugar de origen más probable debido a la presencia de una gran diversidad (Anjani, 2012).

El cultivo es plantado como oleaginosa de uso industrial, promisorio por sus amplios beneficios sociales y ambientales. El aceite de su semilla, contenido entre 40 y 60%, es utilizado en más de 700 aplicaciones industriales, y también como fuente de energía, siendo importante para la obtención de biodiesel, combustible no fósil, que puede sustituir aquellos derivados del petróleo, mitigando los efectos negativos que estos últimos tienen sobre el calentamiento global y el medio ambiente (Mazzani, Rodríguez, Marín, Gutiérrez y Zamora, 2013) citado en (Mazzani, 2007).

La higuierilla es un cultivo de semillas oleaginosas que tiene un valor comercial para su uso en la fabricación de tensoactivos, revestimientos, grasas, fungistáticos, productos farmacéuticos, cosméticos y muchos otros productos (Lima, Antonino,

Souza, Lira y Silva, 2013). Esta es una planta con el metabolismo fotosintético C3, que bajo condiciones de alta temperatura y humedad relativa presentan altos valores fotosintéticos, pero en condiciones de baja humedad relativa disminuye drásticamente como consecuencia del cierre de las estomas (Dai, Edwards y Ku, 1992).

### Higuerilla en el Ecuador

La higuerilla es un cultivo tradicional en el Ecuador, especialmente en la provincia de Manabí, donde se produce más del 80% del total nacional con rendimientos inferiores a 900 kg/ha. Esta baja productividad se debe al desconocimiento de las técnicas más adecuadas para manejar el cultivo, el uso de variedades no mejoradas, a la siembra tardía o fuera de época y a la utilización de semillas que poseen características indeseables para servir como tales (Mendoza y Reyes, 2015a, p. 1).

En Manabí, solo hay entre 300 y 500 hectáreas sembradas de higuerilla y no como cultivo intensivo, sino en forma de pequeñas parcelas. Este producto tiene un sinnúmero de usos de diversas áreas comerciales. Es por esto que impulsar la siembra en más cantones y sobre todo industrializarlo, es el reto para el próximo año. En esta provincia, la higuerilla se siembra en cantones como Rocafuerte, Tosagua y Chone (El Diario, 2015).

Según Rico et al. (2011), “las densidades de población de higuerilla deben ser entre 2.500 a 10.000 plantas por hectárea” (pp. 23-24), y así mismo Mendoza y Reyes (2015b), coinciden en que “la población debe ser de 10.000 plantas por hectárea, con una distancia de siembra de 1 metro entre surcos y 1 metro entre plantas, colocando una semilla por sitio” (p. 1).

### Requerimientos agroecológicos de la higuerilla

A pesar de que la higuerilla demuestra tener gran vigor y persistencia bajo diferentes condiciones de crecimiento, los requerimientos ecológicos deben ser favorables a fin de obtener mayor productividad. En general, su habilidad para producir frutos maduros es limitado por el clima, en especial cuando ocurren altas temperaturas y exceso de humedad durante su crecimiento (Mendoza y Reyes, 2015a).

- Requerimientos climáticos

De acuerdo con Duke (1983) “la higuera se encuentra presente en diferentes zonas de vida y puede tolerar precipitaciones anuales de 200 a 4.290 mm y temperaturas anuales en un rango de 7,0 a 27,8°C”. En regiones tropicales y subtropicales la planta es de tipo perenne, aunque en entornos con fuertes heladas o con una estación seca muy marcada es tratada como un cultivo anual para evitar la muerte de plantación (Falasca, Ulberich y Ulberich, 2012).

La temperatura media anual requerida durante el ciclo para que el cultivo tenga potencial productivo alto debe oscilar entre 19 y 30 °C. Si la temperatura es menor de 19 °C se podría incrementar el ciclo de cultivo y disminuir la producción de semilla, mientras que las altas temperaturas, mayores a 38 °C, provocan reducción sustancial del contenido de aceite en los granos y reversión sexual de flores féminas a masculinas (Córdoba y Ríos, 2008; Matos, 2007; Díaz *et. al.*, 2012; IICA y ARPEL, 2009; Samayoa, 2007). Es una planta heliófila, por lo que debe ser sembrada en plena exposición solar (si se siembra a la sombra, su crecimiento y producción son perjudicados sensiblemente) (IICA Y ARPEL, 2009).

Si bien la higuera es resistente a sequías en periodos prolongado, éstas afectan el peso y el contenido de aceite de las semillas (IICA y ARPEL, 2009). El rango de precipitación para que este cultivo tenga un buen rendimiento debe ser entre 400 a 1.500 mm (Matos, 2007; Diaz *et. al.*, 2012). Lluvias superiores a 1 500 mm son consideradas excesivas para esta planta, pudiendo provocar diversos problemas como crecimiento excesivo, enfermedades y suelos anegados (Matos, 2007).

- Requerimientos edafológicos

El suelo para cultivar higuera debe poseer cualquier textura excepto la arcillosa, con una profundidad efectiva de entre 30 y 150 cm (Recalde y Durán, 2009). La planta crece bien en suelos de mediana a alta fertilidad, evitando aquellos que acumulan exceso de agua produciendo problemas de encharcamiento y con pendiente

no mayor a 12% debido a que limita el desarrollo del cultivo (Samayoa, 2007; IICA y ARPEL, 2009).

El rango óptimo de pH para el desarrollo del cultivo de higuierilla es de 5,5 a 7,0 por lo tanto, valores de pH por debajo de 5,4 afectan al crecimiento normal y el potencial de rendimiento del cultivo (Martínez y Montenegro, 2008).

Los requerimientos climáticos y edafológicos (entre otros) de la planta están estrechamente conectados con la producción de biodiesel, sin embargo, dicha producción no es constante en el tiempo por distintos factores, por lo que es necesario recurrir a un modelo estadístico que permita estimar la variación en un escenario futuro.

#### Modelo de regresión lineal simple

Por costumbre se dice que “x” es la variable independiente y “y” la variable dependiente. Sin embargo, eso causa confusión con el concepto de la independencia estadística, así que aquí llamaremos a “x” la variable predictora o regresora y “y” la variable de respuesta. Como la ecuación (1) sólo tiene una variable regresora, se llama modelo de regresión lineal simple (Montgomery, Peck y Vining, 2006, p. 1).

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

Para comprender mejor el modelo de regresión lineal, supongamos que se puede fijar el valor de la variable regresora “x” para observar el valor correspondiente de la respuesta “y” (Montgomery et al., 2006, p.2)

#### Comprobación de la adecuación del modelo

Las condiciones que debe cumplir la adecuación del modelo son (Universidad Nacional Autónoma de México, 2018):

- Coeficiente muestral de determinación ( $R^2$ ): Es igual a la proporción de la variación total de los valores de la variable dependiente o de respuesta, es

decir, mide el grado o fuerza, de la relación que existe entre dos variables, “x” y “y”.

- Coeficiente muestral de correlación (R): Es un índice alternativo común del grado de asociación o correlación de la variable regresora con la de respuesta.
- Error estándar de estimación: Mide la variabilidad o dispersión de los valores observados alrededor de la línea de regresión, por lo tanto, si ésta se acerca a cero se espera que el modelo sea un estimador “perfecto” de la variable de respuesta, en este caso no habría puntos dispersos.

### Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un SIG es un sistema compuesto por hardware, software, procedimientos y equipo humano para capturar, manejar, manipular, transformar, analizar y modelizar datos geográficos, permitiendo representar los objetos del mundo real en términos de posición, atributos y de las interrelaciones espaciales, con el objeto de analizar estos datos y de resolver problemas de gestión y planificación (Dávila, 2016, p. 13).

El uso de este tipo de sistemas facilita la visualización de los datos obtenidos en un mapa con el fin de reflejar y relacionar fenómenos geográficos de cualquier tipo, desde mapas de carreteras hasta sistemas de identificación de parcelas agrícolas o de densidad de población. Además, permiten realizar las consultas y representar los resultados en entornos web y dispositivos móviles de un modo ágil e intuitivo, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión, conformándose como un valioso apoyo en la toma de decisiones (Confederación de Empresarios de Andalucía, 2010).

### ArcMap

ArcMap es la aplicación primaria de ArcGIS que proporciona las herramientas básicas para visualizar, explorar, consultar, analizar información geográfica y generar mapas con calidad de presentación. ArcMap facilita el acceso, visualización y navegación de los datos espaciales, incluyendo funciones de análisis, gráficos e

informes y una colección completa de herramientas de edición para crear y editar los datos geográficos (Peña, 2009, p. 127).

### Justificación

La presente investigación conforme al lineamiento de cambio de matriz energética estipulado en el país tiene la finalidad de implementar nuevas fuentes de energías, ya que es una prioridad para el desarrollo económico y energético del Ecuador, considerando a las renovables como uno de los pilares fundamentales para conseguirlo.

La higuera crece de forma natural en los suelos y pisos climáticos de la provincia, existiendo una gran variedad de especies, las cuales tendrían diferentes potenciales energéticos en cuanto a producción de aceite, de ahí la necesidad de realizar el estudio para brindar una respuesta a esta problemática y determinar de acuerdo con el análisis de variables climatológicas y edafológicas, la adecuada ubicación para la implementación de este cultivo energético.

En base a la demanda proyectada de biodiésel se determinará la adecuada ubicación en la provincia de Imbabura del cultivo de higuera, el cual por sus características biológicas posee un alto potencial energético aprovechable.

Para la realización de éste, se consideran las variables climatológicas como: temperatura y precipitación. Además de las variables edafológicas tales como: textura, pH, profundidad efectiva y pendientes, que ayudarán a determinar el lugar óptimo para un adecuado cultivo.

En vista que no existen estudios que determinen el área óptima de cultivo con fines energéticos de la higuera en Imbabura, la relación de las variables edafoclimáticas permitirá estimar el potencial energético en la provincia para posteriormente proponer la ubicación de la biorefinería con una proyección de crecimiento de producción en base a la demanda de combustible proyectada.

## **1.2. Preguntas directrices de la investigación**

¿Cuál es la cantidad de diésel fósil necesario para suplir la posible demanda en la ciudad de Ibarra en el año 2030?

¿Cuánto aceite es necesario para sustituir un 5% en el diésel fósil de consumo en la ciudad de Ibarra en el año 2016 y en el año 2030?

¿Cómo afectan las variables climáticas y edafológicas en el desarrollo del cultivo energético de higuierilla y en la determinación de las zonas óptimas?

¿Cuál es la extensión de terreno necesaria y cuál es la extensión de terreno existente para el cultivo de higuierilla?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar la demanda de biodiesel B5 a partir del cultivo energético de higuierilla (*Ricinus communis L.*) en la provincia de Imbabura.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la demanda de biodiesel actual y con proyección al 2030.
- Analizar las variables climáticas, edafológicas y restricciones a considerar para ubicar las áreas óptimas del cultivo de higuierilla.
- Comparar la producción potencial de biodiesel con la demanda actual y con proyección al 2030.

## **1.4. Hipótesis**

La demanda de biodiesel B5 en Imbabura puede ser suplida por el cultivo energético de higuierilla bajo condiciones edafoclimáticas óptimas.



## **1.5. Marco legal**

La presente investigación tiene su sustento en la Constitución de la República del Ecuador y en el Decreto Ejecutivo 1303 expedido el 28 de septiembre del 2012, así:

### **1.5.1. Constitución de la República del Ecuador**

Establece en los artículos:

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente 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.

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

### **1.5.2. Decreto Ejecutivo 1303**

Expedido el 28 de septiembre del 2012

Artículo 1.- Declárese de interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país como medio para el impulso del fomento agrícola. 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.

Artículo 2.- El combustible diésel Premium que se utilice en el país deberá contener biodiesel de origen vegetal de producción nacional, para uso en motores diésel.

Artículo 3.- Contados ocho (8) meses a partir de la suscripción del presente Decreto Ejecutivo, la distribución y comercialización de la mezcla de diésel base con biodiesel de producción nacional, se aplicará en todo el territorio nacional en una proporción del 5% de biodiesel (B5), de acuerdo con los requisitos técnicos que determine la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrfico.

Artículo 4.- La producción, distribución y comercialización de biodiesel estará sometida a la libre competencia, y como tal, podrán participar en estas actividades las personas naturales o jurídicas de carácter público o privado, en igualdad de condiciones, según lo establece la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública.

Artículo 5.- La transportación de biodiesel desde los centros de producción hasta las terminales de la EP PETROECUADOR, será de responsabilidad de los productores, distribuidores y comercializadores de biodiesel; y, la recepción, almacenamiento, mezcla del biodiesel con diésel base y la comercialización de dicha mezcla, será responsabilidad de EP PETROECUADOR de acuerdo con la normativa que establezca la Agencia de regulación y Control Hidrocarburiífero, para el efecto.

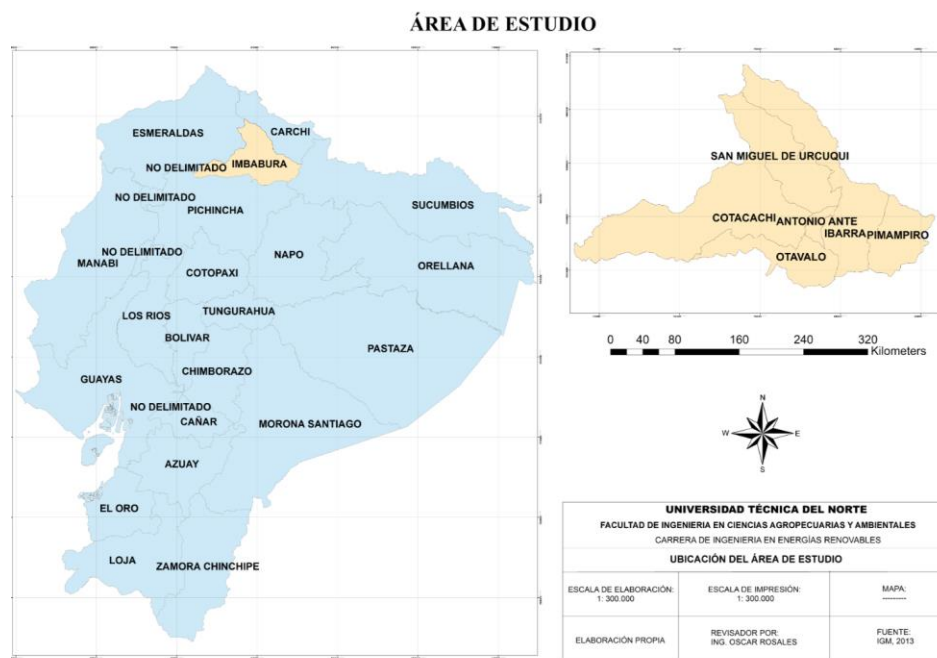
## CAPITULO II

### MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Caracterización del área de estudio

La provincia de Imbabura está localizada en la sierra del norte del Ecuador, en las coordenadas 00° 07' y 00° 52' latitud norte; 77° 48' y 79° 12' longitud oeste, cubriendo 4.353 Km<sup>2</sup>. Sus límites son al norte la provincia del Carchi, al este Sucumbíos, al sur Pichincha y al oeste de Esmeraldas. Imbabura consta de seis cantones: Pimampiro, Urcuquí, Otavalo, Cotacachi, Antonio Ante e Ibarra siendo ésta última la capital de la provincia. Además, posee variedades de climas debidas principalmente al relieve irregular existente, la altitud de la provincia oscila entre 600 msnm, en la parte baja del río Guayllabamba, y 4.939 msnm en la cima del volcán Cotacachi (Prefectura de Imbabura, 2017).

Es de importancia destacar que en Imbabura habitan 389.244 personas según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2010), las que se destacan por sus destrezas manuales, comerciales y de agricultura.



**Figura 1.** Ubicación de la provincia de Imbabura con respecto al Ecuador continental

## 2.2. Métodos

### 2.2.1. Determinación de la demanda de biodiesel actual y con proyección al 2030

- *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 la norma de calidad NTE INEN 1489:2012 de contenido de azufre (expresado en partes por millón) mínima para la comercialización destinada hacia los automotores del Ecuador.

En la tabla 1, se muestran los datos de demanda por año de diésel premium desde el año 2012 hasta el 2016, en donde se aprecia que la demanda tiene tendencia creciente hasta el penúltimo año.

**Tabla 1.** Demanda histórica de diésel premium en Imbabura

Diésel premium (gal)	Año
21.933.489	2007
23.077.650	2008
25.380.754	2009
27.323.170	2010
29.429.610	2011
29.222.760	2012
32.458.020	2013
34.406.316	2014
34.564.278	2015
31.688.873	2016

**Fuente:** Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER, 2018) y (BEN, 2014, 2015, 2016, 2017)

- *Cálculo de la cantidad de biodiesel para cubrir un panorama B5 en base a la demanda de diésel actual*

Para calcular la demanda de biodiesel necesario que se debió cubrir en Imbabura, se tomó el 100% del consumo de diésel premium del año base 2016 y se determinó el 5% de ese valor, debido a que ese es el porcentaje de combustible a ser reemplazado para cumplir con el panorama propuesto.

Una vez calculado la cantidad de combustible a sustituir por biodiesel se procedió a determinar cuántas hectáreas son necesarias para abastecer esa cantidad de diésel premium en el 2016.

- *Proyección de demanda de biodiesel en Imbabura en el año 2030*

Para conocer la cantidad de diésel que requerirá la provincia en el año 2030, se precisaba la demanda histórica de este combustible fósil, pero debido a limitaciones para conseguir la data se utilizó la demanda histórica de los últimos diez años, esto con la finalidad de contar con datos exactos y una cantidad suficiente de los mismos asegurando la veracidad de las proyecciones obtenidas.

Mediante el estudio de los datos se estableció el mejor ajuste de los coeficientes de determinación individual y a su vez se construyó el modelo de regresión, usando el programa IBM SPSS 20, en el que se obtuvieron constantes y coeficientes, tales como el coeficiente de correlación (R), coeficiente de determinación normal (R<sup>2</sup>), coeficiente de determinación normal ajustado (Ra<sup>2</sup>) y error estándar de estimación. La proyección de la demanda se realizó a través del método de regresión lineal simple.

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 fue la variable dependiente del tiempo.

Ecuaciones 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

$$\sum Y = an + b\sum Xi \quad (2)$$

Despejando  $a$  se obtiene:

$$a = \frac{\sum Y}{n} \quad (3)$$

Donde:

$a$  = desviación al origen de la recta

$\sum Y$  = sumatoria de la demanda

$n$  = número de años de los datos obtenidos

$$\sum XY = a\sum Xi + b\sum X^2 \quad (4)$$

Despejando  $b$  se obtiene:

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} \quad (5)$$

Donde:

$b$  = pendiente de la recta

$\sum XY$  = Sumatoria del producto entre la variable tiempo y la variable demanda

$\sum X^2$  = Sumatoria de la variable tiempo elevado al cuadrado

- *Rendimiento en la producción del aceite de higuera*

El rendimiento fue esencial para la determinación de las áreas potenciales debido a que se obtiene la cantidad de aceite que pueden producir las semillas de higuera por cada hectárea cultivada. Según Reyes y Mendoza (2015b), “el rendimiento de aceite de higuera INIAP – 401 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 higuera*

El proceso de transesterificación del aceite de higuera es fundamental para su conversión en biodiesel, ya que debido a su alta viscosidad y baja volatilidad no permiten que se quemé por completo en los motores y además forma depósitos en el inyector de combustible (Shrirame, Panwar y Bamniya, 2011). Mafla, Revelo, Hernández y Benavides (2016), sostienen que “en base a experimentaciones realizadas, el rendimiento de conversión del aceite de higuera en biodiesel es del 63%” (p. 4).

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

- *Selección de variables*

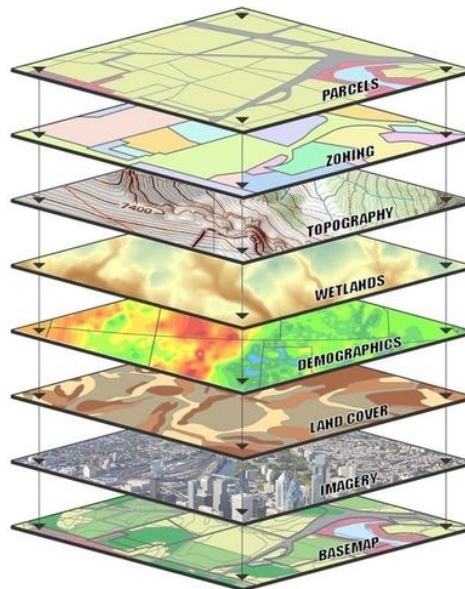
Para seleccionar las variables que se analizaron del cultivo de higuera, era necesario conocer los principales factores que influyen en el crecimiento de una planta. Así, según la base de datos mundial Ecocrop (2013), las plantas necesitan ciertas características idóneas dependiendo de su especie para un excelente desarrollo. En Ecocrop se puede encontrar información relacionada con alrededor de 1.700 plantas y entre ellas la higuera, sin embargo, fue necesario corroborar y completar dichas características con investigaciones referentes al mismo tema.

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, pendiente y cobertura y uso de suelo, debido al nivel de influencia que tienen en el desarrollo de la higuierilla ya que se relacionan directamente con la planta y su rendimiento de aceite.

- *Construcción de bases de datos geográficos*

En un Sistema de Información Geográfica (SIG) se realizó la construcción de bases de datos geográficos, fundamentados en la superposición de capas temáticas (figura 2), estas capas de datos relativamente sencillos (puntos, líneas, polígonos, rásteres) se pueden combinar a través de la ubicación, es decir georreferenciando datasets concretos para que se combinaran en un mapa o se mostraran superpuestos mediante operaciones de geoprocésamiento, a menudo se utiliza este enfoque para buscar las ubicaciones que son adecuadas para un uso en particular (Environmental Systems Research Institute, 2017).



**Figura 2.** Superposición de capas temáticas en Sistemas de Información Geográfica

**Fuente:** California State University (2017)



- *Recopilación de información*

La recopilación de información bibliográfica y cartográfica debió ser editada y ordenada para su posterior estudio. Partiendo desde las cartas topográficas digitalizadas del Ecuador en escala 1:50.000 correspondientes a la zona 17 sur, expresadas en coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) obtenidas del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM).

También se utilizó información obtenida por medio de varias fuentes secundarias, como fueron SNI (Sistema Nacional de Información), coordinado por la SENPLADES e INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) en la parte climática. Así como en la parte edáfica el IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano), MAGAP – MAE (Ministerio de Agricultura y Pesca y del Ministerio del Ambiente) y SIGAGRO (Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria), perteneciente al Ministerio de Agricultura y Pesca.

- *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 higuera.

- *Elaboración de mapas temáticos*

#### Temperatura (Isotermas)

Mediante el trazado de una red de isolíneas de temperatura media anual en intervalos de 1°C se hizo en base a una homogenización de las series de temperatura de la red de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para el periodo comprendido desde 1981 hasta 2010, ajustado a escala

1:50.000 (IEE, 2014a). La temperatura media anual oscila entre 10,3 °C (Estación Meteorológica de Irugincho) y 23,0 °C (Estación Meteorológica Lita).

El mapa de isotermas, proporcionado por (INAMHI, 2017) provee la siguiente información simbólica:

**Tabla 2.** Simbología en el mapa de isotermas

Temperatura (°C)	Área (ha)
11-12	3.106,39
5-6	722,38
4-5	579,98
22-23	321.110,85
19-20	300.968,29
18-19	310.022,52
17-18	289.360,10
16-17	247.599,42
13-14	434.955,17
11-12	405.089,87
8-9	7.560,55
6-7	1.106,88
7-8	2.264,28
8-9	251.106,12
9-10	379.787,97
10-11	412.778,98
14-15	504.238,43
15-16	225.248,28
23-24	1.129.226,23

Temperatura (°C)	Área (ha)
9-10	17.935,17
6-7	4.732,97
12-13	512.768,28
7-8	162.897,63
21-22	334.751,94
20-21	269.236,73
24-25	2.567.097,53
23-24	1.129.226,23

### Precipitación (Isoyetas)

Mediante el trazado de una red de isolíneas de precipitación medias anuales en intervalos de 100 mm, se hizo en base a una homogeneización de las series de precipitación de la red de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para el periodo comprendido entre los años 1981 - 2010, ajustado a escala 1:50.000 (IEE, 2014b).

El mapa de isoyetas, proporcionado por (INAMHI, 2017) tiene la siguiente información simbólica:

**Tabla 3.** Simbología en el mapa de isoyetas

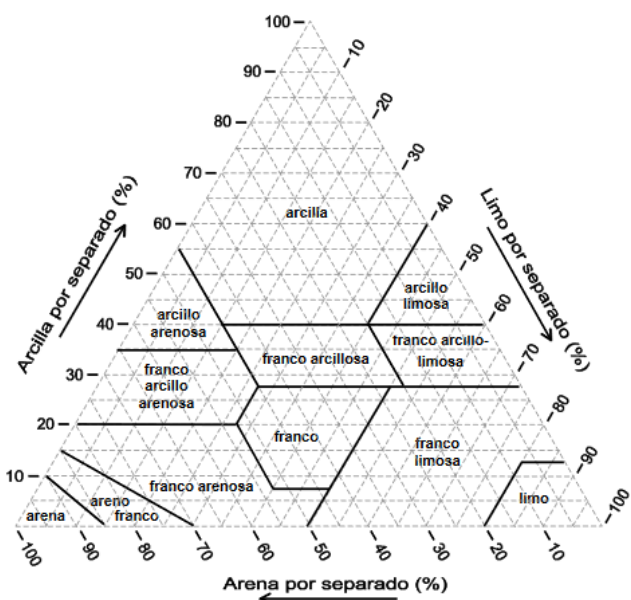
Rango (mm)	Área (ha)
0 – 250	23.415
250 – 500	44.324
500 – 750	89.847
750 – 1 000	118.029
1 000 – 1 250	204.866

Rango (mm)	Área (ha)
1 250 – 1 500	1.325.991
1 500 – 1 750	769.087
1 750 – 2 000	805.721
2 000 – 2500	943.302
2 500 – 3 000	527.173
3 000 – 3 500	274.252
3 500 – 4 000	167.379
4 000 – 4 500	171.156
4 500 – 5 000	227.150
5 000 – 5 500	226.962

### Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula (o separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo (Figura 3).

Los nombres para las clases de tamaño de partícula corresponden estrechamente con la terminología estándar comúnmente utilizada, incluida aquella del sistema utilizado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Sin embargo, muchos sistemas nacionales que describen el tamaño de las partículas y las clases texturales usan más o menos los mismos nombres, pero diferentes fracciones de grano de arena, limo y arcilla, y clases texturales (FAO, 2009).



**Figura 3.** Triángulo de clases texturales del suelo según el USDA

Fuente: (USDA, 1999)

Como se mencionó con anterioridad, la información de textura fue obtenida del (IEE, 2014c) por lo que tiene simbología específica que se describen a continuación:

**Tabla 4.** Simbología para la clasificación de texturas

Tipo	Símbolo	Descripción
Arena	A	
Arena muy fina	AMF	
Arena fina	AFi	Tiene un buen drenaje y se cultivan con facilidad, pero también se secan fácilmente y los nutrientes se pierden por lavado
Arena media	AM	
Arena gruesa	AG	
Areno francoso	AF	
Franco	F	
Franco arenoso	FA	
Franco limoso	FL	Muestran mayor capacidad de uso agrícola
Franco arcilloso	FY	

Franco arcillo - arenoso	FYA	
Franco arcillo - limoso	FYL	
Limoso	L	Son texturas que dan una sensación harinosa (como polvo del talco). Tienen velocidad de infiltración baja, almacenamiento de nutrientes medio
Arcilloso	Y	
Arcillo – arenoso	YA	Tienden a no drenar bien, se compactan con facilidad y se cultivan con dificultad y, a su vez, presentan una buena capacidad de retención de agua y nutrientes
Arcillo – limoso	YL	
Arcilla - pesada	YP	

### Pendiente

La pendiente se refiere al grado de inclinación de los terrenos y se define como el ángulo formado por dos lados, siendo la forma normal de expresar la medición de un ángulo utilizando el sistema sexagesimal (grados, minutos y segundos). Otra forma conocida y de uso corriente, de expresar la pendiente es en porcentaje, con este método se abrevia bastante los cálculos, en lugar de expresarla como un ángulo, es más interesante representar la pendiente del terreno como un valor de tanto por ciento; esto se obtiene multiplicando por 100 la tangente del ángulo que define el desnivel del suelo (Alcántara, 2010).

$$m = \frac{\text{Dist. en vertical}}{\text{Dist. horizontal}} \times 100 \quad (6)$$

Dónde:

*m = es la pendiente del suelo*

*Distancia en vertical = altura entre dos puntos*

*Distancia horizontal = Distancia horizontal entre dos puntos*

Es necesario precisar que la pendiente, es un parámetro que influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, puesto que mientras más pronunciada

sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua a través del perfil; además en un sistema de riego de superficie, se debe considerar como una de las variables más importantes para lograr su máxima eficiencia sin afectar al terreno (Beláustegui, 1999).

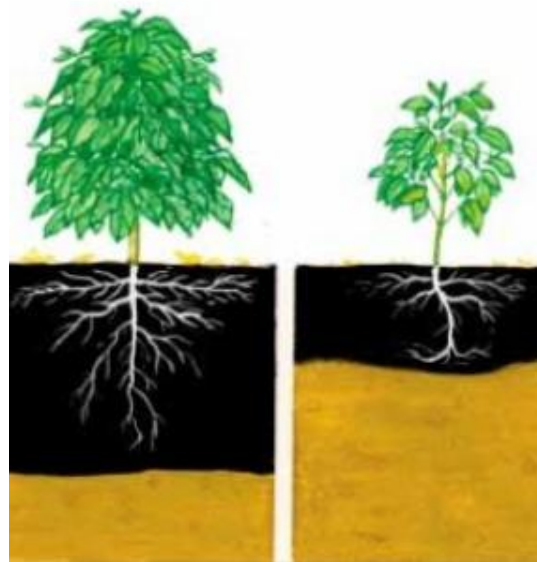
La información de pendiente se obtuvo del (IEE, 2014d) por lo que la simbología específica se describe a continuación:

**Tabla 5.** Tipos de pendientes

Tipo	Símbolo	Descripción
0 a 5%	(1)	Relieves completamente planos a casi planos.
> 5 a 12%	(2)	Relieves suaves a ligeramente inclinado.
> 12 a 25%	(3)	Relieves ligeramente ondulados (micro relieve).
> 25 a 50%	(4)	Relieve moderadamente ondulado.
> 50 a 70%	(5)	Relieves colinados.
>70 a 100%	(6)	Relieves escarpados.

### Profundidad efectiva

La profundidad del suelo es un factor limitante para el desarrollo de las raíces (debido a que usan el suelo a profundidades que van desde unos pocos centímetros a más de un metro) y de disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, afectando además la infiltración y las opciones de labranza. Los suelos superficiales tienen menor volumen disponible para la retención de agua y nutrientes y también pueden ser susceptibles a la erosión porque la infiltración del agua está restringida por el substrato rocoso (Casanova, Vera, Luzio y Salazar, 2004).



**Figura 4.** Esquema de la profundidad efectiva del suelo

**Fuente:** (Suelos para el cafeto, 2011)

Los atributos de profundidad efectiva proporcionados por (SIGAGRO, 2013) se describe a continuación:

**Tabla 6.** Clasificación de profundidad efectiva del suelo

Tipo (cm)	Símbolo	Descripción
0 a 20	(1)	Superficial
20 a 50	(2)	Poco profundo
50 a 100	(3)	Moderadamente profundo
> 100	(4)	Profundo

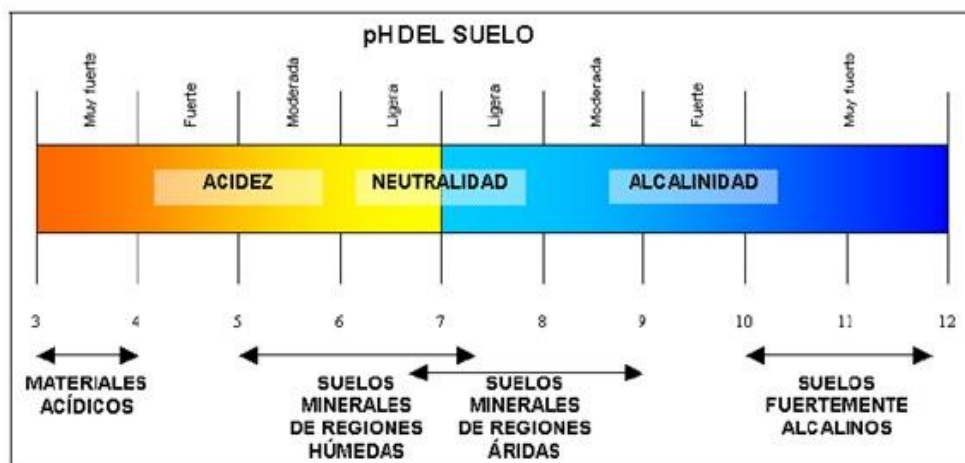


## pH

El pH es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas. Por definición se considera que el pH es el logaritmo negativo de la actividad de los protones ( $H^+$ ) en una solución acuosa (Osorio, 2012).

$$pH = -\log(H^+) \quad (7)$$

En los suelos el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es de donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes. El pH usa una escala de medición cuyo rango de fluctuación es de 0 a 14 (Osorio 2012). Aquellos valores que están alrededor de 7 son llamados neutros, mientras que los que están por encima de ese valor son considerados básicos o alcalinos y los que se encuentran por debajo de 7 se denominan ácidos.



**Figura 5.** Diagrama del pH de diferentes suelos

Fuente: (IBN, 2016)

Los atributos de pH proporcionados por (IEE, 2015) se describen a continuación:

**Tabla 7.** Clasificación de pH del suelo

Etiqueta del pH	Descripción
Muy ácido	0,0 - < 5,0
Ácido	5,0 – 5,5
Medianamente ácido	>5,5 – 6,0
Ligeramente ácido	>6,0 – 6,5
Prácticamente neutro	>6,5 – 7,5 (Excepto 7)
Neutro	7,0
Ligeramente alcalino	>7,5 – 8,0
Medianamente alcalino	>8,0 – 8,5
Alcalino	>8,5
No aplicable	Indica que el atributo no es aplicable al objeto

### Cobertura y uso del suelo

La cobertura comprende todo lo que ocupa un espacio determinado dentro de un ecosistema y su conocimiento es indispensable para definir, determinar y cartografiar unidades ecológicas homogéneas. Existen diferentes tipos de cobertura los cuales se agrupan en clases de acuerdo con sus características, y estas últimas, se agrupan en unidades que en su orden jerárquico son vegetal, degradada, hídrica y construida (Municipio de Miranda Cauca, 2001).

La realización de la información empieza delimitando y caracterizando las diferentes unidades de cobertura de la tierra, dentro de los que se destacan: cultivos, pastizales, cuerpos de agua, áreas pobladas, infraestructura, plantaciones forestales, bosques nativos, vegetación herbácea, vegetación arbustiva y páramos, los que por presentar características comunes se agrupan en una clase o categoría de uso de la tierra que indica la ocupación actual del suelo (IEE, 2014d).

Los atributos de cobertura y uso de suelo proporcionados por (MAGAP – MAE, 2015) se describen a continuación:

**Tabla 8.** Clasificación de la cobertura y uso del suelo

Tipo	Símbolo	Descripción
Bosque	11	Bosque nativo
Bosque	12	Plantación forestal
Tierra agropecuaria	21	Cultivo anual
Tierra agropecuaria	22	Cultivo semi - permanente
Tierra agropecuaria	23	Cultivo permanente
Tierra agropecuaria	24	Otras tierras agrícolas
Tierra agropecuaria	25	Pastizal
Tierra agropecuaria	26	Mosaico agropecuario
Vegetación arbustiva y herbácea	31	Vegetación arbustiva
Vegetación arbustiva y herbácea	32	Paramo
Cuerpo de agua	41	Natural
Zona antrópica	51	Área poblada
Zona antrópica	52	Infraestructura
Otras áreas	61	Área sin cobertura vegetal

### Áreas protegidas

La conservación y protección del patrimonio natural compete a todos aquellos que se beneficien directa o indirectamente de los servicios que proveen los ecosistemas y sus procesos ecológicos dentro del estado. En la actualidad, la integridad de los ecosistemas que conforman este patrimonio se ve amenazada por diversos problemas derivados de los asentamientos humanos irregulares, así como de la falta de ordenamiento y regulación en el cambio de uso del suelo; la tala ilegal de árboles y la extracción comercial clandestina de recursos vegetales; la cacería furtiva de fauna silvestre, en muchos de los casos endémica; la ocurrencia de incendios forestales ocasionados por factores antropogénicos (Ruiz y Arellano, 2010).

Los atributos de áreas protegidas proporcionados por (MAE, 2015) se describen a continuación:

**Tabla 9.** Áreas protegidas en Imbabura

Nombre	Área (ha)
Cayambe Coca	408.284,573
Cotacachi Cayapas	232.569,338
Neblina Sur	1.029,366
Cushnirumi (San Alberto)	84,390
Pajas de oro	278,366
Hacienda Piganta	1.005,193
Siempre verde	406,589
Siempre Vida	310,239
Animanga o Taminanga grande	1.096,131
Los Cedros	5.255,622
Peribuela - Imantag	346,647
Tambo Grande La Florida	150,020
Sub cuenca del Río Blanco - Pimampiro	1.060,786
Paso Alto	4.813,804
Cascada de Peguche	39,841
La Chontal - Inatg	6.988,816
Guayabillas	56,705
Ceb2	2.216,202

### **2.2.3. 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 higuera 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.

Se plantearon tres casos, así, en el primero se clasificaron los valores de los requerimientos climáticos y edáficos denominado como “Óptimo”, en el segundo caso llamado “Óptimo (cultivos asociados)” se tomaron en cuenta los mismos rangos de los requerimientos, exceptuando la vegetación arbustiva que fue remplazada por cultivos asociados semipermanentes o temporales.

Y en el último, el caso “Climático” solamente se trabajó con las variables climáticas debido a que, a pesar de que todos los requerimientos edáficos son sumamente importantes para el desarrollo de la higuera y el rendimiento de aceite, la cantidad de lluvia y su distribución en el tiempo en un sitio o región determinados pueden permitir que se alcancen rendimientos óptimos en los cultivos o pueden impedirlo. Así, los factores que más limitan la productividad ocurren cuando el volumen de agua debido a la lluvia o por irrigación es menor al requerimiento del cultivo, o cuando se tiene poca disponibilidad de agua en los momentos de demanda máxima en combinación con suelos con baja capacidad para retener la humedad en forma disponible (Muñoz, 2009).

La determinación de estos casos se llevó a cabo mediante el estudio de las exigencias que la higuera necesita para tener alto potencial productivo. Dichos casos se muestran en la tabla 10 y 11, donde se ubican los rangos de cada variable de acuerdo con lo requerido por la planta.

**Tabla 10.** Casos de los requerimientos climáticos y edáficos

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

**Tabla 11.** Caso de los requerimientos climáticos

Caso	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Climático	$\geq 16$ a $\leq 30$	$\geq 400$ a $\leq 1.500$

- *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.

#### Métodos de Superposición

En general, existen dos métodos para realizar el análisis de superposición: superposición de entidades (puntos, líneas o polígonos que se superponen) y superposición de rásteres. Algunos tipos de análisis de superposición se prestan a uno u otro de estos métodos. El análisis de superposición para buscar las ubicaciones que reúnen determinados criterios, a menudo, se realiza mejor con la superposición de rásteres (ESRI, 2016).

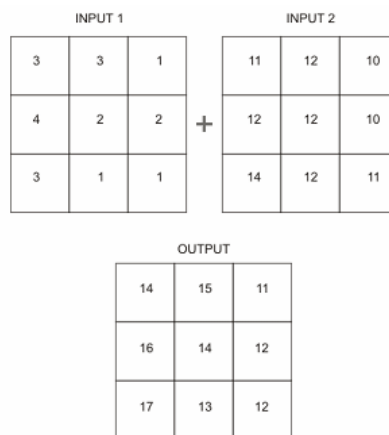
### Superposición de entidades

Los elementos clave en la superposición de entidades son la capa de entrada, la capa de superposición y la capa de salida. La función superposición divide las entidades de la capa de entrada donde están superpuestas por las entidades de la capa de superposición. Se crean nuevas áreas donde intersecan los polígonos. Si la capa de entrada contiene líneas, las líneas se dividen donde las cruzan los polígonos. Estas nuevas entidades se almacenan en la capa de salida, la capa de entrada original no se modifica (ESRI, 2016).

### Superposición de rásteres

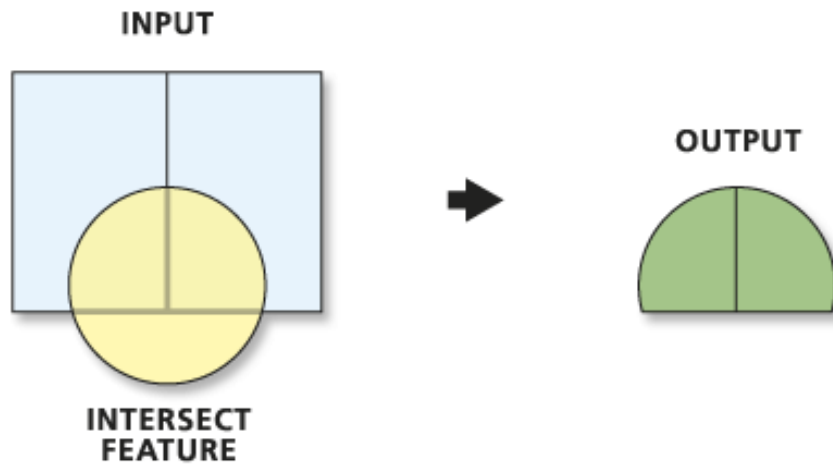
En la superposición de rásteres, cada celda de cada capa hace referencia a la misma ubicación geográfica. Esto la hace apta para combinar las características de varias capas en una sola capa. Generalmente, se asignan valores numéricos a cada característica, lo que le permite combinar matemáticamente las capas y asignar un nuevo valor a cada celda en la capa de salida (ESRI, 2016).

Este enfoque, generalmente, se utiliza para clasificar los valores de atributos según la adecuación o el riesgo, para luego sumarlos a fin de producir una clasificación general para cada celda. También se puede asignar una importancia relativa a todas las capas para crear una clasificación de peso (las clasificaciones en cada capa se multiplican por el valor de peso de esa capa antes de sumarlas a las otras capas) (ESRI, 2016).



**Figura 6.** Superposición de rásteres por suma  
**Fuente:** (ESRI, 2016)

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).

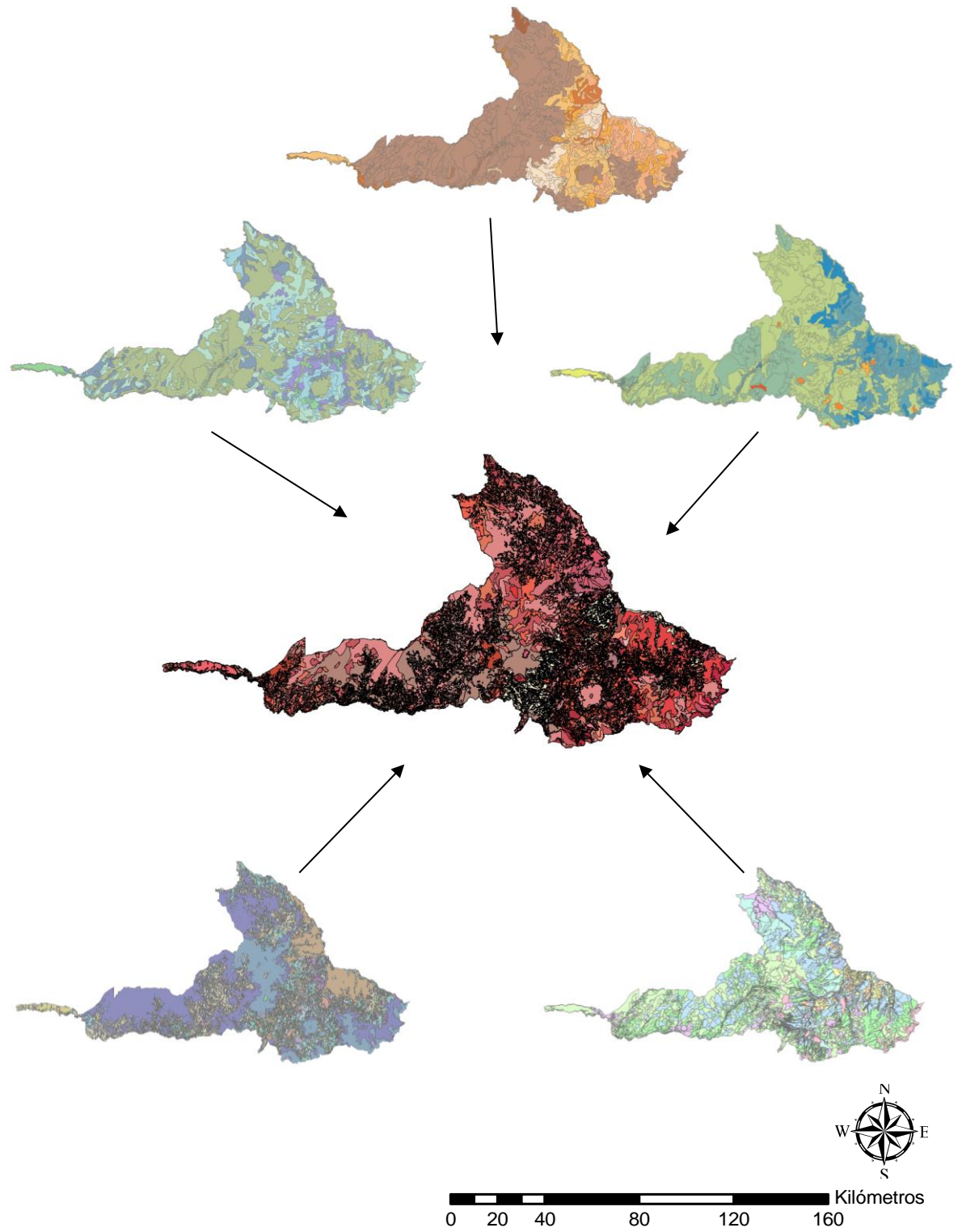


**Figura 7.** Diagrama de la herramienta intersecar

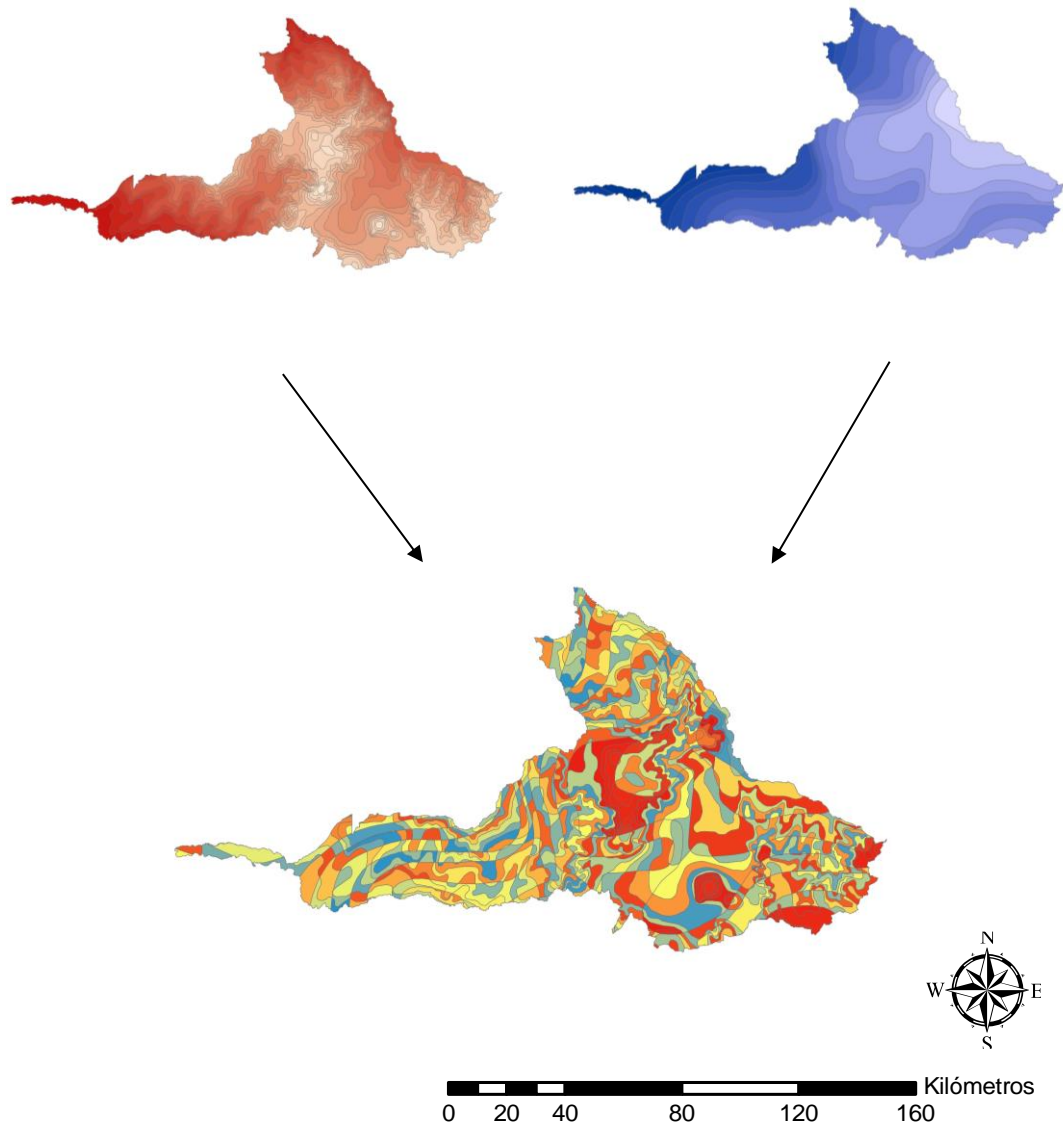
**Fuente:** (ESRI, 2016)

Es así como mediante la intersección de los mapas de pendientes, textura, cobertura vegetal, pH del suelo y profundidad efectiva, y los mapas de isoyetas e isotermas, se obtuvieron como entidades resultantes los mapas geopedológico y climático respectivamente, en los cuales los atributos ya fueron combinados en una sola para su posterior consulta (ver figura 8 y figura 9).





**Figura 8.** Elaboración de mapa geopedológico



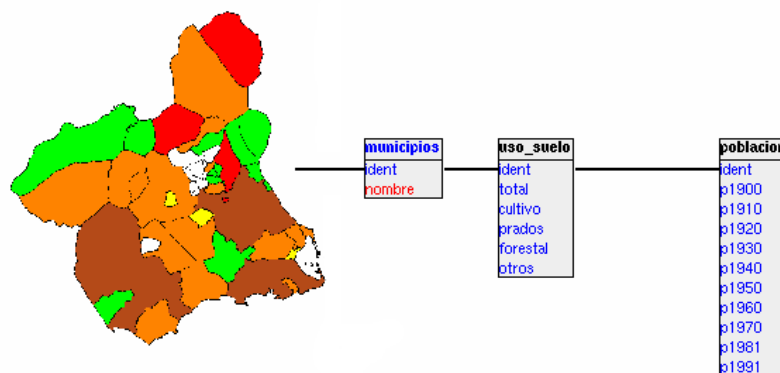
**Figura 9.** Elaboración de mapa climático

- *Lenguaje estructurado de consulta SQL*

El lenguaje estructurado de consultas (SQL, Structured Query Language) apoya la creación y mantenimiento de la base de datos relacional y la gestión de los datos dentro de la base de datos. SQL es el lenguaje más ampliamente implementado para las bases de datos relacionales, ya que de la misma manera que las matemáticas son el lenguaje de la ciencia, SQL es el lenguaje de las bases de datos relacionales. El SQL no solamente permite administrar los datos dentro de la base de datos, sino también manejar la base de datos en sí (Oppel y Sheldon, 2010).

Lo más habitual es utilizar el SGBD para almacenar la información temática y el SIG para la información geométrica y topológica. Una de las funcionalidades de este modelo es el enlazado de ambos tipos de información que se almacenan de formas completamente diferentes. Se trata del modelo de datos geo-relacional (Sarria, 2005).

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 (Sarria, 2005).



**Figura 10.** Base de datos geo-relacional

Fuente: (Alonso, 2016)

Es así como mediante SQL de los atributos de la tabla del mapa agroecológico, en el software Arc-Map, se crea en primera instancia el caso denominado “Óptimo”, de acuerdo con los requerimientos edafoclimáticos que necesita la planta de higuera para el correcto desarrollo de esta en la provincia, un segundo caso es el “Óptimo (cultivos asociados)” en el que se adicionó al trabajo la posibilidad de la coexistencia de la higuera con cultivos temporales y un tercero en donde solamente se tomó en cuenta las condiciones climáticas.

- *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, para ello se recomendó la siguiente intensidad de muestreo:

- Para esta validación se recorrió al menos el 2% de la superficie encontrada en cada tipo de cada caso de estudio (Óptimo, óptimo con cultivos asociados y climático).

El tipo de muestreo es dirigido, pero se recomendó que, en los traslados de un sitio de muestreo a otro, se vaya registrando lo que se observe en los transectos. El tiempo y los costos necesarios para realizar la validación en campo dependerán del número de sitios a muestrear y de los recursos humanos, económicos y materiales disponibles (García y Sierra, 2014).

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).

### 2.3. Materiales y equipos

- Formato de validación en campo de higuera
- Flexómetro 15 m
- Cámara digital
- Ordenador portátil
- GPS Garmin series CSx

### CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Determinación de la demanda de biodiesel actual y con proyección al 2030

##### 3.1.1. Modelo de regresión de la demanda de diésel premium en Imbabura

En la tabla 12 se detalla el modelo de regresión creado para el diésel premium con la variable de demanda con respecto a los años. A través de los análisis del ANOVA, 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  $R^2$  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%.

La suma de las desviaciones de la demanda de diésel premium estimada con respecto a la demanda de diésel real arrojó 0,00 gal, lo que indica que los errores de estimación se compensan y demostrando que este modelo es el de mejor ajuste.

**Tabla 12.** Modelo de regresión de diésel en Imbabura

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

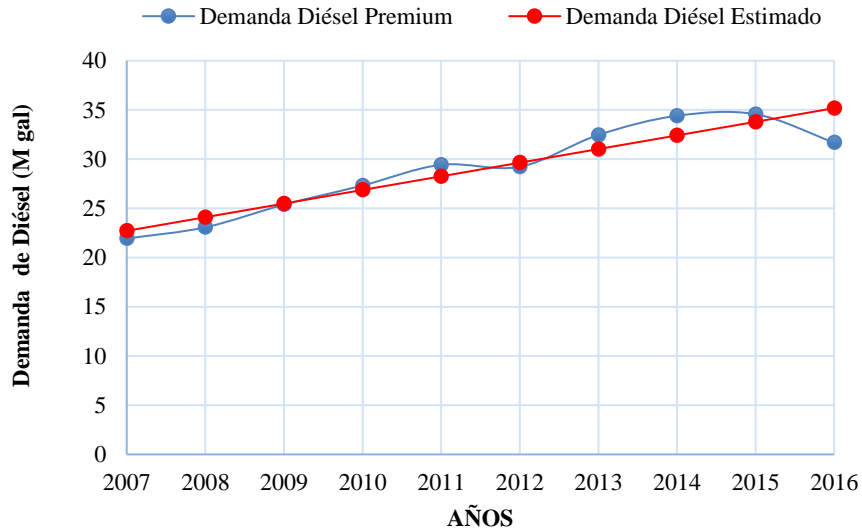
Donde:

D: Diésel

Modelo:  $y = a + bx$

Las estimaciones realizadas en comparación con los datos reales de diésel demuestran que el modelo construido se ajusta a la realidad, debido a que, en algunos casos incluso los valores se superponen. Sin embargo, es importante destacar que en la figura 11 el valor de la demanda de diésel real del año 2016 no sigue la tendencia y

ésta puede deberse a ciertos factores externos como disminución del parque automotor diésel, contrabando de derivados de petróleo o incluso eficiencia de conducción.



**Figura 11.** Demanda de diésel premium vs demanda diésel premium estimado en Imbabura

### 3.1.2. Cantidad de biodiesel necesario para cubrir el escenario B5

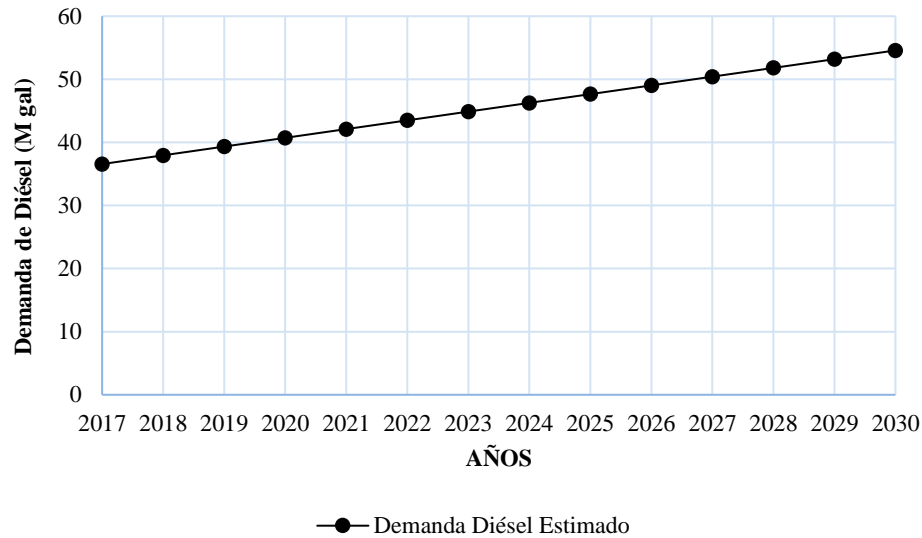
La cantidad de biodiesel necesario se calculó mediante el modelo de regresión, obteniendo los valores de la demanda proyectada al 2030, los cuales se presentan en la tabla 13. El diésel necesario para remplazar por biodiesel B5 proveniente de higuierilla en 2016 es de 1.584.094 gal y en el año 2030 es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

**Tabla 13.** Demanda de diésel en el año 2016 y 2030

Demanda de diésel premium (gal)	2016	2030
B100	31.688.873	54.571.593
B5	1.584.094	2.728.580

En la figura 12 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 12.** Proyección de la demanda de diésel al año 2030

### 3.1.3. Área necesaria para suplir la demanda de biodiesel

Para la determinación del área necesaria para suplir la demanda de biodiesel B5, se utilizaron los datos de rendimiento de producción de aceite de higuera por hectárea ( $R_a$ ) y también el rendimiento de transesterificación del aceite ( $R_{ta}$ ) (Ver apartado 2.2.1). Los datos de  $R_a$  debieron convertirse de unidades de masa a unidades de volumen mediante la densidad del aceite de higuera, el cual, según Benavides, Benjumea y Pashova “es de 0,960 kg/l” (2007, p. 145).

$$R_a = \frac{1.364 \text{ kg}}{0,960 \text{ kg/l}} = 1.420,83 \frac{l}{ha} \quad (8)$$

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.

$$\text{Biodiesel por ha} = R_a * R_{ta} \quad (9)$$



$$\text{Biodiesel por ha} = 377,457 \frac{\text{gal}}{\text{ha}} * 63 \% \quad (10)$$

$$\text{Biodiesel por ha} = 237,79 \frac{\text{gal}}{\text{ha}} \quad (11)$$

No obstante, según Reyes y Mendoza (2015b) el ciclo vegetativo de la variedad de higuierilla INIAP-401 es de 110 días por lo que podría plantarse dos veces al año, obteniendo así 475,58 galones de biodiesel anuales.

$$\text{Biodiesel total por ha} = 475,58 \frac{\text{gal}}{\text{ha}} \quad (12)$$

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.

### **3.2. Análisis de las variables climáticas, edafológicas y restricciones a considerar para ubicar las áreas óptimas del cultivo de higuierilla**

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. Para cumplir dichas expectativas, se seleccionaron las variables de mayor incidencia en el cultivo (Falasca *et al.*, 2012). 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.

### **3.2.1. Variables climáticas**

- *Isotermas*

En cuanto a temperaturas en Imbabura, se comprobó que existen grandes extensiones de la provincia que cuentan con el rango óptimo requerido para el desarrollo de la higuera, predominando la temperatura entre 16 - 25 °C con una extensión de 15,4 mil hectáreas, y se ubica en la parte norte y suroeste de la provincia como se indica en la figura 13.

- *Isoyetas*

En la figura 14 se evidencia que la precipitación en Imbabura es variada con un espectro amplio de rangos que van desde los 300 hasta los 5.500 milímetros anuales y distribuidas en diversas zonas de la provincia. El mayor número de precipitaciones se encontró -de igual manera que en las isotermas- en las zonas del norte y suroeste de la provincia, las que van desde 3.500 a 5.500 mm. No obstante, el rango de 400 a 1.500 mm está presente en el centro norte y sur de Imbabura con una extensión de 18 mil hectáreas y coincide con los casos planteados para la higuera.

### **3.2.2. Variables edafológicas**

- *Textura*

En la figura 15 se ilustra el mapa de las texturas del suelo, encontrando en la mayoría de la provincia la textura franco con 336 mil hectáreas, seguido de franco arenoso con 24 mil hectáreas, los que coinciden con los requerimientos de los casos planteados en esta investigación.

- *Pendientes*

La morfología del terreno de Imbabura se puede visualizar en la figura 16, la cual en su mayoría es escarpado con un área de 404 mil ha, no obstante, para esta investigación la pendiente del terreno no debía ser mayor al 12 %, lo que significa

que el área aprovechable corresponde a las morfologías plano a casi plano y suave a ligeramente inclinado, obteniendo 6,7 mil ha de terreno propicio. La distribución en la provincia es variada por lo que, de esta manera, se dan algunas oportunidades de ubicación en todo el territorio.

- *Profundidad efectiva*

En la figura 17 se observa el mapa de profundidad efectiva de Imbabura, en donde predominan las clases moderadamente profundo y profundo con una extensión de 73,8 mil y 27,9 mil de hectáreas respectivamente con gran parte de esa extensión ubicada en las zonas suroccidentales de la provincia. Cabe recalcar también que, aunque la profundidad efectiva es importante no se lo considera como un factor determinante dentro del rendimiento de este cultivo energético, puesto que la clase de higuierilla considerada en el estudio no responde a este requerimiento específicamente.

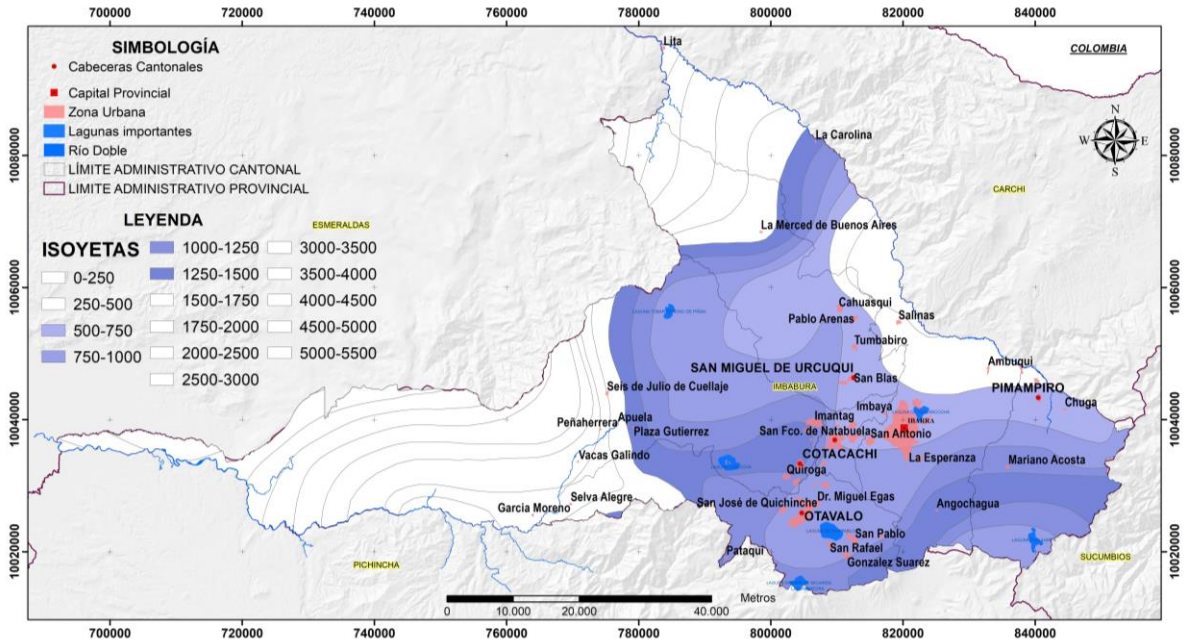
- *pH*

La provincia cuenta con los valores de pH necesarios para la implementación de la higuierilla como cultivo energético, los que van desde 5,5 a 7,0 distribuidos por todo el territorio. La figura 18 muestra los valores de pH, con predominancia del pH neutro con 80 mil de hectáreas, el cual está presente en las zonas del centro, este y norte de Imbabura.

- *Cobertura y uso del suelo*

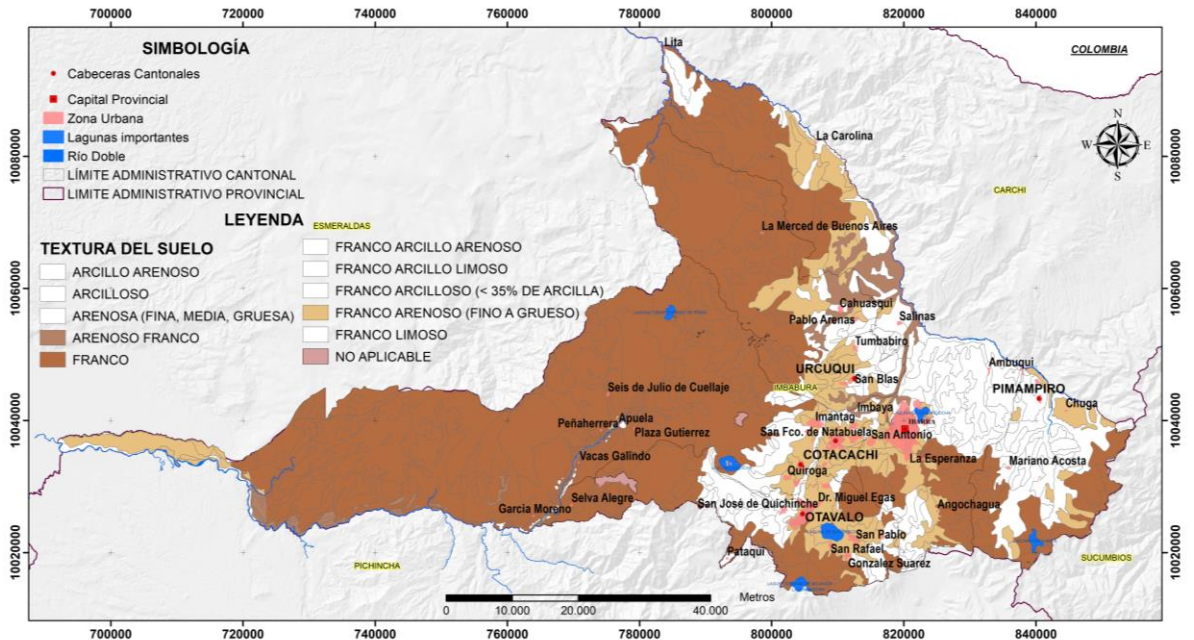
La cobertura del suelo en Imbabura es variada, tal como se indica en la figura 19 la provincia cuenta con alta predominancia del bosque nativo con un área de 3,2 mil hectáreas, mientras que la cobertura y uso de suelo más bajo es ocupado por las infraestructuras antropogénicas con 235 hectáreas. Sin embargo, el cultivo energético de higuierilla se debe ubicar preferencialmente en el suelo destinado a vegetación arbustiva y cultivos asociados, que cuentan con 64 mil ha disponibles, representando aproximadamente el 18 % de la cobertura total.





**Figura 14.** Mapa de isoyetas en la provincia de Imbabura

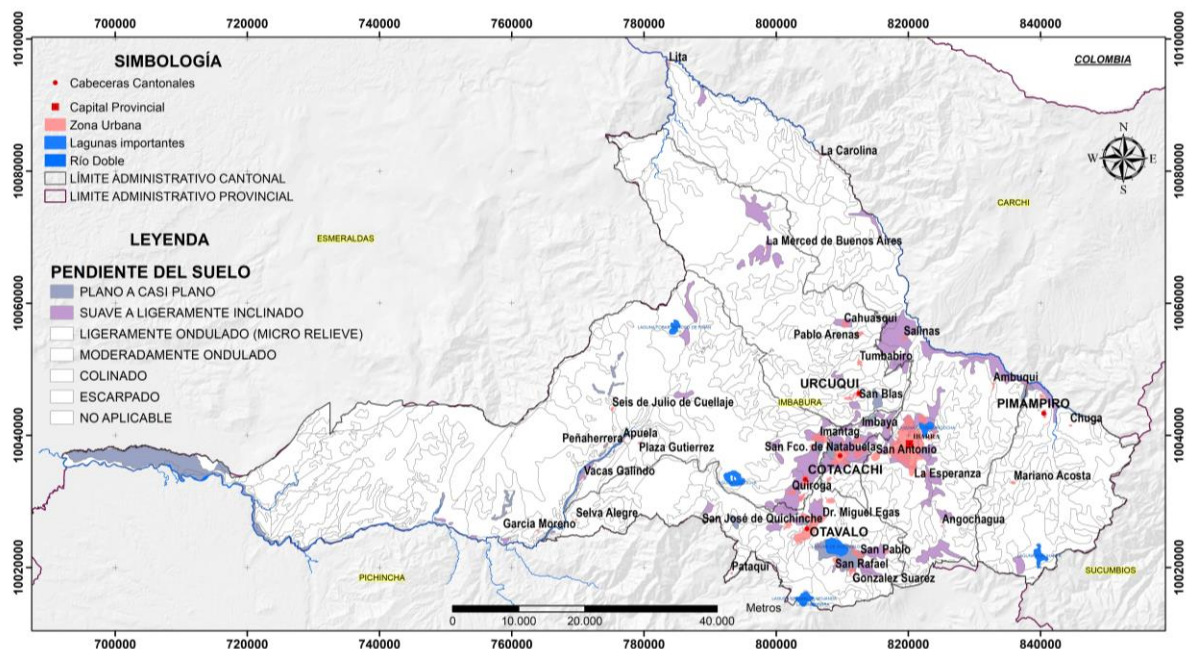
**Fuente:** (INAMHI, 2017)



**Figura 15.** Mapa de textura de suelos en la provincia de Imbabura

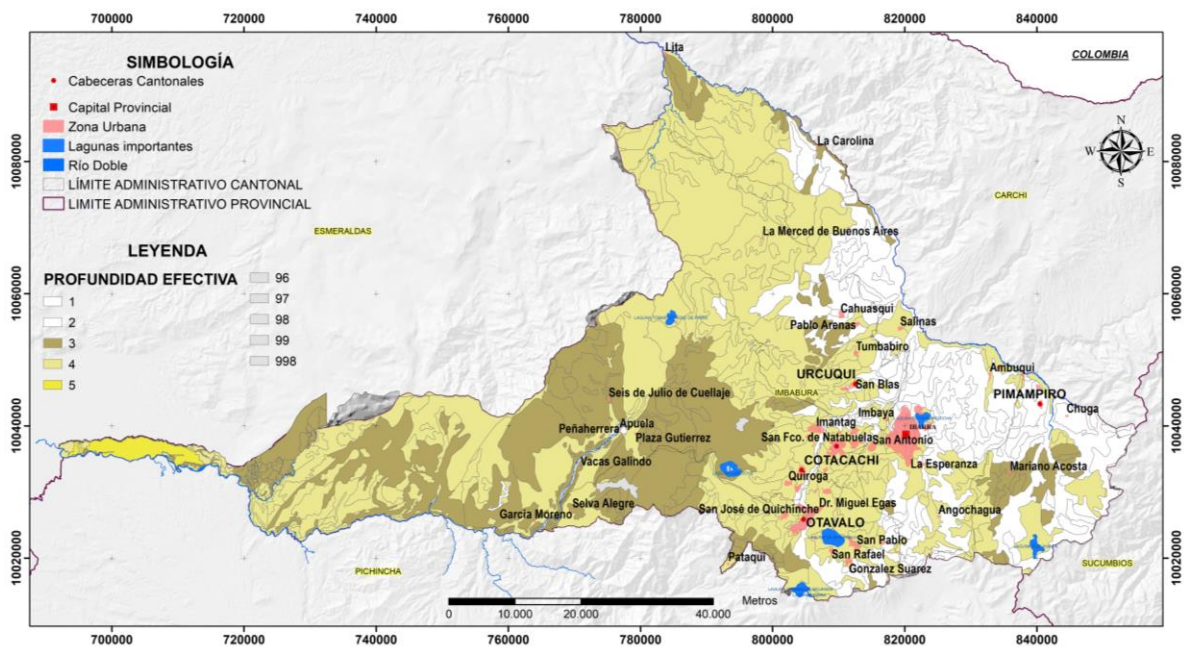
**Fuente:** (IEE, 2014)





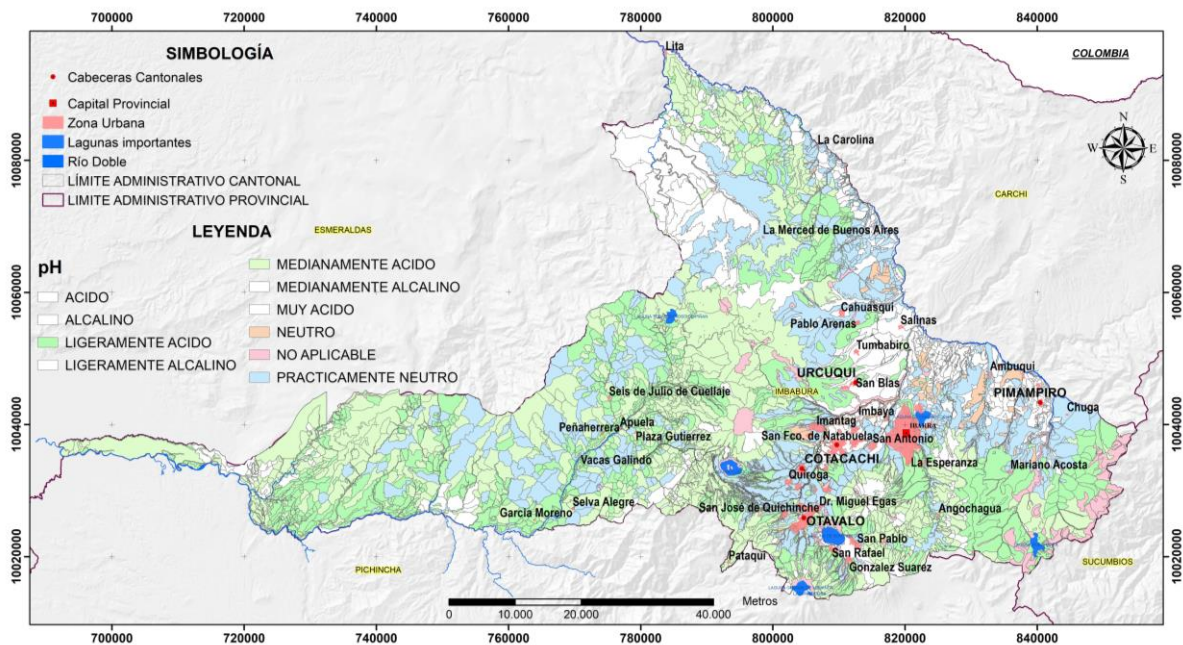
**Figura 16.** Mapa de pendientes de la provincia de Imbabura

Fuente: (IEE, 2014)



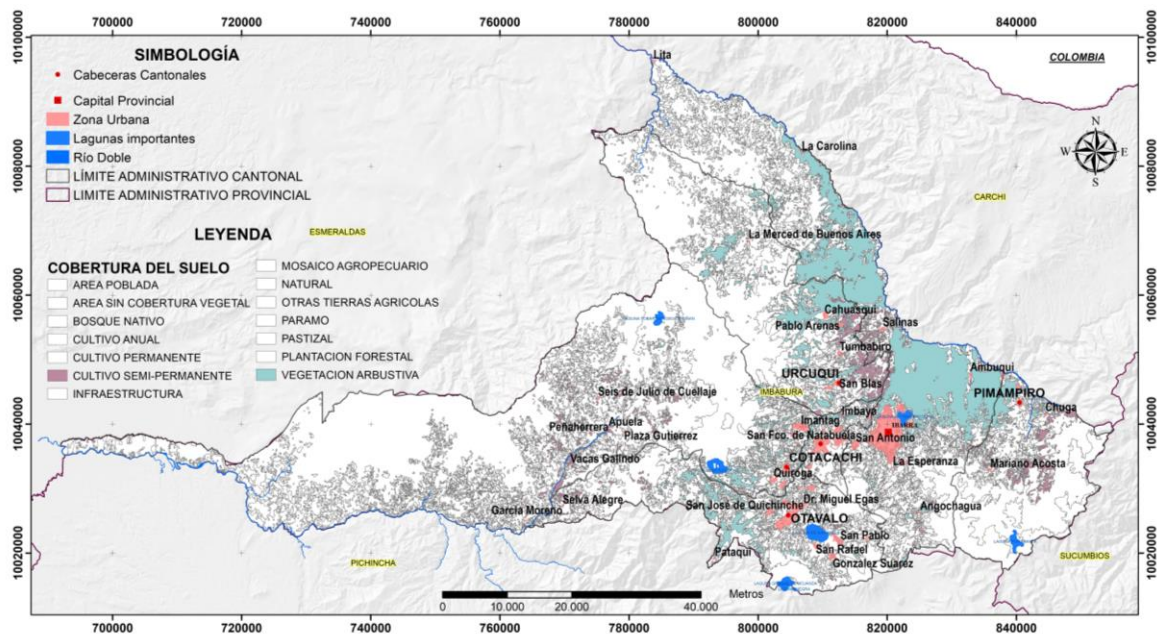
**Figura 17.** Mapa de profundidad efectiva de la provincia de Imbabura

Fuente: (SIGAGRO, 2013)



**Figura 18.** Mapa de pH de suelos de la provincia de Imbabura

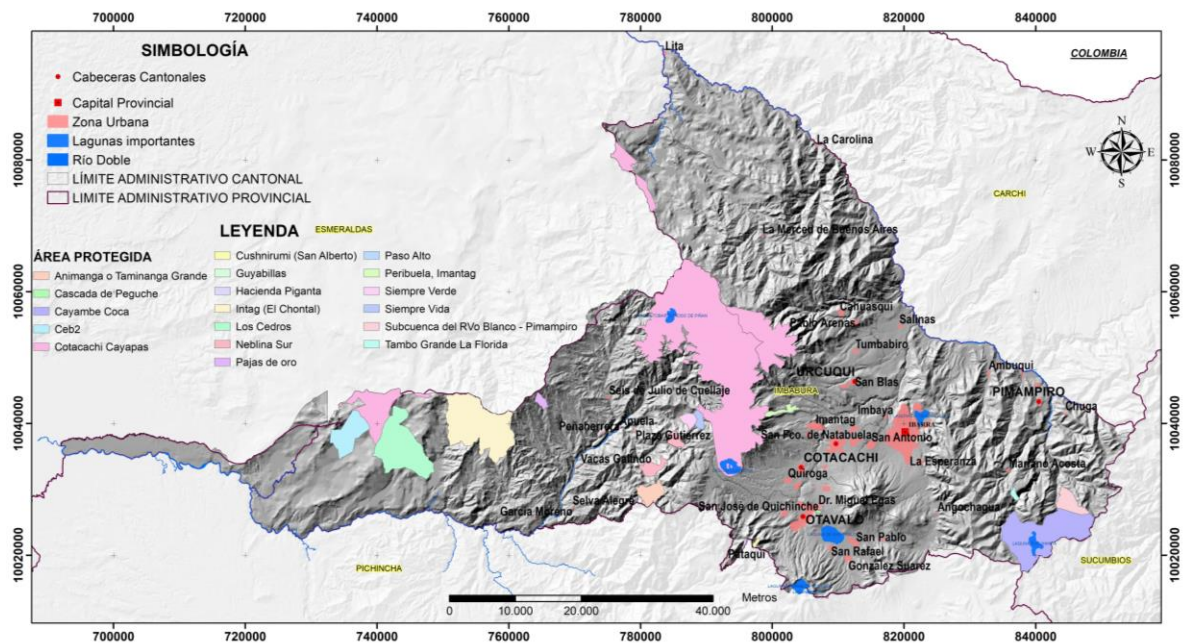
Fuente: (IEE, 2015)



**Figura 19.** Mapa de cobertura y uso del suelo en la provincia de Imbabura

Fuente: (MAGAP - MAE, 2015)





**Figura 20.** Mapa de áreas protegidas de la provincia de Imbabura

Fuente: (MAE, 2015)

### 3.3. Comparar la producción potencial de biodiesel con la demanda actual y con proyección al 2030

#### 3.3.1. Zonas óptimas para producción de biodiesel de higuerilla

- *Caso óptimo*

En la figura 21 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.

- *Caso óptimo (cultivos asociados)*

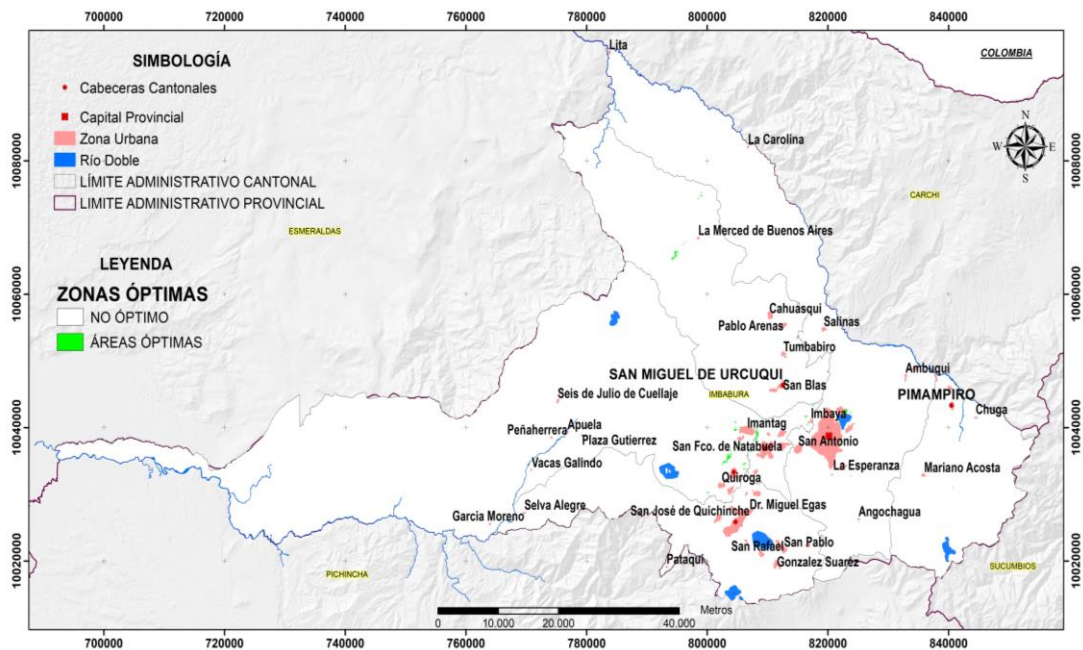
Se obtuvieron dos áreas de cultivos semipermanentes en el cantón Antonio Ante, en el pueblo La Graciela como se muestra en la figura 22, que juntos suman 3,9



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 higerilla con cultivos asociados temporales.

- *Caso climático*

En la figura 23, 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.



**Figura 21.** Zonas óptimas para el cultivo de higerilla sin cultivos asociados

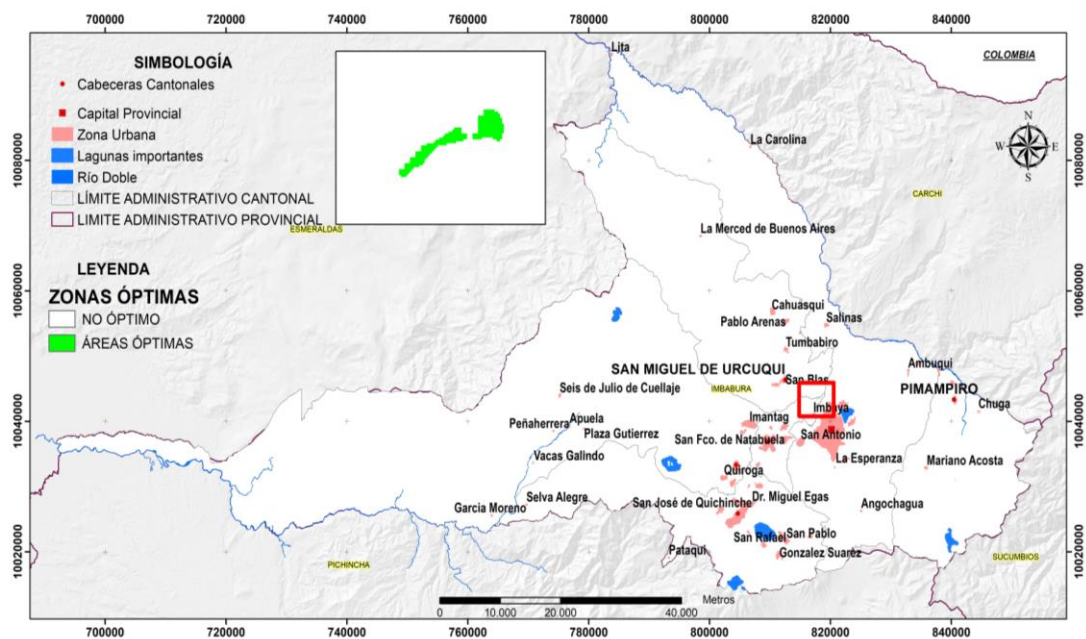


Figura 22. Zonas óptimas para el cultivo de higuera con cultivos asociados

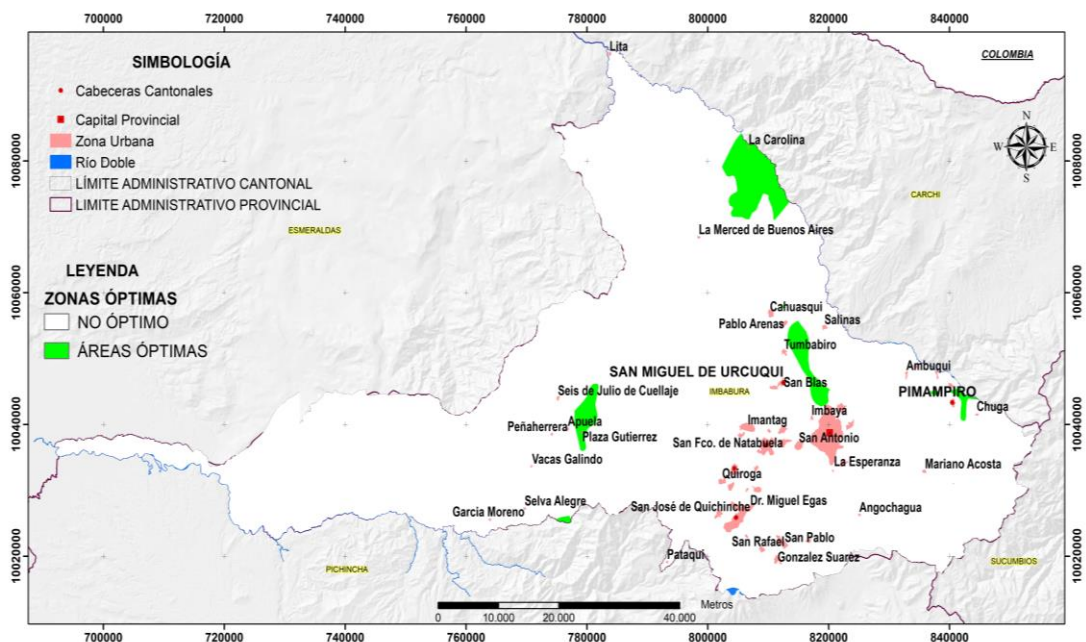


Figura 23. Zonas óptimas para el cultivo de higuera considerando las condiciones climáticas

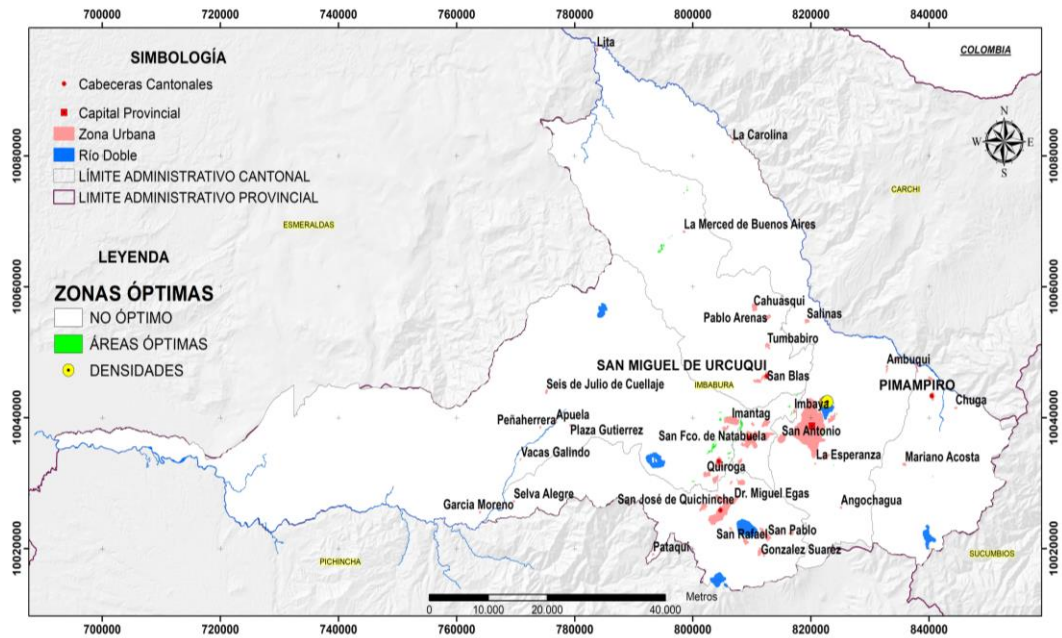
### 3.3.2. Validación de densidades de higuera en Imbabura

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 m<sup>2</sup>, la clase de la higuera es verde mayor y se ubica a un lado de la autopista Ibarra – El Juncal, en el sector conocido como los cañaverales.

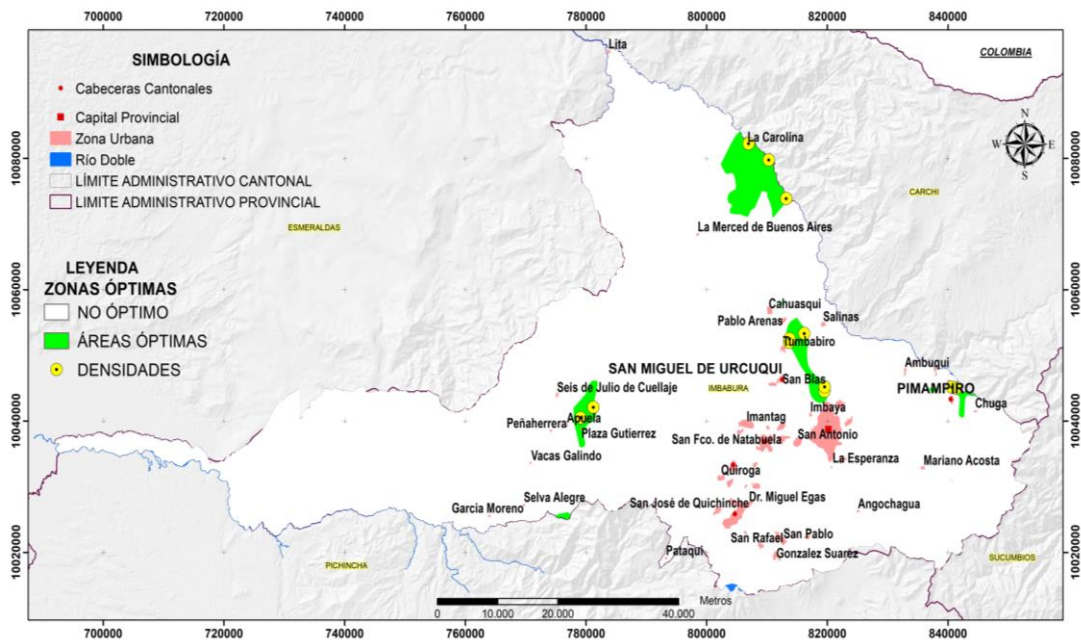
Las localizaciones de las densidades se detallan en la tabla 13 juntamente con el área de cada punto, además éstos se ubicaron en los mapas de las zonas óptimas para el cultivo de higuera.

**Tabla 14.** Localización de densidades de higuera en Imbabura

Localización	Punto N°	Área (m <sup>2</sup> )
Priorato	1	10
Priorato	2	10
Priorato	3	16
Autopista Ibarra - El Juncal	4	30
Autopista Ibarra - El Juncal	5	36
Vía a Tumbabiro	6	10
Vía a Tumbabiro	7	15
Tumbabiro	8	10
La Carolina	9	21
La Carolina	10	10
La Carolina	11	12
Pucará	12	10
Pucará	13	10
Pimampiro	14	10
Pimampiro	15	32



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



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

### **3.4. Discusión de Resultados**

La metodología utilizada por Falasaca y Ulberich, (2011) permitió tener una clara perspectiva de la línea a seguir para el desarrollo este estudio, debido a la necesidad que Imbabura tiene de poseer una guía de los lugares óptimos para el desarrollo masivo del cultivo de higuierilla con altos rendimientos, en base a las condiciones específicas de este cultivo y de esta manera producir biodiesel de forma eficiente de acuerdo con la demanda requerida.

En Imbabura, el desarrollo de cultivos energéticos no ha sido una estrategia como mecanismo de cambio de la matriz energética, sin embargo, la provincia tiene el potencial necesario y disponible para hacerlo, ya que cuenta con suelos productivos, climas, temperaturas y diferentes rangos de precipitación idóneos. Actualmente, los agricultores ignoran el potencial de energía que posee la materia prima para la producción de biocombustibles como es el biodiesel, no obstante, al obtener una hipótesis nula se descarta la posibilidad de cubrir la demanda total de biodiesel en condiciones edafoclimáticas óptimas.

La higuierilla puede crecer bajo diferentes situaciones e incluso en condiciones adversas, no obstante, eso no quiere decir que cualquier lugar en donde ésta se desarrolla sea propicio para la implementación de la planta como cultivo energético, pues el rendimiento juega un papel crucial que puede condicionar el resultado de éste. Recalde y Durán (2009) sostienen que la higuierilla puede crecer en amplios rangos de las variables de temperatura, precipitación y altitud, resultado obtenido a partir de colectas botánicas en diferentes intervalos presuntamente determinados a criterio de los investigadores. Pero aquella aseveración no es concluyente, ya que hace alusión a una característica propia de la planta, la cual es cosmopolita y puede colonizar fácilmente cualquier espacio sea cultivable o no, por lo tanto, la delimitación de las zonas óptimas en donde la higuierilla debe ser cultivada para obtener los mejores rendimientos según sus requerimientos climáticos y edáficos constituyen una guía en proyectos relacionados con el cultivo.

En un aspecto similar, Valdemar (2012) hace referencia a los lugares donde se encuentra la higuera silvestre en Imbabura y Carchi. Aunque, en este caso la metodología se basó en determinar las zonas de vida de la provincia para recolectar los ecotipos existentes en aquellos lugares. Si bien algunas zonas donde se evidencia la presencia de la planta coinciden con los obtenidos en esta investigación, para determinar el área óptima de este cultivo a gran escala fue importante profundizar en la investigación de los requerimientos climáticos, edáficos y morfológicos del terreno propias de la especie.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

Se concluye lo siguiente:

- 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 higuierilla 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.

#### **4.2. Recomendaciones**

Se recomienda lo siguiente:

- 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 desglosado por provincias para futuras investigaciones.



## REFERENCIAS

Alcántara, G. (2010). *Pendiente de los suelos del departamento de Cajamarca*. Recuperado de <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/Pendiente.pdf>

Anjani, K. (2012). Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation. *Industrial Crops and Products*, 35, 1-14.

Asociación de Empresas de Energías Renovables. (2016). *Energías Renovables, tipos y ventajas*. Recuperado de <http://www.appa.es/01energias/01renovablestipos.php>

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>

Beláustegui, S. (1999). *Pendientes del terreno y fundamentos del caudal máximo no erosivo*. Hoja técnica N° 07. Recuperado de [http://www.pyrargentina.com.ar/files/hojas\\_tecnicas/HT-20160826121024.pdf](http://www.pyrargentina.com.ar/files/hojas_tecnicas/HT-20160826121024.pdf)

Casanova, M., Vera, W., Luzio, W., y Salazar, O. (2004). *Edafología: Guía de clases prácticas*. Recuperado de [http://www.grn.cl/MANUAL%20EDAFOLOGIA%20\\_2004.pdf](http://www.grn.cl/MANUAL%20EDAFOLOGIA%20_2004.pdf)

Castro, P., Coello, J., y Castillo, L. (2007). *Opciones para la producción y uso del biodiésel en el Perú*. Lima: Soluciones Prácticas – ITDG.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2011). *Brasil, Argentina y Colombia lideran producción de biocombustibles en la región*. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/comunicados/brasil-argentina-y-colombia-lideran-produccion-de-biocombustibles-en-la-region>

Conceição, M. M., Candeia, R. A., Silva, F. C., Bezerra, A. F., Fernandes, V. J., Souza, A. G. (2007). Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 965-975.

Confederación de Empresarios de Andalucía. (2010). *Sistemas de Información Geográfica, tipos y aplicaciones empresariales: ¿Qué es un SIG?* Recuperado de <http://sig.cea.es/SIG>

Constitución de la República del Ecuador (2008). *Registro oficial*, 449 (20 de octubre de 2008).

Córdova, O., y Ríos, G. (2008). Ecofisiología. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, *Higuerilla: “Alternativa Productiva, Energética y Agroindustrial para Colombia”* (pp. 26-27). Recuperado de [http://agropecuaria-primotc.hosted.exlibrisgroup.com/BAC:bac\\_completo:bac\\_digitool43631](http://agropecuaria-primotc.hosted.exlibrisgroup.com/BAC:bac_completo:bac_digitool43631)

Costa, A. (2013). *Biomasa y biocombustibles*. Madrid, España: AMV Ediciones.

Creus, A. (2014). *Energías Renovables*. Bogotá: Ediciones de la U.

Dai, Z. Edwards, G. E. Ku, M. S. B. (1992). Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus Communis* L. (Castor Bean) by leaf to air vapor pressure deficit. *Plant Physiol*, 99, 1426-1434.

Damien, A. (2010). *La biomasa: Fundamentos, tecnología y aplicaciones*. Madrid, España: AMV Ediciones.

Dávila, F. J. (2016). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado de <https://sge.org/ibercarto/wp-content/uploads/sites/4/2016/01/sig2.pdf>

Decreto Ejecutivo N° 1303 (2012). *Suplemento del Registro Oficial*, 799 (28 de septiembre de 2012).

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Washington.

Di Paola, M. M. (2013). *La producción de biocombustibles en Argentina*. Recuperado de <http://www.farn.org.ar/wp-content/uploads/2014/07/La-producci%C3%B3n-de-biocombustibles-en-Argentina-por-Mar%C3%ADa-Marta-Di-Paola.pdf>

Díaz, G., Guajardo, R. A., Medina, G., Sánchez, I., Soria, J., Vázquez, J. M. P. et al. (2012). *Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México*. INIFAP-Centro Experimental Cotaxtla. Recuperado de [http://www.cmdrs.gob.mx/sesiones/Documents/2012/5\\_sesion/inifap\\_estudio.pdf](http://www.cmdrs.gob.mx/sesiones/Documents/2012/5_sesion/inifap_estudio.pdf)

Duke, J. A. (1983). *Handbook of Energy Crops: Ricinus communis L*. Recuperado de [https://hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/Ricinus\\_communis.html](https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Ricinus_communis.html)

Ecocrop. (2013). Ecocrop database. FAO, Roma, Italia. Recuperado de <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>

El Diario. (2015, 08 de diciembre). Producción: Promueven la higuera. *El Diario*. Recuperado de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/375526-promueven-la-higuera/>

Endesa. (2014). *La Energía*. Recuperado de [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educarecursos-interactivos/conceptos-basicos/i.-la-energia-y-los-recursos-energeticos](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educarecursos-interactivos/conceptos-basicos/i.-la-energia-y-los-recursos-energeticos)

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

Environmental Systems Research Institute, Inc. (2016). *Análisis de superposición*. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/commonly-used-tools/overlay-analysis.htm>

Falasca, S. L., Ulberich, A. C. y Ulberich E. (2012). Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.) *Industrial Crops and Products*, 40, 185-191.

Falasca, S., y Ulberich, A. (2011). Argentina's Semiarid Lands Aptitude to Cultivate Non Traditional Species For Biodiesel Production. En J. Marchetti y Z. Fang (Eds.), *Biodiesel: Blends, Properties and Applications*. UK: Nova Science Pub Inc.

García, Y., y Sierra, A. (2014). *Manual de zonificación ecológica de especies forestales y aplicación de modelos de simulación del efecto del cambio climático*. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/3230Manual%20de%20Zonificaci%C3%B3n%20ecol%C3%B3gica%20de%20especies%20forestales.pdf>

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2014a). *Mapa de zonas de temperatura atmosférica de Imbabura*. Recuperado de [http://www.ideportal.iee.gob.ec/catalogo/srv/spa/catalog.search#/search?resultType=details&fast=index&\\_content\\_type=json&from=1&to=20&sortBy=relevance](http://www.ideportal.iee.gob.ec/catalogo/srv/spa/catalog.search#/search?resultType=details&fast=index&_content_type=json&from=1&to=20&sortBy=relevance)

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2014b). *Mapa de zonas de precipitación de Imbabura*. Recuperado de [http://www.ideportal.iee.gob.ec/catalogo/srv/spa/catalog.search#/search?resultType=details&fast=index&\\_content\\_type=json&from=1&to=20&sortBy=relevance](http://www.ideportal.iee.gob.ec/catalogo/srv/spa/catalog.search#/search?resultType=details&fast=index&_content_type=json&from=1&to=20&sortBy=relevance)

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2014c). *Mapa de textura del suelo*.

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2014d). *Mapa de cobertura y uso de la tierra de los cantones de Imbabura*. Recuperado de [http://www.ideportal.iee.gob.ec/catalogo/srv/spa/catalog.search#/search?resultType=details&fast=index&\\_content\\_type=json&from=1&to=20&sortBy=relevance&any=cobertura%20y%20uso%20imbabura](http://www.ideportal.iee.gob.ec/catalogo/srv/spa/catalog.search#/search?resultType=details&fast=index&_content_type=json&from=1&to=20&sortBy=relevance&any=cobertura%20y%20uso%20imbabura)

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2015). *Catálogos de objetos geográficos: Básicos y Temáticos*. Quito: Autor. Recuperado de [http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/CATALOGO\\_OBJETOS\\_IEE\\_2015.pdf](http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/CATALOGO_OBJETOS_IEE_2015.pdf)

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe. (2009). *Manual de Biocombustibles*. Autor.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2007). *Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles*. Recuperado de: <http://www.administracion.usmp.edu.pe/institutoconsumo/wp-content/uploads/2013/08/Biocombustibles-IICA.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador: Fascículo provincial Imbabura*. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/imbabura.pdf>

Jeong, G. T. y Park, D. H. (2009, mayo). Optimization of Biodiesel Production from Castor Oil Using Response Surface Methodology. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 156 (1-3), 1-11.

Lima, J. R. Antonino, A. C. D. Souza, E. S. Lira, C. A. B. y Silva, I. F. (2013). Seasonal and interannual variations of evapotranspiration, energy exchange, yield and water use efficiency of castor grown under rainfed conditions in northeastern Brazil. *Industrial Crops and Products*, 50, 203-211.

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

Martinez, J., y Montenegro, O. (2008). Manejo de suelos. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, *Higuerilla: “Alternativa Productiva, Energética y Agroindustrial para Colombia”* (pp. 8-10). Recuperado de [http://agropecuaria-primotc.hosted.exlibrisgroup.com/BAC:bac\\_completo:bac\\_digitool43631](http://agropecuaria-primotc.hosted.exlibrisgroup.com/BAC:bac_completo:bac_digitool43631)

Matos, E. H. S. F. (2007). *Cultivo da Mamona e Extração do Óleo*. Recuperado de <http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjE3>

Mazzani, E. Rodriguez, E. Marín, C. Gutierrez, D. y Zamora, F. (2013). Ensayos regionales de evaluación de variedades de tártago (*Ricinus communis* L.) en cinco ambientes de siembra en Venezuela. *UDO Agrícola*, 13 (1), 32-38.

Mendoza, H., Reyes, S. (2015a). *Guía del cultivo de higuerilla*. Departamento de Comunicación Social y Relaciones Públicas del INIAP. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1186/1/GUIA%20DEL%20CULTIVO%20DE%20HIGUERILLA.pdf>

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

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014). *Balance Energético Nacional*. Quito.

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2015). *Balance Energético Nacional*. Quito.

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

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2017). *Balance Energético Nacional*. Quito.

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

Montgomery, Douglas, C., Peck, Elizabeth, A., y Vining, G., Geoffrey (2006). *Introducción al análisis de regresión lineal*. México: Compañía Editorial Continental

Municipio de Miranda – Cauca. (2001). Cobertura y uso actual de la tierra. En Municipio de Miranda – Cauca. Esquema de ordenamiento territorial (pp. 205-219).

Muñoz, F. (2009). Importancia del agua en la nutrición de los cultivos. En Cenicaña. *Carta trimestral 3 y 4 de 2009* (pp.16-18).

Nava, F. J. y Doldán X. R. (2014). Cultivos Energéticos. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*. 11 (1), 25-34.

Oppel, A., y Sheldon, R. (2010). *Fundamentos de SQL*. México: McGrawHill.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). Efecto de los biocombustibles en el medio ambiente. En *Biocombustibles: Perspectivas, Riesgos y Oportunidades*. (pp. 63-83). Roma: División de Comunicación.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma: División de información.

Peña, J. (2009). *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio: entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales teoría general y práctica para ESRI ArcGIS 9* (4ta. Ed.). San Vicente (Alicante): Editorial Club Universitario.

Prefectura de Imbabura. (2017). *Imbabura: Datos generales*. Recuperado de <http://www.imbabura.gob.ec/imbabura/datos-generales.html>

Recalde, E. R., y Durán, J. M. (2009). *Cultivos energéticos alternativos*. España: Centro Iberoamericano de Investigación y Transferencia Tecnológico en Oleaginosas.

Rico, H. R., Tapia, L. M., Teniente R., González, A., Hernández, M., Solís, J. L. et al. (2011). *Guía para cultivar higuierilla (Ricinus communis L.) en Michoacán*. INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Valle De Apatzingán. Recuperado de [http://www.inifap.gob.mx/Documents/transparencia/trans\\_foca/2016/Transparencia\\_Focalizada/Higuierilla/Guia\\_Higuierilla\\_Michoacan/Gu%C3%ADa%20para%20cultivar%20higuierilla%20en%20Michoac%C3%A1n.pdf](http://www.inifap.gob.mx/Documents/transparencia/trans_foca/2016/Transparencia_Focalizada/Higuierilla/Guia_Higuierilla_Michoacan/Gu%C3%ADa%20para%20cultivar%20higuierilla%20en%20Michoac%C3%A1n.pdf).

Ruiz, H., y Arellano, J. (2010). Áreas naturales protegidas. En R. Durán y M. Méndez. (Eds.), *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán* (pp. 414-419). Mérida.

Samayoa, M. O. (2007). *Manual técnico del higuierillo*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/52428162/Manual-Tecnico-del-Higuierillo>

Sardón, J. M. (2003). *Energías Renovables para el Desarrollo*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.

Severino, L. S. Auld, D. L. Baldanzi, M. Cândido, M. J. Chen, J. Crosby, W. et al. (2012). A Review on the Challenges for Increased Production of Castor. *Agronomy Journal*, 104 (4), 853-880.

Shrirame, H. Y. Panwar, N. L. y Bamniya, B. R. (2011). Bio Diesel from Castor Oil: A Green Energy Option. *Low Carbon Economy*, 02 (01). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/228654901\\_Bio\\_Diesel\\_from\\_Castor\\_Oil-A\\_Green\\_Energy\\_Option](https://www.researchgate.net/publication/228654901_Bio_Diesel_from_Castor_Oil-A_Green_Energy_Option)

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).



Universidad Nacional Autónoma de México. (2018). *Regresión y correlación lineal simple*. México.

Valdemar, J. (2012). Colecta de los ecotipos de higuera (*Ricinus Communis*) en las zonas de vida de Imbabura y Carchi para su conservación. *Axioma*, 2 (9), 21-25.

Vicente, A. M. (2012). *Orígenes y clasificación de la biomasa*. Madrid, España: AMV Ediciones.

## CAPITULO V

### ANEXOS

#### 5.1. Anexo A – Tablas

**Tabla A1.** Resumen del modelo de regresión

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0,936 <sup>a</sup>	0,877	0,861	1.667.504,027

a. Variables predictoras: (Constante), Año

**Tabla A2.** ANOVA<sup>a</sup>

Modelo	Suma de cuadrados	g l	Media cuadrática	F	Sig.
1	158260988957124,00	1	158260988957124,00	56,91	0,000
n	0		0	7	b
Residual	22244557448641,600	8	2780569681080,20		
Total	180505546405766,00	9			
	0				

a. Variable dependiente: Diesel

b. Variables predictoras: (Constante), Año

**Tabla A3.** Coeficientes de regresión lineal<sup>a</sup>

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados Beta	t	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
	B	Error típ.				Tolerancia	FIV
1 (Constante)	-2757044375,655	369283919,674		-7,466	0,00		
Año	1385032,497	183586,151	0,936	7,544	0,00	1,000	1,00 0

a. Variable dependiente: Diesel

**Tabla A4.** Formato de validación en campo de higuierilla

1. DATOS GENERALES

1.1 Cantón: \_\_\_\_\_

1.2 Ciudad o pueblo: \_\_\_\_\_

1.3 Área del predio: \_\_\_\_\_

1.4 Punto N°: \_\_\_\_\_

2. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO

2.1 Ubicación geográfica: \_\_\_\_\_

2.2 Tipo de vegetación: \_\_\_\_\_

3. ASPECTOS POR EVALUAR

3.1 La especie se encuentra en la zona visitada: \_\_\_\_\_

3.2 La densidad de la especie es: \_\_\_\_\_

3.3 La planta se encuentra vigorosa: \_\_\_\_\_

3.4 Existió presencia de la especie en los transectos \_\_\_\_\_

4. OBSERVACIONES GENERALES:

**5.2. Anexo B – Ilustraciones**



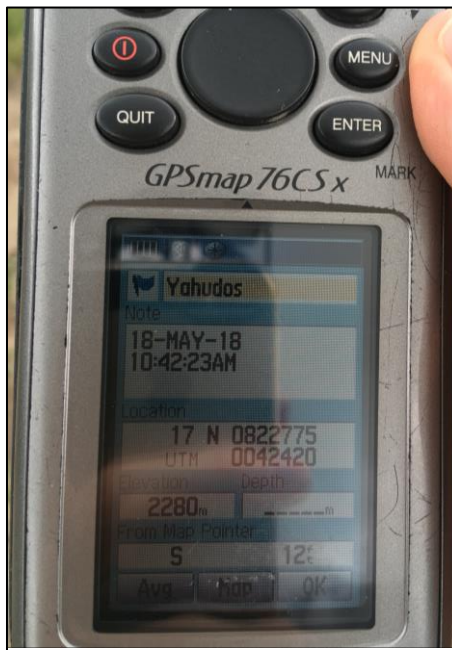
**Ilustración B1.** Higuerilla de clase roja (Punto 1)



**Ilustración B2.** Ubicación del Punto 1



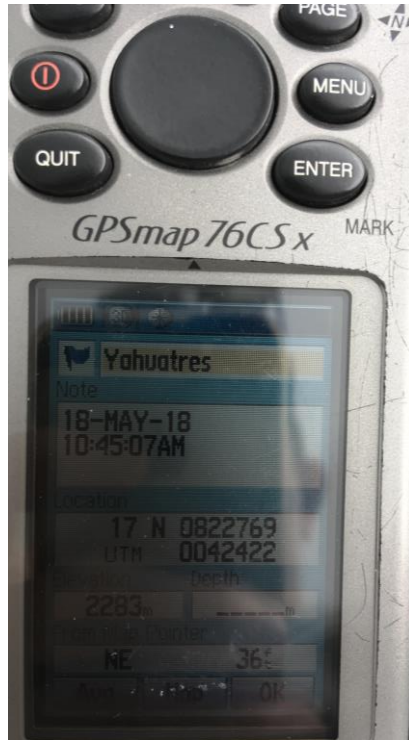
**Ilustración B3.** Higuerilla de clase verde (Punto 2)



**Ilustración B4.** Ubicación del Punto 2



**Ilustración B5.** Higuerilla de clase verde (Punto 3)

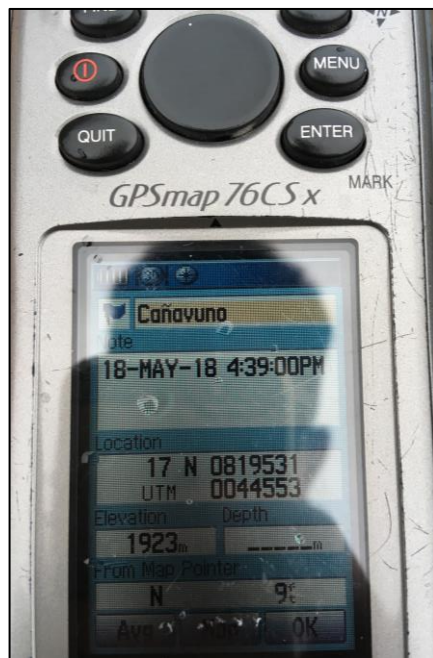


**Ilustración B6.** Ubicación del Punto 3





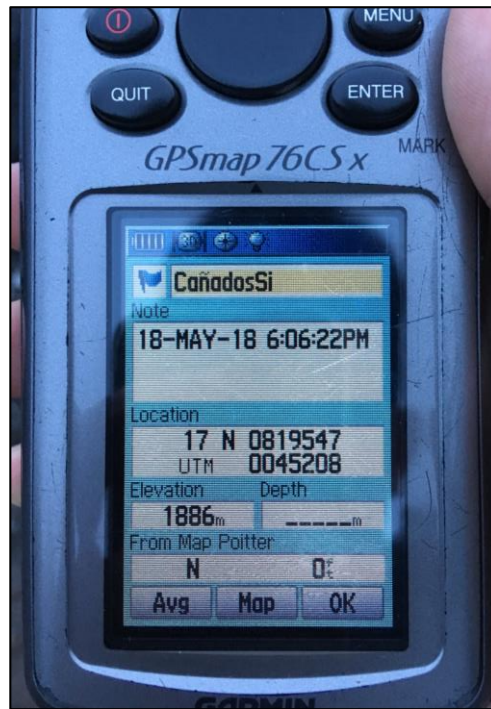
**Ilustración B7.** Higuerilla de clase verde y roja



**Ilustración B8.** Ubicación del Punto 4



**Ilustración B9.** Higuerrilla de clase verde (Punto 5)

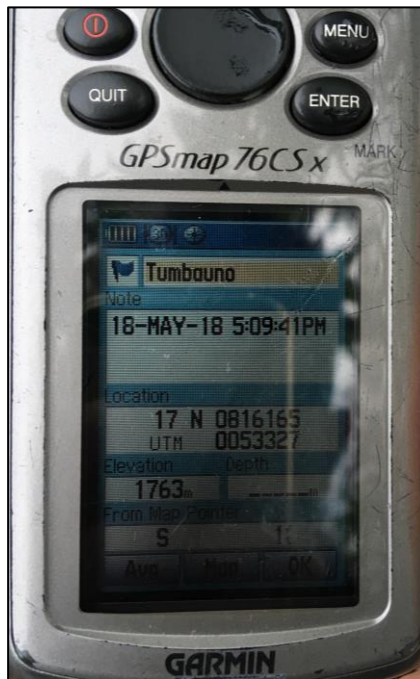


**Ilustración B10.** Ubicación del Punto 5





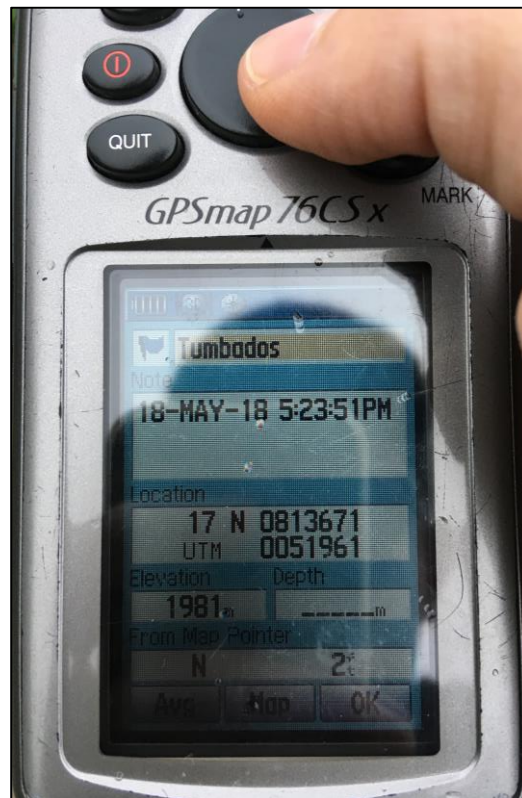
**Ilustración B11.** Higuerilla de clase verde (Punto 6)



**Ilustración B12.** Ubicación del Punto 6



**Ilustración B13.** Higuerilla de clase verde (Punto 7)

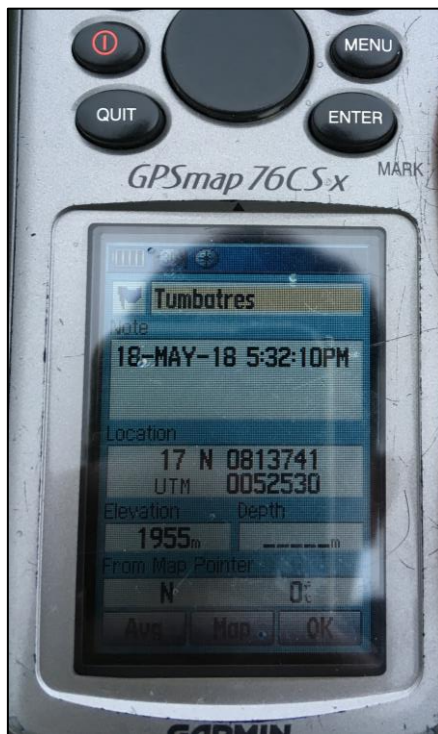


**Ilustración B14.** Ubicación del Punto 7





**Ilustración B15.** Higuerilla de clase verde (Punto 8)



**Ilustración B16.** Ubicación del punto 8



**Ilustración B17.** Higuera de clase verde (Punto 9)

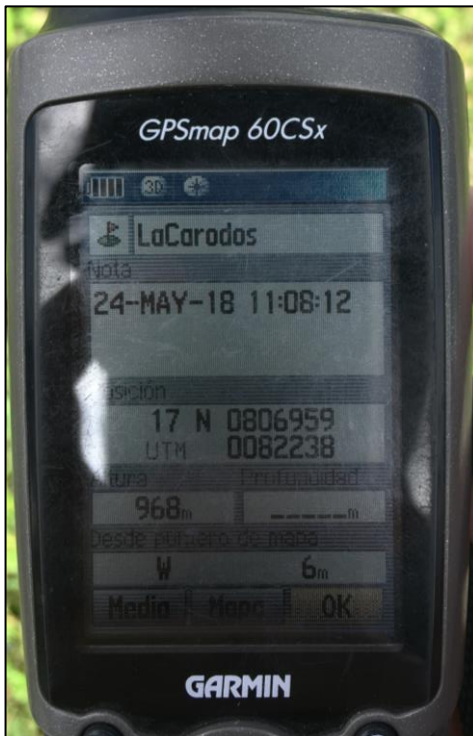


**Ilustración B18.** Ubicación del punto 9





**Ilustración B19.** Higuerilla de clase verde (Punto 10)



**Ilustración B20.** Ubicación del Punto 10



**Ilustración B21.** Higerilla de clase verde y roja (Punto 11)

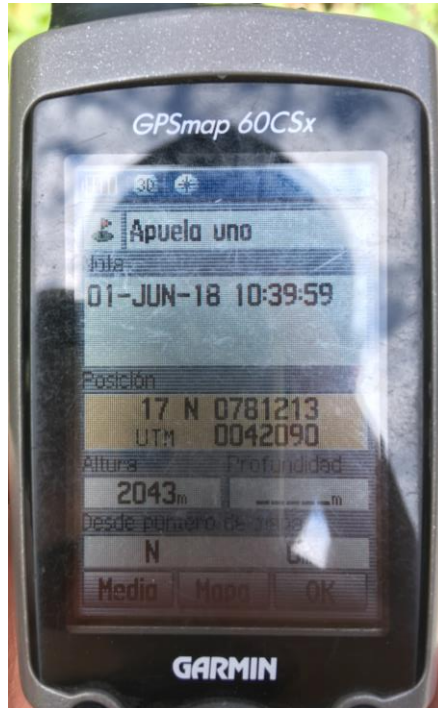


**Ilustración B22.** Ubicación del Punto 11





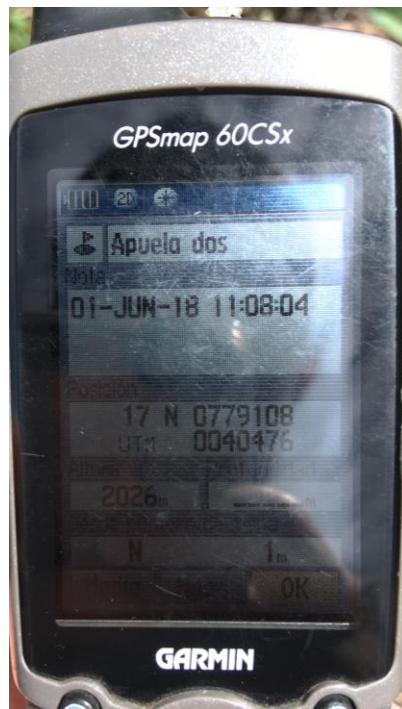
**Ilustración B23.** Higuerilla de clase verde (Punto 12)



**Ilustración B24.** Ubicación del Punto 12



**Ilustración B25.** Higuerilla de clase verde (Punto 13)

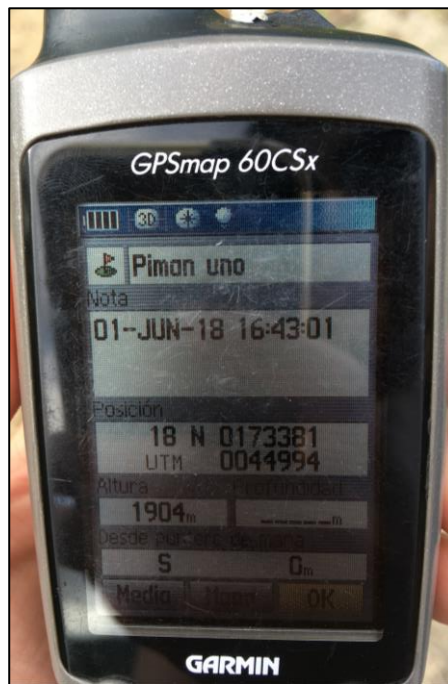


**Ilustración B26.** Ubicación del Punto 13





**Ilustración B27.** Higuerilla de clase verde (Punto 14)



**Ilustración B28.** Ubicación del Punto 14



**Ilustración B29.** Higuerilla de clase roja (Punto 15)



**Ilustración B30.** Ubicación del Punto 15