



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**Facultad de Ciencias Químicas**

**Carrera de Ingeniería Química**

**Balance energético de la producción de bioetanol a partir de mucílago de cacao CCN-51 en los cantones Camilo Ponce Enríquez y La Troncal.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Química

**Autora:**

Daniela Estefanía Tenesaca Fajardo

C.I 0106202229

**Director:**

Mgt, Jorge Washington Delgado Noboa

C.I 0103599411

**Cuenca-Ecuador**

**10 de abril de 2019**



## **Resumen**

En la presente investigación se determinará el balance de energía de la producción de bioetanol a partir del mucílago de cacao CCN-51 empleando la metodología de la Tasa de retorno energético, realizando un estudio del gasto de energía por etapas, siendo la primera la etapa agrícola, desde el cultivo del cacao, hasta su preparación post cosecha en función del porcentaje de mucílago contenido en la mazorca de cacao y la segunda la producción como tal del bioetanol, datos que serán obtenidos mediante auditorías energéticas en cada etapa, las cuales consisten en la recopilación de información energética en cuanto a maquinaria, transporte y otros insumos que intervengan en la obtención de un producto a través de inventarios, análisis de campo e información brindada por las haciendas productoras o recopilada bibliográficamente, lo que nos permitirá definir con claridad los gastos energéticos en cada una. Se buscará obtener una tasa de retorno energético superior a la unidad, lo que permitiría la implementación en el país de este biocombustible. De la misma manera se comparará la tasa de retorno energético del etanol obtenido a partir de mucílago del cacao con la obtenida de la biomasa de la caña de azúcar, aspirando que sea superior en al menos una unidad, lo que confirmaría su factibilidad.

**Palabras Clave:** Tasa de retorno energético. Mucílago. Balance de energía. Etapas. Biomasa.



## **Abstract**

This research will determine the energy balance of the production of bioethanol from the CCN-51 cocoa mucilage using the methodology of EROI (energy returned on energy invested), making a study of the energy expenditure by stages, being the first the agricultural stage, from the cultivation of cocoa, to its post-harvest preparation as a function of the percentage of mucilage contained in the cocoa pod and the second the production of bioethanol as such, data that will be obtained through energy audits in each stage, which consist of compilation of energy information in terms of machinery, transport and other inputs involved in obtaining a product through inventories, field analysis and information provided by the company or compiled bibliographically, which will allow us to clearly define energy costs in each. It will seek to obtain an energy return rate higher than unity, which would allow the implementation in the country of this biofuel. In the same way, the energy return rate of the cocoa mucilage will be compared with that of sugar cane, aspiring to be superior in at least one unit, which would confirm its feasibility.

**Keywords:** Energy return rate. Mucilage. Energy balance. Stages. Biomass



## Índice de Contenido

<b>Resumen</b> .....	2
<b>Abstract</b> .....	3
<b>Dedicatoria</b> .....	10
<b>Agradecimientos</b> .....	11
<b>1. Introducción</b> .....	12
<b>2. Contenido Teórico.</b> .....	15
2.1 Cacao .....	15
2.1.1 Generalidades.....	15
2.1.2 Producción de Cacao en Ecuador .....	17
2.1.3 Zonas de Producción del Cacao.....	18
2.1.4 Características de Producción: Siembra y Cosecha de Cacao. ....	19
2.2 Industria del cacao.....	24
2.2.1 Procesamiento del cacao: .....	24
2.2.2 Aplicaciones del cacao: .....	25
2.2.3 Mucílago de cacao.....	26
2.2.4 Extracción del mucílago de Cacao .....	27
2.2.5 Proceso de Fermentación .....	27
2.2.4.1 Rendimiento de Etanol en la fermentación. ....	28
2.5 Energía Alternativa .....	29
2.6 Tasa de Retorno Energético (TRE).....	31
<b>3. Metodología</b> .....	33
3.1 Materia Prima .....	33
3.1.1 Mucílago de cacao CCN-51.....	33
3.2 Métodos.....	34
3.2.1 La Tasa de Rendimiento Energético .....	34
3.2.1.1 Primera Etapa.....	34
3.2.1.2 Segunda Etapa .....	37
<b>4. Análisis y Discusión de Resultados</b> .....	45
4.1 Primera Etapa .....	45
4.1.1 Energía en el proceso de cultivo .....	53
4.1.1.1 Ingreso de Energía Directa.....	54
4.1.1.2 Ingreso de Energía Indirecta .....	56



4.2 Segunda Etapa .....	59
4.3 Egreso de energía .....	61
4.4 Cálculo de la Tasa de Rendimiento energético TRE .....	62
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>64</b>
5.1 Conclusiones .....	64
5.2 Recomendaciones .....	65
<b>Referencias .....</b>	<b>66</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>72</b>
Anexo 1: Encuesta aplicada Camilo Ponce Enriquez y La Troncal .....	72
Anexo 2: Fotografías del levantamiento de datos en los cantones de Camilo Ponce Enríquez y La Troncal. ....	74
Anexo 3: Fotografías de equipos utilizados en la obtención de bioetanol en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Cuenca. ....	76



## Índice de Tablas

Tabla 1: Composición del Cacao .....	15
Tabla 2: Composición de la pulpa de las semillas de cacao .....	26
Tabla 3: Número de Productores por Cantón .....	34
Tabla 4: Valores empleados para cálculo de la Muestra .....	35
Tabla 5: Condiciones óptimas de fermentación .....	38
Tabla 6: Especificaciones de la columna de rectificación.....	41
Tabla 7: Condiciones de operación de la unidad de Rectificación .....	42
Tabla 8: Resultados finales de la rectificación .....	42
Tabla 9: Parámetros para el diseño de la Columna de adsorción.....	43
Tabla 10: Parámetros Energéticos seleccionados para caracterizar el flujo energético en la primera etapa de la producción de Etanol. ....	54
Tabla 11: Herramientas usadas en la siembra y cultivo de cacao .....	55
Tabla 12: Consumo de Energía en el rubro de mano de obra .....	56
Tabla 13: Principales productos químicos usados en el cultivo de cacao. ....	56
Tabla 14: Nutrientes requeridos por año de una planta de Cacao CCN-51.....	57
Tabla 15: Energía total aportada por cada nutriente e insumo por planta en 1 año .....	57
Tabla 16: Valores de Energía en una unidad standar para el cantón camilo Ponce Enríquez... 58	
Tabla 17: Valores de Energía en una unidad standar para el cantón La Troncal.....	58
Tabla 18: Consumo de energía a nivel de laboratorio para la producción de bioetanol de una hectárea de cacao usando un fermentador Smart Gx.....	60
Tabla 19: Consumo de energía a nivel de laboratorio para la producción de bioetanol de una hectárea de cacao usando un fermentador Biotron Gx.....	60
Tabla 20:Otros insumos importantes en la producción de bioetanol a nivel de laboratorio.....	61
Tabla 21: Energía total ingresada al sistema.....	61
Tabla 22: Cantidad de energía contenida en 5 litros de bioetanol .....	61
Tabla 23: Comparación de la tasa de retorno energético para el bagazo de caña y el mucílago de cacao. ....	62



## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1:Cacao Criollo .....	16
Ilustración 2: Cacao Forastero .....	16
Ilustración 3: Cacao Trinitario.....	17
Ilustración 4: Cacao CCN-51.....	17
Ilustración 5: Cacao Nacional.....	18
Ilustración 6: Rutas Tecnológicas para la producción de bioetanol .....	31
Ilustración 7: Proceso de Transformación de Energía fuente en energía útil. ....	31
Ilustración 8: Flujograma para obtener muestra de mucílago.....	39
Ilustración 9: Obtención de Bioetanol a nivel de laboratorio.....	40
Ilustración 10: Equipo de Rectificación .....	41
Ilustración 11: Equipo de destilación extractiva .....	43
Ilustración 12: Plántulas de cacao Camilo .....	45
Ilustración 13: Plántulas de cacao La Troncal .....	45
Ilustración 14: Origen de las Plántulas en Camilo Ponce Enríquez .....	46
Ilustración 15: Origen de las Plántulas en La Troncal .....	46
Ilustración 16: Número de Plantas de cacao por Hectárea en Camilo Ponce Enríquez.....	46
Ilustración 17: Número de Plantas de cacao por Hectárea en La Troncal.....	47
Ilustración 18: Mazorcas por planta en Camilo Ponce Enríquez .....	47
Ilustración 19: Mazorcas por planta en La Troncal.....	48
Ilustración 20: Trabajadores por Hectárea en Camilo Ponce Enríquez .....	48
Ilustración 21: Trabajadores por Hectárea en La Troncal .....	49
Ilustración 22: Horas de trabajo diarias en Camilo Ponce Enríquez .....	49
Ilustración 23: Horas de Trabajo diarias en La Troncal .....	50
Ilustración 24: Frecuencia de fumigación en Camilo Ponce Enríquez .....	50
Ilustración 25: Frecuencia de Fumigación en La Troncal .....	51
Ilustración 26: Insumos químicos usados en Camilo Ponce Enríquez.....	51
Ilustración 27: Insumos químicos usados en La Troncal.....	52
Ilustración 28: Disposición final del mucílago en Camilo Ponce Enríquez.....	52
Ilustración 29: Disposición final del mucílago en La Troncal.....	53
Ilustración 30: Encuestas aplicadas en el Cantón Camilo Ponce Enríquez.....	74
Ilustración 31: Visita a haciendas productoras de cacao en el cantón Camilo Ponce Enríquez	74
Ilustración 32: Visita a haciendas productoras de cacao en el Cantón La Troncal.....	74
Ilustración 33: Visita a haciendas de cacao en el Cantón Camilo Ponce Enríquez .....	74
Ilustración 34: Aplicación de encuestas en el Cantón Camilo Ponce Enríquez .....	74
Ilustración 35: Aplicación de Encuestas en el Cantón La Troncal.....	74
Ilustración 36: Visita a las haciendas productoras de cacao en el Cantón La Troncal .....	75
Ilustración 37: Aplicación de Encuestas en el Cantón La Troncal.....	75
Ilustración 38: Equipo de Rectificación .....	76
Ilustración 39: Equipo de Fermentación.....	76
Ilustración 40: Estufa .....	76
Ilustración 41: Mezcladora .....	76



Universidad de Cuenca

Cláusula de Licencia y Autorización para publicación en el Repositorio Institucional

*Daniela Estefanía Tenesaca Fajardo* en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "*Balance energético de la producción de bioetanol a partir de mucílago de cacao CCN-51 en los cantones Camilo Ponce Enríquez y La Troncal*" de conformidad con el ART. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACION reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice una publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 114 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de abril del 2019.

---

Daniela Estefanía Tenesaca Fajardo  
C.I: 0106202229





Universidad de Cuenca  
Cláusula de Propiedad Intelectual

*Daniela Estefanía Tenesaca Fajardo* autora del Trabajo de Titulación "*Balance energético de la producción de bioetanol a partir de mucilago de cacao CCN-51 en los cantones Camilo Ponce Enríquez y La Troncal*", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 10 de abril de 2019.

A handwritten signature in blue ink, written over a horizontal line.

Daniela Estefanía Tenesaca Fajardo  
C.I: 0106202229



## **Dedicatoria**

Lleno de regocijo, amor y esperanza, dedico este proyecto a mis padres, Sr. Luis Tenesaca y Sra. Beatriz Fajardo por todo el apoyo brindado en cada momento de mi vida, por sus consejos, por su amor incondicional, por la motivación y por los valores inculcados que me han permitido alcanzar mis metas y ser una persona de bien.

Con cariño a mis hermanos, Andrés, Carolina y Fernando por su apoyo incondicional y la motivación en momentos difíciles que me han permitido tener una razón para seguir adelante.

A la memoria de mis abuelitos, Humberto y Víctor, porque desde el lugar donde se encuentren siempre me hacen saber que están aquí, en cada logro, llenándome de bendiciones. A mis abuelitas, Teresa y Margarita por sus consejos, su cariño y su amor en todo momento.

A mi compañero de aventuras, con todo mi amor, Byron Álvarez, por su compañía, su apoyo incondicional, por la motivación y por las alegrías que han logrado hacerme ver la vida de mejor manera.

Daniela Estefanía Tenesaca Fajardo.



## **Agradecimientos**

Agradezco primeramente a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida, el cual es fruto de mucho esfuerzo, trabajo y sobre todo dedicación a lo largo de toda mi formación académica, por haberme brindado la bendición de tener a mi familia a mi lado apoyándome incondicionalmente y por poner en mi camino a las personas adecuadas, sin las cuales no habría alcanzado este logro.

Agradezco hoy y siempre a mis padres, por todo su apoyo tanto emocional como económico, ya que sin ellos mi formación no habría sido posible. Por ser mi soporte en momentos difíciles, por alentarme a seguir adelante superándome a mí misma y por ser mi inspiración para continuar.

De igual manera, mi más sincero y profundo agradecimiento a mi director de Tesis, Mgst. Jorge Delgado Noboa, quien me guió a lo largo de la elaboración de este proyecto con esmero y paciencia, a través de su sabiduría y su exigencia me ha transmitido la seguridad para desempeñar mi papel como profesional.

Finalmente, un agradecimiento a mis compañeros, con quienes a lo largo de la formación profesional hemos formado lazos de amistad inquebrantables, por su motivación y por todos los buenos y malos momentos vividos, ya que sin ellos no habría llegado hasta este punto de mi vida.



## **1. Introducción**

La producción de biocombustibles de tipo líquidos ha surgido como alternativa frente al uso de combustibles de origen fósil para diversas aplicaciones. Los principales objetivos que se buscan con la implementación de estos biocombustibles son la mitigación de las emisiones de carbono, la seguridad energética y el desarrollo del sector agrícola (FAO, 2008). El etanol, a partir de material biológico, o también llamado bioetanol, es un sustituto parcial para la gasolina. Actualmente se usan aquellos cultivos ricos en azúcares o almidones y que son fuente de alimento como la caña de azúcar, la remolacha azucarera, maíz, yuca entre otros, los cuales se consideran como Biocombustibles de primera generación y son llamados en ocasiones agro combustibles. Sin embargo, la producción de etanol puede provenir de gramíneas o pastos perennes y desperdicios agrícolas como aserrín, astillas, cortezas y ramas o subproductos como el bagazo, siendo estas fuentes la base de los biocombustibles de segunda generación (Triana, 2013).

En Ecuador, el petróleo es la principal fuente de energía primaria, obtenida desde los yacimientos de la península de Santa Elena y la Amazonía Ecuatoriana, los cuales se prevé un abastecimiento de hasta 40 años (Álvarez, 2009). El consumo del sector transporte representa el 49% del total de la demanda. La industria, el sector residencial, comercial, de servicios y público demandan el 18%, 12% y 4% respectivamente. En el año 2013, el 84% de la demanda de energía provino de fuentes fósiles. El 31% de la energía consumida en el país fue en forma de diésel. El consumo de gasolinas representó el 23% del total de energía demandada, y el 13% del consumo correspondió a electricidad. Por otra parte, en los últimos años, en Ecuador se ha buscado un cambio en la matriz energética lo que ha generado resultados favorables, ya que, en el 2015, un 51,78% fue reemplazado por energía renovable distribuyéndose de la siguiente manera: 49,72% hidráulica, 24,65% de motores de combustión interna, 12,42% de turbo gas, 9,21% turbo vapor, 1,94% importación, 1,55% biomasa, 0,38% eólica y 0,14% fotovoltaica (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014).

Ecuador es un país agrícola, gran parte de su desarrollo se debe a productos como el banano, cacao, café y flores (Rodríguez & Fusco, 2017). Es considerado el primer productor mundial de cacao fino y de aroma por su geografía y en recursos biológicos, con lo cual, el país logra una aportación total del 70%, seguido por Indonesia que produce el 10% del total mundial (PROEcuador, 2013).

Sin embargo, existe otro tipo de cacao en Ecuador, llamado CCN-51 que significa Colección Castro Naranjal del tipo 51, que es un cacao clonado originario de este país y el 22 de junio



del 2005 fue declarado un bien de alta productividad, se considera un cacao de tipo ordinario, corriente o común. La producción de este bien agrícola se centra principalmente en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos(López, 2016). Para el año 2015, Ecuador logro exportar 236677 toneladas de cacao, de los cuales el 70% fue del tipo fino y de aroma(ANECACAO, 2015).

En el procesamiento de esta materia prima están involucradas diferentes etapas. Entre ellas se encuentra la etapa del beneficio, la cual abarca todo el tratamiento post cosecha (fermentación, secado, selección y almacenamiento) y constituye parte fundamental y decisiva para la obtención de la buena calidad del grano, lo cual permite su correcta comercialización en el mercado nacional e internacional. Durante la etapa de beneficio se lleva a cabo la fase de fermentación, la cual comprende la degradación de la baba o mucílago del cacao y la formación, dentro de la almendra, de las sustancias precursoras del sabor y aroma. Durante la fermentación, no todo el mucílago presente en la mazorca de cacao es necesario para que el proceso de transformación de la almendra alcance niveles óptimos de calidad(Hernández & Rojas, 2011). Razón por la cual se obtienen 40 litros de mucílago aproximadamente de 800 kilos de semillas frescas, lo cual es drenada formando parte de una corriente de sustancias de desecho(Kalvatchev, Garzaro, & Guerra, 1998).

Muchos de los productores no fermentan el cacao, para abaratar costos y esfuerzos en el proceso. Existe la posibilidad que, durante esta actividad, se emplee un proceso extractivo del mucílago para ser aprovechado en la elaboración de otros subproductos sin perturbar el proceso de fermentación propio de la producción de cacao(Delgado, 2018). Entre los productos artesanales que pueden producirse a partir del mucílago se encuentran: jaleas, mermeladas, jugos, vinos, vinagre y en la actualidad para la elaboración de biocombustible. Por lo que la recuperación de ese efluente, que no es necesario en la fermentación, puede conllevar a un mejor aprovechamiento económico y una reducción de los desechos generados del proceso(Hernández & Rojas, 2011).

El estudio se plantea en el biocombustible procedente de la fermentación del mucílago de cacao, el cual ha sido obtenido en estudios anteriores, por lo que el objetivo general de la presente investigación es determinar el balance de energía en la producción de bioetanol a partir del mucílago de cacao CCN-51 empleando la metodología de la tasa de retorno energético, y los objetivos específicos son: obtener datos del consumo de energía en el cultivo del cacao CCN-51 en el Ecuador empleando auditorías energéticas; comparar la



cantidad de energía involucrada en la producción de biocombustible a partir del mucílago del cacao CCN-51 con la energía empleada en la producción del mismo biocombustible a partir de la proveniente de la biomasa de la caña de azúcar; y determinar la factibilidad de la producción de este biocombustible en relación con su gasto de energía y su aplicabilidad como fuente renovable de bioetanol.



## 2. Contenido Teórico.

### 2.1 Cacao

#### 2.1.1 Generalidades

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es originario de Mesoamérica. El cacaotero es un árbol que necesita de humedad y de calor. Es de hoja perenne y siempre se encuentra en floración, crece entre los 6 y los 10 m de altura, sus frutos son de forma alargada y pueden ser hasta de 1kg. Requiere sombra, protección del viento y un suelo rico y poroso, pero no se desarrolla bien en las tierras bajas de vapores cálidos, se desarrolla en clima cálido y húmedo, sin estaciones secas acentuadas(Lourdes et al., 2018). Su altura ideal es aproximadamente a 400 msnm. El terreno debe ser rico en nitrógeno y en potasio, con una temperatura entre los 20°C y los 30 C°, siendo estos terrenos franco arcillosos, con buen drenaje y topografía regular, con un pH de 4 a 7.4.(FLACSO ECUADOR, 2011). Este árbol tarda 8 a 10 años en lograr su máxima producción dependiendo del tipo del cacao y las condiciones de la zona en el cual fue cultivado (PROECUADOR, 2013).

Tabla 1: Composición del Cacao

Componentes	%
Manteca de cacao	54
Proteínas	11,5
Celulosa	9
Almidón y Pentosas	7,5
Taninos	6
Agua	5
Oligoelementos y Sales	2,6
Ácidos Orgánicos y esencias	2
Teobromina	1,2
Azúcares	1

Fuente: (FLACSO ECUADOR, 2011)

Existen tres variedades de cacao:

- **Cacao criollo o nativo:** Se cultivaba cuando llegaron los colonizadores españoles. Es un cacao de gran calidad y su contenido en taninos es más bajo que el de otras variedades. Este es un árbol frágil y de poca producción(Landeta, Coronel, & Bastidas, 2009).



Ilustración 1: Cacao Criollo  
Fuente: (Luker, 2012)

- **Cacao forastero:** Conforman el 80% de producción mundial, es la variedad que más abunda. Es un cacao con poco sabor y poco aroma por lo que se utiliza mezclado con el criollo, es resistente a enfermedades y presenta alta productividad(Landeta et al., 2009; PROECUADOR, 2013)



Ilustración 2: Cacao Forastero  
Fuente:(Amano, 2013)

- **Cacao Trinitario:** Es un cruce entre el forastero y el criollo que procede de Trinidad. Tiene más aroma que el forastero y es más resistente que el criollo, presenta del 10 al 15% de la producción mundial. Dentro de esta variedad se ubica el cacao CCN-51(Landeta et al., 2009; PROECUADOR, 2013).





Ilustración 3: Cacao Trinitario  
Fuente: (Callebaut Barry, 2018)

### 2.1.2 Producción de Cacao en Ecuador

La producción de cacao en el país ha generado ingresos y plazas de empleo a miles de familias en varias provincias, dando como resultado múltiples beneficios; además de grandes explotaciones y el desarrollo sustancial de la economía ecuatoriana. La producción se encuentra relacionada a las condiciones del medio ambiente, siendo este un factor importante en el incremento del rendimiento del cacao (Vera Chang et al., 2015).

En Ecuador se cultivan dos tipos de cacao:

- **Cacao CCN-51:** Los frutos presentan un color rojizo en su estado de desarrollo y en su madurez. Contiene grandes cantidades de grasa, se caracteriza por su alta capacidad productiva cuadruplicando a las producciones tradicionales (Terenzi, 2017). Representa el 30% del total de cacao en grano producido en el país (Quizhpi, 2016).



Ilustración 4: Cacao CCN-51  
Fuente: (Anecacao, 2010)

- **Cacao Nacional:** Conocido como fino y de aroma, su calidad es de alto nivel, es el producto tradicional y emblemático del Ecuador, conocido como único en el mundo es muy conocido en la industria de la confitería(Villamar, Salazar, & Quinteros, 2016).



Ilustración 5: Cacao Nacional  
Fuente: (Julio Gonzalez, 2018)

En el 2012, el cacao fue el quinto producto más exportado de los productos no petroleros, siendo superado por el banano, pescado, rosas y demás formas de oro para uso no monetario, se registró un total de 182794 toneladas de cacao. (PROECUADOR, 2013). El incremento del rendimiento de cacao se logra con la mejora de las prácticas agronómicas que permiten el aumento del número de mazorcas útiles en la cosecha de cada planta(Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2017).

### **2.1.3 Zonas de Producción del Cacao.**

En el año 2016, el país exportó 205000 toneladas de cacao y la mitad correspondió al cacao de tipo CCN-51(El Comercio., 2017), con tendencias a incrementar año con año. Es importante mencionar que la producción de cacao presenta una gran diferencia en relación a otros cultivos que se dan en la zona, es decir, que el cacao se cultiva, cosecha y comercializa con una frecuencia superior, lo que demuestra que este cultivo es rentable en todos sus aspectos(Sánchez et al., 2013).

Las plantaciones comerciales de cacao se encuentran principalmente ubicadas en la región Litoral del país, a una altitud que va desde el nivel del mar hasta 1200 m.s.n.m., en la que se identifican claramente tres zonas principales: norte, centro y sur(Fedecacao, 2008a).

La zona norte comprende las siguientes provincias con sus respectivos cantones:



- *Esmeraldas*: Quinindé, Viche, Esmeraldas, San Lorenzo y Muisne.
- *Manabí*: Chone, El Carmen, Calceta, Rocafuerte y Pichincha
- *Santo Domingo de los Tsáchilas*: Santo Domingo de los Colorados
- *Cotopaxi*: La Maná, San Miguel y El Corazón.

La zona central comprende las siguientes provincias con sus respectivos cantones:

- *Guayas*: Colimes, Balzar, Santa Lucía y Urvina Jado,
- *Los Ríos*: Vinces, Palenque, Baba, Isla Bejucal San Juan, Pueblo Viejo, Catarama, Ricaurte, Babahoyo y Quevedo.
- *Bolívar*: San José del Tambo.

La zona sur corresponde a las provincias y cantones de:

- *Guayas*: Milagro, Naranjito, Naranjal, Balao Chico, Tenguel.
- *El Oro*: Santa Rosa, Machala, El Guabo y Tendales.
- *Azuay*: Santa Isabel y Camilo Ponce Enríquez.
- *Cañar*: La Troncal.

#### **2.1.4 Características de Producción: Siembra y Cosecha de Cacao.**

##### **Propagación**

Esta planta tiene una cualidad curiosa, ya que no es macho pero tampoco hembra, sus flores poseen ambas partes. El cacao es una especie que se propaga tanto de manera sexual, a través de la semilla y también asexualmente como son los injertos (Bustamante Adun, 2010).

##### **Propagación Sexual**

Es la forma más usada, generalizada y fácil de reproducir el cacao. Se emplean semillas previamente seleccionadas de los árboles considerados como los mejores, llamados árboles élites o árboles madres que presentan mejores características en aspectos de vigor y desarrollo, así como productividad y resistencia a plagas y enfermedades propias del cultivo (Caja de herramientas para Cacao., 2012).

Los viveros son usados con el fin de multiplicar y manejar grandes cantidades de plantas, en este caso de cacao, facilitando la selección de plantas con buenas características. Preferiblemente, debe ubicarse cerca del lugar donde se encuentran los árboles madres. Las



fundas deben ser de polietileno negro con agujeros en el fondo para el drenaje de agua, se llenan con abono orgánico, fertilizante y arena. Las plántulas deben ser trasplantadas al terreno antes de que las raíces salgan de la funda que los contiene (Bustamante Adun, 2010).

### **Propagación Asexual**

Existen tres métodos de propagación asexual: por injertos, ramilla y propagación in vitro. El cacao CCN-51 es propagado comúnmente por ramillas. Este método consiste en seleccionar pequeñas ramillas de las plantas que se encuentran cultivadas y que presentan buenas características físicas y de productividad. Estas deben presentar un color pardo y son cortadas con tijeras de poda, para ser sumergidas en agua, posteriormente se efectuarán las técnicas necesarias y se colocará en su cámara de propagación hasta obtener raíces (Bustamante Adun, 2010).

### **Siembra**

Los factores climáticos para el buen desarrollo del cacao son la temperatura y la lluvia, sin embargo, también son relevantes el viento y la radiación solar. El cacao es una planta que se desarrolla bajo la sombra, aunque la humedad relativa es otro factor importante ya que puede contribuir a la proliferación de alguna enfermedad. Debido a las exigencias del cultivo de cacao, esta se ha concentrado en tierras bajas tropicales (Anacafe, 2004).

- **Temperatura:** No soporta temperaturas bajas, necesita clima húmedo y cálido con temperatura de 23°C como promedio (Bustamante Adun, 2010). Este factor determina la formación de las flores (Infoagro, 2017).
- **Agua:** Necesita suelos provistos de un buen drenaje, ya que se puede producir una asfixia de las raíces. La necesidad de agua está entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 2500 y 1500 mm en las zonas más frescas (Anacafe, 2004).
- **Viento:** Vientos continuos podrían provocar desecamiento y disminución en el follaje, por esta razón es necesario la presencia de otros sembríos, en concreto árboles que actúan como cortavientos, con una condición óptima de menos de 10Km/h.(Fedecacao, 2008a)
- **Sombra:** El cacao es un sembrío umbrófilo, ya que el exceso de radiación es perjudicial para el cultivo. (Infoagro, 2017). La luminosidad debe ubicarse alrededor del 50% durante los primeros 4 años de vida. (Bustamante Adun, 2010)



- **Suelo:** La elección de un suelo adecuado es importante para obtener cultivos de cacao de alta productividad. Necesita suelos ricos en materia orgánica, de buena profundidad, franco arcilloso, con drenaje adecuado y de topografía regular, el factor crítico es la capa húmica, sin embargo, el cacao puede prosperar en diversos tipos de suelos (Fedecacao, 2008a).

Para la siembra del cacao es menester escoger un sitio adecuado, que brinde las características y los beneficios necesarios para su crecimiento. La preparación del terreno para la siembra de cacao dependerá del uso que se ha dado al terreno previamente, la actividad principal en esta etapa es hacer la limpieza de la zona, se eliminan las especies de planta pequeñas a excepción de las que se consideran buenas para el sistema, como son aquellas que proporcionan sombra al cacao. Se eliminan troncos y ramas que dificultan el traslado de las plántulas para la siembra y arboles acompañantes. Si el terreno no ha sido empleado para la siembra anteriormente, es necesario arar el suelo, ya que este se encuentra muy compactado (Chávez & Mansilla, 2004).

Una vez preparado el terreno, se realiza la siembra según el diseño que se haya trazado, época del año, disposición de mano de obra y los materiales. Para esto las principales labores son: adecuación del terreno, limpieza de rastrojos, trazado y estaquillado para cacao y el hoyado para la siembra. Los hoyos deben medir 30 centímetros de ancho por 35 centímetros de profundidad, agregándose al fondo abono, para facilitar el desarrollo de las raíces de las plántulas (Beltrán & Zhindon, 2018).

- **Poda:** Tiene como objeto eliminar las partes poco útiles de los árboles para estimular el desarrollo de las ramas primarias y la formación de un tronco recto. Existen diferentes tipos de poda como son la de formación que se hace en los primeros años, la de mantenimiento, que se realiza varias veces en el año, la fitosanitaria, que se realiza en los tiempos de cosecha y la de rehabilitación que permite mejorar plantas viejas o poco productivas.(Bustamante Adun, 2010)
- **Riego:** Al tratarse de zonas tropicales, el aporte de agua procedente de la lluvia, en caso de ser necesario se implementarán sistemas de riego. Se debe evitar el exceso de riego y humedad que puede incidir en el desarrollo de enfermedades y falta de oxigenación en las raíces. Los sistemas de riego pueden ser por gravedad, goteo, aspersión y micro aspersión, considerando el tiempo de vida de las plantas, los costos de instalación y funcionamiento y el tipo de suelo. (Fedecacao, 2008a)



- **Fertilización:** En la siembra o el trasplante se debe colocar abono orgánico o fertilizante en el fondo. Durante el primer y segundo año las necesidades por planta son puntuales. Del tercer año en adelante, el abonado se debe hacer basándose en un análisis del suelo, que normalmente se vuelve constate año con año (Anacafe, 2004)

### **Principales plagas y enfermedades**

La productividad y economía de una finca de cacao está determinada por la adecuada aplicación de buenas prácticas de producción y mantenimiento, con una mención especial en el control de enfermedades y plagas, por lo que es muy importante mantener un alto nivel de manejo de la plantación para evitar la proliferación de insectos y enfermedades (Hernando, Restrepo, Rengifo, Maribel, & Carmona, 2009).

Las enfermedades son la causa más importante de la pérdida de producción mundial de cacao, por esta razón es importante la gestión y el manejo óptimo de las fincas productoras de cacao. Es importante mencionar que cada planta debe ser tratada y analizada personalmente para evitar la propagación de enfermedades en caso de existir (Ángel et al., 2017).

Las principales plagas y enfermedades que podrían afectar el cultivo de cacao son:

- **Monilla:** Ataca únicamente a los frutos, es una de las más severas en nuestro país, aparece generalmente en las primeras etapas del crecimiento de la mazorca y se desarrolla conforme el fruto crece (Fedecacao, 2008b).
- **Mazorca Negra:** Ocasionalmente ocasiona daños intensos y severos en los frutos, la mazorca presenta una mancha oscura de color café que inicia en los extremos, los bordes están bien definidos, el hongo crece y puede producir esporas que brotan como algodón fino y blanco cuando las mazorcas están contagiadas, puede afectar a toda la planta de cacao (Ángel et al., 2017).
- **Mal de Machete:** Es capaz de destruir árboles enteros, infecta a la planta por medio de lesiones en los troncos y ramas primordialmente. Se disemina rápidamente por medio de herramientas contaminadas (Bustamante Adun, 2010).
- **Escoba de Bruja:** Es la enfermedad más importante del cacao, es transmitida por las semillas posiblemente, ataca brotes nuevos, flores, hojas y los frutos. Las



mazorcas que desarrollan esta enfermedad presentan manchas negras, duras, brillantes e irregulares (Caja de herramientas para Cacao., 2012).

- **Roselinia:** Ataca únicamente las raíces de la planta, ocasiona marchitamiento y que las hojas produzcan hojas de color amarillo que se caen y defolian a la planta, es frecuente en lugares con materia orgánica (Fedecacao, 2008b).
- **Antracnosis:** Incide en el desarrollo y la producción de las plantas ya que ataca los brotes tiernos, las hojas y tallos que se exponen más a la luz solar. Ocasiona lesiones secas con borde amarillo (Bustamante Adun, 2010).
- **Barrenador del tallo:** Son insectos que raspan la corteza y deposita sus huevos, las larvas penetran en el tallo y se alimentan (J. De La Cruz Medina, 2009)

## **Cosecha**

La cosecha da inicio cuando el fruto está maduro, la misma que es apreciada con el cambio de pigmentación, el punto óptimo para la recolección se alcanza cuando las variedades de fruto rojo toman un color anaranjado-bermellón y los de fruta amarilla un color amarillo-verdoso. Los árboles de cacao florecen dos veces al año, siendo el principal florecimiento en marzo-junio y el segundo florecimiento en diciembre-enero. La cosecha debe desarrollarse cada dos semanas en la cosecha menor y cada semana en los periodos de cosecha mayor. El período de maduración de los frutos se da entre los cuatro y los seis meses, según la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura. La recogida de los frutos se realiza manualmente con herramientas adecuadas como las tijeras de mano o medialunas afiladas y desinfectadas. No se debe jalar los frutos con las manos, ya que se puede lesionar el tronco, un manejo adecuado de esta etapa garantizara una semilla de mayor calidad (Chávez & Mansilla, 2004).

No se deben cosechas frutos inmaduros, ya que los granos de estas vainas no están preparados para la fermentación porque carecen de mucílago lo que los vuelve duros y desprendibles fácilmente, no se deben mezclar los granos maduros con inmaduros. De la misma manera, deben separarse las mazorcas sanas de las enfermas (Bustamante Adun, 2010).



## 2.2 Industria del cacao

### 2.2.1 Procesamiento del cacao:

Los objetivos principales del beneficio o procesamiento del cacao son descomponer el mucílago azucarado que rodea al grano fresco, permitir y facilitar las transformaciones bioquímicas que sufre la almendra de cacao para desarrollar el aroma y disminuir la humedad del grano (Hernández & Rojas, 2011). Los granos frescos de cacao se convierten en un producto comercial por medio de cuatro operaciones principales:

1. **Quebrado de la mazorca:** La rotura de la mazorca debe realizarse evitando el daño y la contaminación de los granos alojados en su interior. Es recomendable partir las mazorcas inmediatamente luego de su cosecha o hasta 2 días luego de su recolección, para evitar la proliferación de bacterias (Bustamante Adun, 2010).
2. **Fermentación:** Se produce cuando los azúcares y los almidones se descomponen en ácidos o alcohol. Esta es una etapa fundamental para producir diferentes tipos de alimentos y bebidas como el alcohol y el chocolate ya que incide directamente en su calidad (Guevara, 2018). Este proceso dura aproximadamente 6 días para el cacao CCN-51 siempre y cuando no se haya realizado el pre secado y en el actúan microorganismos propios de los granos de cacao como son las levaduras, las bacterias lácticas y las bacterias acéticas (Andrade Nelly, 2013). Durante este proceso el mucílago se desprende, la temperatura incrementa y el embrión contenido en las semillas muere, logrando así eliminar los precursores del aroma y sabor propios del grano. Se tiene como primer desperdicio la pulpa del cacao denominada exudado con hasta el 9,48% del peso húmedo inicial (Guevara, 2018). Existen varios métodos para la fermentación como: en montones, en sacos, en cajas y en tendales. Al finalizar la fermentación los granos deben estar hinchados con la cascara más oscura que al inicio del proceso (Bustamante Adun, 2010)
3. **Secado:** Se reduce los niveles de humedad del 60% al 7%, los cuales deben secarse uniformemente, valores inferiores provocan que el grano se torne quebradizo reduciendo de esta manera la calidad, si el contenido de humedad es superior, se generan microorganismos que evitan el desarrollo de aroma y sabor. En esta etapa se terminan los cambios bioquímicos que suceden en la fermentación, reduce la acidez y se consigue el sabor y aroma característico. Se emplean dos métodos: el natural, aprovechando la luz del sol y el artificial, usando estufas o secadores mecánicos. En esta etapa se obtiene el segundo desperdicio, siendo este la cascarilla





de cacao (Guevara, 2018). Un secado correcto es tan importante como la fermentación adecuada, ya que se obtendrá un color marrón dentro del grano si se seca bien.

4. **Añejamiento:** Dura aproximadamente 30 días hasta un año (Chávez & Mansilla, 2004).
5. **Almacenamiento:** Es necesario mantener un ambiente anaerobio y condiciones de humedad no superiores al 7%. Se debe almacenar únicamente el grano que cumpla con la calidad permitida. Se pueden usar ventiladores para separar polvo y la cascarilla propia del cacao. Los granos deben colocarse en sacos limpios y fuertes se materiales no tóxicos (Infoagro, 2017).

### **2.2.2 Aplicaciones del cacao:**

Entre las principales aplicaciones del cacao, destacan los semielaborados, es decir el uso de cacao a escala industrial. Ocurre la separación las fases sólidas de las líquidas, obteniendo productos que serán empleados en la fabricación de chocolate y otros derivados (FLACSO ECUADOR, 2011). Estos son:

- **Cáscara del fruto:** Se emplea como alimento para ganado o abono orgánico (PROECUADOR, 2013).
- **Pulpa de Cacao:** Se elaboran bebidas, principalmente alcohólicas o es considerado como desecho.
- **Licor:** Es una pasta fluida procedente del cacao en un proceso de molienda, se usa en la producción del chocolate y en la elaboración de bebidas, al prensarse se puede obtener otros productos como la manteca, la torta y el polvo (PROECUADOR, 2013).
- **Manteca de cacao:** Se obtiene del prensado de los granos de cacao previamente fermentados, es rica en grasas saturadas, se emplea en fármacos, pomadas, jabones y mascarillas (Anecacao, 2014).
- **Torta:** Es la fase sólida del licor de cacao, se usa principalmente en chocolatería (FLACSO ECUADOR, 2011).
- **Polvo:** Cuando los granos han sido prensados se obtiene el cacao en polvo, que es bajo en grasa y es a partir de este que se elaboran chocolates, pasteles, entre otros ( European Cocoa Asociation, 2016).

Por otro lado, también se producen los denominados elaborados a partir de cacao que es el caco obtenido tras un proceso industrial o por elaboración artesanal. Por lo general, hace



referencia al chocolate, que puede presentarse como: barras, tabletas, bombones, coberturas, blanco, en polvo, entre otros, los cuales pueden ser obtenidos en función de mezclas con otros productos o frutos (Anecacao, 2014).

### 2.2.3 Mucílago de cacao.

El presente estudio, está basado en este desperdicio como materia prima, la cual se encuentra rodeando a las semillas de cacao y es una pulpa aromática, azucarada y acida, procedente de sus tegumentos, compuesta por células esponjosas parenquimatosas. (Márques & Salazar, 2015). Normalmente se desperdician más de 40 litros por cada 800 Kilogramos de semillas frescas de este material mucilaginoso (Arteaga Estrella, 2013).

Este exceso de pulpa, ha sido utilizado en diferentes países como Brasil, Costa Rica, Colombia, para fabricar productos alimenticios como nata, saborizante, para la preparación de jaleas y como fertilizante (Vallejo et al., 2015). Sin embargo, por el contenido de azúcares fermentables que presenta este compuesto, es posible la obtención de bioetanol mediante la fermentación controlada del mismo, lo que contribuiría de mejor manera al aprovechamiento de este recurso.

En la tabla 2 se presentan los datos de la composición de la pulpa de las semillas de cacao antes y después de ocurrida la fermentación.

Tabla 2: Composición de la pulpa de las semillas de cacao

Composición de la Pulpa de Cacao		
	Antes de la fermentación (%)	Después de la fermentación (%)
<b>Agua</b>	82-87	45-47
<b>Sacarosa</b>	12	0
<b>Ácido Cítrico</b>	1-2	0,5
<b>Pectina</b>	1-1,5	-
<b>pH</b>	3,7	6,5
<b>Alcohol etílico</b>	-	0,5
<b>Ácido Acético</b>	-	1,6

Fuente: (Anvoh, Bi, & Gnakri, 2009)



### 2.2.4 Extracción del mucílago de Cacao.

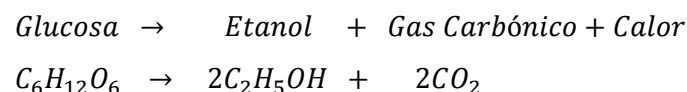
El proceso de extracción se produce de la siguiente manera:

1. Recepción de la materia prima, seleccionada en el campo.
2. Se seleccionan las mazorcas que estén sanas y maduras.
3. Se lavan las mazorcas para dejarlas completamente limpias.
4. Se extrae los granos de cacao, desprendiéndolas de la mazorca cortándolas por la mitad.
5. Se retira las venas que rodean a las pepas de cacao.
6. Se procede a la recolección de pepas con mucílago.
7. A través de una mezcladora de paletas se produce el ablandamiento del mucílago.
8. Se procede a la fluidificación de las pepas de cacao, de la cual se obtiene el mucílago como principal producto.
9. Se procede a una pasteurización del fluido extraído, posteriormente es colocado en un envase y evacuado.
10. Se llevan a la fermentación de este producto.
11. Esta debe ser acumulada y almacenada adecuadamente. (Guncay & Silva, 2018)

### 2.2.5 Proceso de Fermentación

La fermentación alcohólica ocurre en ausencia de aire, originado por la actividad de microorganismos que transforman los carbohidratos en productos elaborados como alcohol etílico, dióxido de carbono en forma de gas y moléculas de ATP(Luzuriaga, 2012).

Gay-Lyssac consideró la ecuación general de la fermentación como una derivada de la transformación de un mol de glucosa en dos moles de alcohol y dos moles de dióxido de carbono (Romero, 2012).



En el proceso de fermentación de las semillas de cacao, los microorganismos participan activamente de manera muy importante. La primera fase consiste en la transformación de los azúcares contenidos en el mucílago de cacao en alcohol etílico, gracias a las levaduras, pertenecientes a los géneros *Cándida*, *Dedaryomyces*, *Hansenulaa*, *Kloeckera*, *Pichia*, *Rhodotorula*, *Saccharomyces* y *Torulopsis*. Cuando el medio de cultivo es rico en azúcar, su transformación en alcohol hace que a una cierta concentración, las levaduras no puedan sobrevivir por más tiempo (Márques & Salazar, 2015).



En los primeros días de fermentación, las levaduras se encuentran en mayor cantidad con respecto al resto de población microbiana y desdoblan los azúcares de la pulpa ácida que cubre al grano para producir el etanol y dióxido de carbono (Luzuriaga, 2012). Condiciones de pH bajo y una cantidad baja de oxígeno, facilitan inicialmente un excedente de levaduras sobre los organismos del ácido láctico. El ácido cítrico propio de la pulpa, es metabolizado por los organismos del ácido láctico al mismo tiempo, pero el crecimiento inicial de microorganismos se suprime, en tanto los niveles de oxígeno decrecen (J. De La Cruz Medina, 2009).

Ya que la pulpa es drenada, la masa que se encuentra en fermentación adquiere mayor permeabilidad al oxígeno, con lo que se establecen las condiciones apropiadas para el crecimiento de microorganismos (Márques & Salazar, 2015). El contenido de oxígeno de la masa en fermentación aumenta al voltear la masa. Los subproductos de la fermentación de la pulpa, impregna la testa y el cotiledón; la combinación de ácido acético y calor mata la almendra e inhibe la germinación. Al mismo tiempo que esto ocurre, la baba mucilaginosa se exuda lentamente de la masa en fermentación y por acción gravedad, cae al fondo del lugar donde se realiza la fermentación (Luzuriaga, 2012).

La fermentación alcohólica es una reacción moderadamente exotérmica, esto conduce a un aumento moderado de la temperatura de la masa, que alcanza los 35 a 40°C (J. De La Cruz Medina, 2009). La fermentación alcohólica finaliza cuando la concentración de alcohol aumenta de 12 a 14%, es decir, cuando se consumen todos los azúcares de la pulpa, entra oxígeno a la masa y se eleva el pH, lo que provoca la muerte de los microorganismos, principalmente las levaduras (Luzuriaga, 2012). La fermentación se lleva a cabo de varias maneras, pero todas se basan en algo común, que es apilar una cantidad de almendras frescas, con la cantidad de pulpa suficiente para que los microorganismos produzcan calor, elevando así la temperatura e evitando que gran cantidad de aire circule entre las almendras. El tiempo en que tarda la fermentación, está determinado por la cantidad de pulpa presente en la semilla, la acidez baja, entre otras (Márques & Salazar, 2015).

#### **2.2.4.1 Rendimiento de Etanol en la fermentación.**

Estequimétricamente, la ecuación de fermentación parece una transformación simple, sin embargo, no es el caso, ya que la secuencia de transformaciones para descomponer la glucosa hasta dos moléculas de alcohol y dos moléculas de dióxido de carbono es un



proceso muy complejo, ya que la levadura usa glucosa y nutrientes adicionales para lograr reproducirse (Vázquez & Dacosta, 2007). Esta transformación se evalúa a través de:

- **Rendimiento biomasa/substrato:** Se define como la cantidad de levadura producida por cantidad de sustrato consumido.
- **Rendimiento sustrato/producto:** es la cantidad de producto sintetizado por cantidad de sustrato consumido.

El rendimiento estequiométrico teórico para transformar la glucosa en etanol es de 0,511g de etanol y 0,489g de dióxido de carbono por 1g de glucosa, valor descrito y calculado por Gay Lussac. Este rendimiento no es alcanzable, por lo que en realidad se logran rendimientos experimentales entre 90% y 95% del teórico (Vázquez & Dacosta, 2007).

## **2.5 Energía Alternativa**

Un caso particular de energía química es la bioenergía, que se puede definir como cualquier forma de energía asociada a formas de energía química acumulada mediante procesos fotosintéticos recientes. En general, se denomina biomasa a los recursos naturales que poseen bioenergía y que se pueden procesar para obtener formas bioenergéticas más elaboradas y adecuadas para el uso final (BNDES & CGEE, 2008).

Los biocombustibles se obtienen desde la biomasa y los más importantes son etanol y biodiesel. El primero se obtiene de caña de azúcar, papa, remolacha, maíz y otros cereales y en la industria se usa como solvente, bebestible y combustible alternativo. El biodiesel es un combustible para motores diésel, se produce de grasas animales y aceites vegetales nuevos o usados. Generalmente, se obtiene de aceites de soja, ricino y cártamo. Todos ellos reducen el volumen total de CO<sub>2</sub> que se emite en la atmósfera, ya que lo absorben a medida que crecen y emiten prácticamente la misma cantidad que los combustibles convencionales cuando se queman (Callejas & Quezada, 2009).

Los biocombustibles se dividen en dos, los de primera generación y de segunda generación. La clasificación depende de la materia prima utilizada y el proceso de producción. Se consideran los biocombustibles de primera generación los producidos a partir de materias primas agrícolas. Los biocombustibles de segunda generación son los producidos por material orgánico no alimentario cuyo uso no tiene ningún impacto en la cadena alimentaria (Ganduglia et al., 2009). En Ecuador, aún existe la posibilidad de la obtención de



biocombustibles de primera generación, ya que este país tiene una amplia gama de cultivos que aún no han sido estudiados, siendo aprovechables los desechos generados en su procesamiento, por lo que la desventaja que ocurría frente al campo alimentario se eliminaría y se daría lugar a grandes beneficios, como es el caso del mucílago de cacao(Márques & Salazar, 2015).

Una de las fuentes de energía que ha mostrado su nivel de factibilidad en otros países del mundo, es la producción de etanol. Desde el punto de vista industrial, trabajar en la producción de este combustible es fundamental, pues el etanol no sólo es una fuente de energía sino una materia prima importante en la industria química, farmacéutica, agroalimentaria entre otros(Ganduglia et al., 2009). Entre los principales usos del etanol está la preparación de carburantes para vehículos automotores. El etanol permite un aumento del índice de octano. Una de las alternativas para elaborar etanol es por fermentación a partir de materias primas con un alto contenido de hidratos de carbono. Entre estas materias primas están las frutas y vegetales como la caña de azúcar y la remolacha, los cereales, los tubérculos y en general, materias provenientes de ligno-celulosas o de residuos orgánicos. (Vázquez & Dacosta, 2007) En la Ilustración 6 se sintetizan las rutas tecnológicas para la producción de bioetanol, considerando las diferentes materias primas de interés estudiadas hasta el momento.

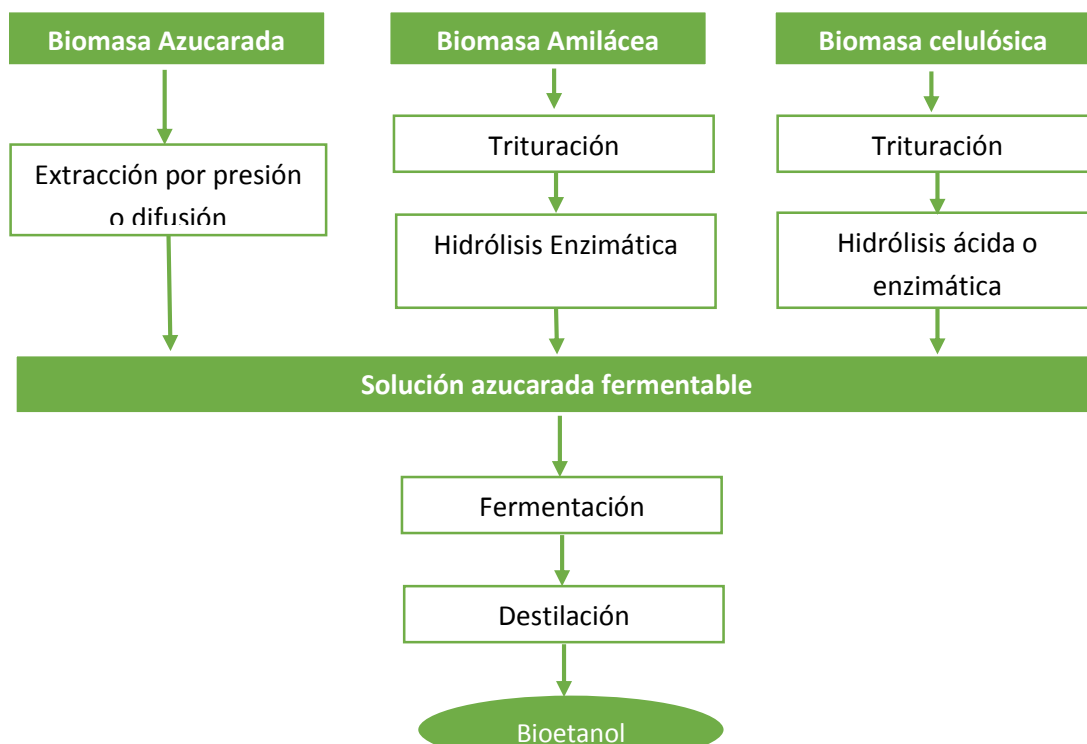


Ilustración 6: Rutas Tecnológicas para la producción de bioetanol  
Fuente: (BNDES & CGEE, 2008)

El etanol, de origen biomásico se considera un producto biodegradable, libre de azufre, como el carbono en su cadena es de origen vegetal, al ser liberado durante la combustión no contribuye en el balance neto de producción de dióxido de carbono, disminuyendo el efecto en el calentamiento global (Velásquez, Ruiz, & Oliveira, 2007).



Ilustración 7: Proceso de Transformación de Energía fuente en energía útil.  
Fuente: (Balencia & Balencia, 2008)

## 2.6 Tasa de Retorno Energético (TRE)

El concepto de la tasa de retorno energético tiene sus orígenes en los análisis del equilibrio en ecosistemas, adoptado de la rama de la Biología. Considerando el posible agotamiento de los recursos fósiles, es necesario conocer la cantidad de energía útil que se obtiene de un fuente de generación determinada y la energía invertida para lograrlo. El índice que analiza estos aspectos se denomina Tasa de Retorno Energético. (Camargo & Schweickardt, 2014). Este factor se puede definir como el cociente obtenido de la división de la energía útil que el proceso nos retorna y la energía útil que hemos invertido en desarrollar y mantener ese proceso de transformación de energía. (Ramírez Triana, 2015)

$$TRE = \frac{\text{Energía neta Retornada (Eret)}}{\text{Energía Invertida (Einv)}}$$

Un proceso con una TRE igual o menor de 1 no es rentable energéticamente, y se trataría más bien de un sumidero de energía. Cuando se trata de evaluar procesos de obtención de energía útil, la TRE debe ser lo más alta posible (Balencia & Balencia, 2008).



Según la termodinámica la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. La generación de energía hace referencia al proceso de transformación de energía por parte de un cuerpo, la cual se transforma en un recurso energético de interés. Sin embargo, en toda transformación se producen pérdidas, será más fiable un cálculo de la TRE cuanto más se haya especificado cómo se ha realizado, y cuantos más elementos se consideren en ese balance. (Balénilla & Balénilla, 2008).

### **Importancia de la Tasa de Retorno Energético**

Aunque la tasa de retorno energético presente ciertas limitaciones, este factor tiene una buena capacidad diagnóstica, ya que permite detectar tendencias a corto plazo principalmente, como es la disminución en la rentabilidad de ciertas fuentes energéticas empleadas. Es usada también, para retratar problemas más profundos y graves como lo es la inversión en determinadas fuentes de energía que actualmente no presentan rentabilidad ni energética ni económica, pero que en el futuro se espera que la tengan, aunque si la TRE es demasiado baja esto no sucederá (The Oil Crash, 2018).





### **3. Metodología**

La presente investigación es de tipo descriptiva, basado en el cálculo de la Tasa de Retorno Energético, para obtener el balance de energía en la producción de bioetanol a partir del mucílago de cacao CCN-51 desde la concepción de la plántula de cacao hasta la obtención del combustible como tal.

Para realizar el cálculo de los requerimientos energéticos para producir bioetanol a partir del mucílago del cacao se inspeccionará los cultivos de cacao a través de un muestro en los Cantones Camilo Ponce Enríquez perteneciente a la provincia del Azuay y La Troncal de la provincia del Cañar, de los cuales se obtendrá información necesaria sobre el cultivo de cacao. Posteriormente, se recurrirá a las instalaciones del Tecnológico de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, donde se obtendrán los requerimientos energéticos en el proceso de obtención de Bioetanol, proceso que ha sido desarrollado previamente.

#### **3.1 Materia Prima**

##### **3.1.1 Mucílago de cacao CCN-51**

Al ser una investigación de tipo descriptiva, no se emplean insumos de manera directa, sin embargo, es menester mencionar el objeto sobre el cual se realiza el estudio.

El cacao CCN – 51 es una especie clonada de origen ecuatoriano (ANECACAO, 2015) , en el cual se basó el estudio planteado, tanto en la obtención de datos de tipo agrícola como en el proceso de obtención del etanol, realizado a nivel de laboratorio, ya que por estudios previos, existe la caracterización de la muestra. La recolección de datos de tipo agrícola se realizó en las provincias de Azuay y Cañar, en los cantones de Camilo Ponce Enríquez y La Troncal respectivamente. Se escogieron estos debido a la elevada producción de esta variedad de cacao, el cual fue seleccionado en estudios previos realizados en la Universidad de Cuenca, para la obtención del mucílago de cacao y posteriormente la obtención del Etanol.



### 3.2 Métodos

#### 3.2.1 La Tasa de Rendimiento Energético

Se expresa como el cociente entre la cantidad de energía obtenida y la energía suministrada en el proceso. Tanto el numerador como el denominador están expresados en la misma unidad energética, se debe tener en cuenta que un proceso con una EROI igual o menor de 1 no es rentable energéticamente, y se trataría de un sumidero de energía (Carrasco-letelier et al., 2013).

Para obtener los requerimientos energéticos para la producción del bioetanol a partir del mucílago del cacao, es necesario separar los ciclos en dos etapas de estudio.

##### 3.2.1.1 Primera Etapa

Esta etapa hace referencia al ámbito agrícola, la cual abarca desde la concepción de la plántula y la colocación en el terreno hasta el acopio de la mazorca de cacao. Para esta etapa se recopiló información de fuentes primarias, es decir directamente de las fincas y haciendas productoras de cacao en los dos cantones objeto de estudio.

#### Determinación del Tamaño de la muestra

Para la obtención la población de estudio, se recurrió al MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca) con sus sedes en Cuenca y Azogues pertenecientes a las provincias de Azuay y Cañar respectivamente, ya que son las provincias pertenecientes a la zona 6 que presenta mayor productividad en los cantones de Camilo Ponce Enríquez y La Troncal.

Estas sedes facilitaron el listado de productores afiliados al ministerio, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3: Número de Productores por Cantón

Cantón	Productores Afiliados
Camilo Ponce Enríquez	113
La Troncal	1358

Fuente: Propia del Autor

La fórmula empleada para el cálculo de la muestra es tomada del libro Evaluación de Proyectos de Marco Urbina, la cual nos permite establecer el número de encuestas para una población estratificada. Para resolver la siguiente ecuación se va a emplear un nivel de



confianza del 95% que corresponde una distribución normalizada de 1,96, empleando un error del 10%. (Baca, 2013)

$$n = \frac{NZ^2pq}{E^2(N - 1) + Z^2pq}$$

En donde

n= tamaño de la muestra

N=tamaño de la población

Z= distribución normalizada

p= proporción de aceptación

q= proporción de rechazo

E= Porcentaje deseado de error

Los datos utilizados para este caso fueron los siguientes:

Tabla 4: Valores empleados para cálculo de la Muestra

Cantón	N	Z	E	p	q
<b>Camilo Ponce Enríquez</b>	113	1,96	0,1	0,5	0,5
<b>La Troncal</b>	1358	1,96	0,1	0,5	0,5

Fuente: (Baca, 2013)

Obteniendo un resultado de:

$$n = \frac{113 \cdot 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{0,1^2 \cdot (113 - 1) + 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5} = \mathbf{52} \text{ encuestas para Camilo Ponce Enriquez.}$$

$$n = \frac{1358 \cdot 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{0,1^2 \cdot (1358 - 1) + 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5} = \mathbf{90} \text{ encuestas para La Troncal}$$

Entre los aspectos más relevantes a evaluar en la encuesta se encuentran, analizar las distancias recorridas por los agricultores para adquirir las plántulas y la entrega del producto final, ya que en este punto está inmerso una cantidad considerable de combustible.

Otro aspecto importante analizado, fue la cantidad de plantas presentes en una hectárea, así como las mazorcas producidas por una planta en la época de cosecha con el fin de realizar las divisiones correspondientes para el consumo de insumos químicos, aplicados en el cultivo de las plantas. Por otra parte, es fundamental conocer el número de hectáreas por persona, ya que la energía brindada por los agricultores es necesaria para el balance



posterior. Finalmente, para conocer la disponibilidad de materia prima para la obtención de alcohol, se indago sobre la disposición final del mucilago como tal, ya que, de obtenerse una TRE superior a la unidad, el proyecto es rentable y podría aprovecharse esta parte del cacao que normalmente es desechada.

Todos estos aspectos fueron evaluados en la encuesta presentada en Anexos aplicada en los dos cantones en los que se realizó el estudio.

### **Auditoria Energética**

La Auditoria Energética consiste en la recopilación de información energética en cuanto a maquinaria, transporte y otros insumos que intervengan en la obtención de un producto a través de inventarios, análisis de campo e información brindada por la empresa o recopilada bibliográficamente, lo que permitirá definir con claridad los gastos energéticos en cada una (Asociación Española para la calidad, 2018).

Dentro del estudio, se considerará dos tipos de energías: la directa y la indirecta. Cuando se habla de energía directa, se refiere a la contenida en el combustible utilizado en las labranzas previas, implantación, defensa y cosecha de los cultivos; como así también el combustible utilizado en el transporte de la mazorca cosechada, desde el establecimiento agropecuario a la planta de acopio y secado. Por último, se tiene en cuenta el combustible utilizado en el proceso de obtención del mucilago como tal (Pimentel, 2003). En este punto se seguirá la siguiente metodología para realizar la auditoría energética:

1. Visita inicial a las principales fincas productoras de cacao CCN-51.
2. Recopilar la siguiente información: Disposición de las instalaciones y horarios de uso de la maquinaria en caso de existir.
3. Indagar sobre la cantidad de trabajadores y horas de trabajo para el cultivo de cacao.
4. Inventario de los equipos empleados en la plantación y cosecha del cacao en caso de emplearse, con sus respectivas potencias nominales en caso de existir información, caso contrario se recurrirá a fuentes bibliográficas.
5. Inventario de los medios de transporte de los residuos de la fermentación del cacao con su respectivo gasto de combustible, en función de la distancia que recorre, en caso de ocurrir.



6. Transformación de los datos obtenidos a una unidad de energía estándar.

Por su parte, cuando se trata de la energía indirecta insumida en la etapa agrícola, se hace referencia a la energía contenida en los insumos utilizados (semilla, fertilizantes y agroquímicos) para producir una determinada cantidad de mazorcas por hectárea, que se tomará como materia prima para el proceso de transformación en biocombustibles. Este cálculo puede realizarse en función del porcentaje de mucílago contenido en la mazorca de cacao (Donato, Huerga, & Hilbert, 2008). En la cuantificación de este tipo de energía se aplicó la siguiente metodología:

1. Investigación bibliográfica de la energía contenida en las semillas necesarias para producir una hectárea de cacao.
2. Inventario de todos productos fertilizantes y agroquímicos empleados en la siembra del cacao, con los cuales se recurrirá a bibliografía especializada para la obtención de los valores energéticos de los mismos, los cuales incluyen la producción, almacenamiento y distribución de estos insumos.
3. Cálculo de los valores de energía empleado únicamente por el mucílago como tal en función a su presencia en porcentaje dentro del cultivo total de cacao.
4. Transformación de los datos obtenidos a una unidad de energía estándar.

### **3.2.1.2 Segunda Etapa**

Para determinar el consumo energético en la etapa de producción, se realizó una descripción integral del proceso, considerando las diferentes variables y parámetros que influyen en el desarrollo del mismo, el cual ha sido diseñado y probado experimentalmente en la Universidad de Cuenca en estudios previos de la metodología para la obtención de este biocombustible, siendo este:

#### **1. Fermentación**

La obtención de la muestra se realizó de manera experimental directamente de cacao en el laboratorio, a través de la siguiente secuencia de pasos:

1. Lavar el cacao con agua potable de manera manual.
2. Cortar las mazorcas a la mitad, para liberar las pepas.
3. Inspeccionar los frutos y clasificarlos en aptos, podridos y tiernos.



4. Retirar las venas de la mazorca.
5. Recolectar las pepas con el mucilago.
6. Colocar en la mezcladora de paletas para ablandadas el mucílago por 20 minutos.
7. Fluidificar y se eliminar las pepas del cacao.
8. Medir el volumen y los grados Brix de mucílago obtenido.
9. Pasteurizar a 88°C durante 3 min en la hornilla.
10. Envasar y colocar la tapa.
11. Aplicar baño maría para el evacuado del recipiente por 15 minutos.
12. Almacenar adecuadamente a -18°C.

Una vez concluida la extracción se desarrolla una fermentación discontinua de etanol a partir de mucílago de cacao CCN-51 utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, con la cantidad de sustrato que naturalmente posee este residuo, además se realizó de acuerdo a las siguientes condiciones de operación de temperatura, pH y concentración de levadura(Guncay & Silva, 2018).

Factor	Valor	
	Mínimo (-)	Máximo (+)
Temperatura (°C)	25	35
pH	4	5
Concentración de levadura (g/l)	1	3

Tabla 5: Condiciones óptimas de fermentación

Fuente: (Guncay & Silva, 2018)

Este proceso se lleva a cabo en un biorreactor homogéneo de tanque agitado Biotron GX Single Vessel que tiene una capacidad de 2,5 litros, en el mismo que se estableció las condiciones de trabajo: temperatura, pH y agitación. La cantidad de mucílago con la que se trabajó en este estudio fue de 2 litros durante 48 horas, con una velocidad de agitación de 250 rpm, donde se determinó que el tiempo óptimo para la obtención es de 34,5 horas(Guncay & Silva, 2018).

Durante la fermentación alcohólica se llevó a cabo el método analítico peso seco, con el Liofilizador. Durante las primeras 24 horas de fermentación se realizó un control riguroso de las condiciones de operación.

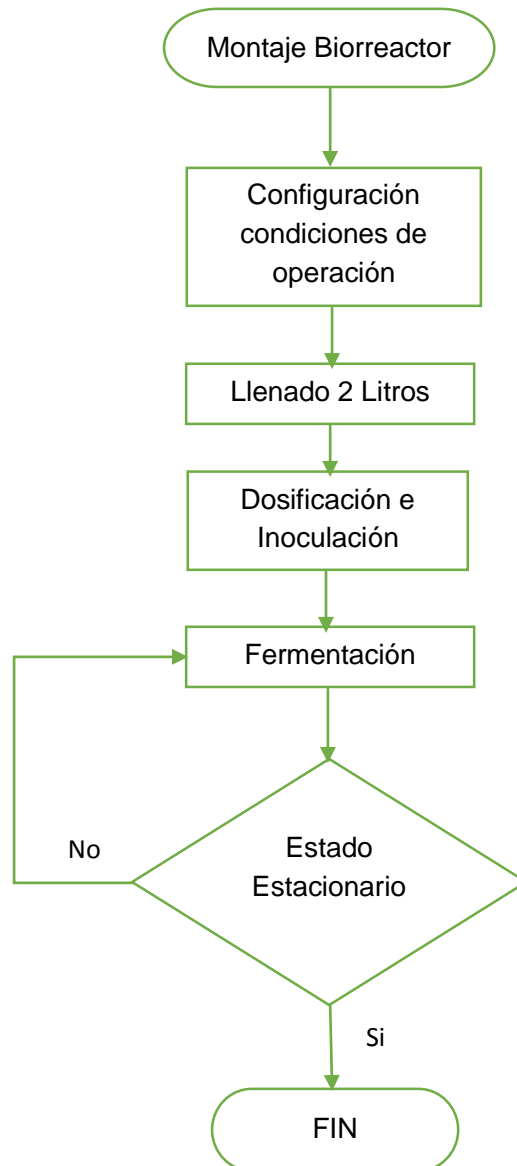


Ilustración 8: Flujograma para obtener muestra de mucilago

Fuente: Basado en (Guncay & Silva, 2018).

El alcohol a obtener debe poseer las siguientes condiciones, para continuar con el proceso para dar paso a las siguientes etapas:

- Concentración inicial de 62° GL
- Densidad aparente de 0,79 kg/L
- Volumen de 19L

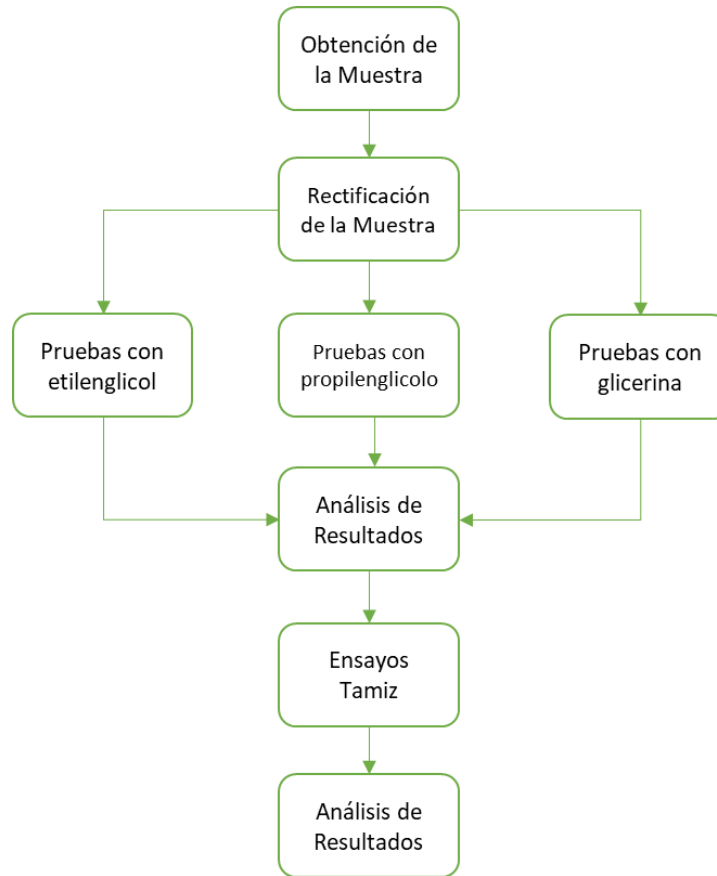


Ilustración 9: Obtención de Bioetanol a nivel de laboratorio

Fuente: (Beltrán & Zhindon, 2018)

En el diagrama anterior se presenta el proceso que se llevó a cabo para la obtención del alcohol en la planta de laboratorio de la Universidad de Cuenca.

## 2. Rectificación

Químicamente, se conoce como destilación azeotrópica, a la técnica que se utiliza para fraccionar a un compuesto azeotrópico a través de una destilación. Quizás la destilación azeotrópica más típica y común es la que se realiza de la mezcla que conforman el sistema etanol-agua, aunque con esta técnica solo se consigue purificar al alcohol en torno a un 95%(Beltrán & Zhindon, 2018).



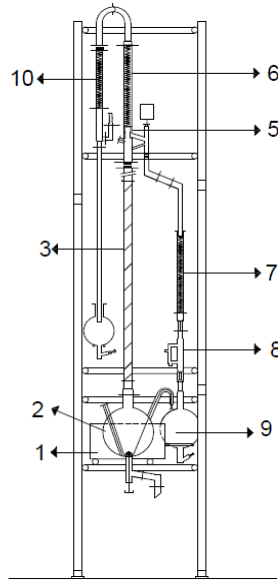


Ilustración 10: Equipo de Rectificación

Fuente: Laboratorio del Tecnológico de la Universidad de Cuenca

Para la rectificación de la mezcla binaria se utilizó la columna de rectificación del laboratorio de operaciones unitarias.

Tabla 6: Especificaciones de la columna de rectificación

		<b>DN</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>1</b>	Calentador de balón			Calentamiento eléctrico 220-380 v. tri.60Hz
<b>2</b>	Hervidor	20 litros	Vidrio	Cop.utile.21L, col DN80 Tubo de alimentación DN 40 con grifo de trasiego, tubo de válvula de vaciado DN40
<b>3</b>	Columna de fraccionamiento con relleno rasching	DN 50	Vidrio	Empaques rasching de vidrio 7x7 con placas PTFE de retención.
<b>4</b>	De fraccionamiento con relleno "multiknit"	DN 50	Vidrio/inox	Empaques multiknit de inox lg 150x10
<b>5</b>	Cabeza de reflujo	DN 50	Vidrio	Comando eléctrico, magnético y timer.



6	Condensador s=0.3m <sup>2</sup>	DN 50	Vidrio	Intercambiador con serpentinos QmLiq=1300Kg/h
7	Enfriador s=0.2m <sup>2</sup>	DN 50	Vidrio	-----ídem-----=750 Kg/h
8	Separador graduado	DN 25	Vidrio	Capacidad 100 ml graduado
9	Recipiente	10 litros	Vidrio	Balón tipo B, col DN40 grifo de trasiego DN40-
10	Circuito de vacío			condensador trampa DN40 s=0.2m <sup>2</sup> et Balón 5L tipo "B"
	Columna de fraccionamiento con 10 platos de borboteo.	Ø 50	PTFE	BE5266A

Fuente: (Beltrán & Zhindon, 2018)

### Condiciones de operación de la Columna de Operación

Se trabajaron con los siguientes parámetros de operación, para obtener el grado alcohólico necesario.

Tabla 7: Condiciones de operación de la unidad de Rectificación

Parámetro	Valor
Volumen carga inicial	19 L
Temperatura niquelinas base	95°C
Temperatura niquelinas 2	80°C
Reflujo	Reflujo: 60s Producto: 40s

Fuente: (Beltrán & Zhindon, 2018)

Durante el proceso es necesario obtener muestras de cada plato del equipo, para determinar el índice de refracción a través del refractómetro de Abbe y por lo tanto la concentración en %V/V. Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8: Resultados finales de la rectificación

Método	Medida
Gay Lussac	92
Refractómetro	93,07

Fuente: (Beltrán & Zhindon, 2018)

### 3. Destilación Extractiva

A partir del alcohol obtenido en la etapa de rectificación, cuya concentración es de 92 °GL, se añade un tercer componente para facilitar la separación mediante destilación extractiva, logrando modificar el equilibrio liquido-vapor en la dirección deseada, siendo el que otorga mejores resultados la glicerina en relación 3:1. Este procedimiento se realiza en un equipo de destilación laboratorio(Guncay & Silva, 2018).

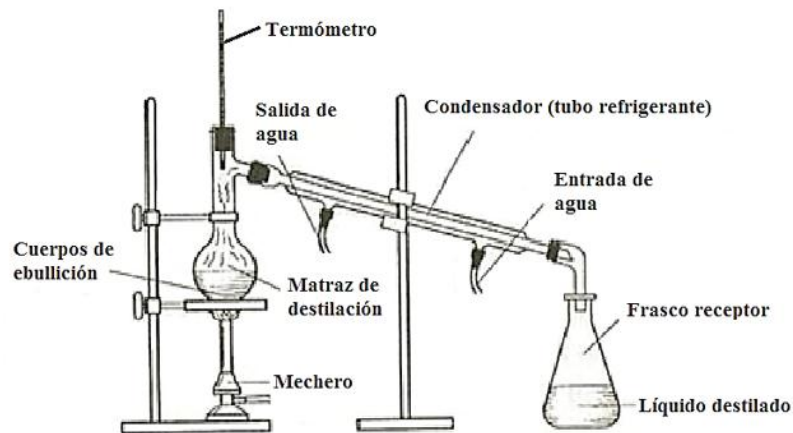


Ilustración 11: Equipo de destilación extractiva

Fuente: Laboratorio del tecnológico de la Universidad de Cuenca

### 4. Adsorción con Tamiz Molecular

El adsorbente utilizado fue un tamiz molecular comercial distribuido por laboratorios MERCK 3A las partículas cilíndricas y esféricas se caracterizan físicamente determinando parámetros como: diámetro medio, masa media, densidad aparente, porosidad, capacidad de adsorción datos extraídos de la ficha técnica del producto obtenido(Guncay & Silva, 2018).

Tabla 9: Parámetros para el diseño de la Columna de adsorción

Parámetro	Valor
$\rho_{OH}(kg/L)$	0,79
$X_{OH}$	0,96
$\rho_{H_2O}(kg/L)$	0,99
$X_{H_2O}$	0,04
$V_{mezcla}(L)$	0,15
$W(\%)$	4
$f(\%)$	15

Fuente: (Beltrán & Zhindon, 2018)



Donde:

- **$\rho_{OH}$** : densidad del etanol en kg/L tomado de tablas
- **$X_{OH}$** : fracción del etanol en la mezcla
- **$\rho_{H_2O}$** : densidad del agua en kg/L tomado de tablas
- **$X_{H_2O}$** : fracción del agua en la mezcla
- **$W$** : porcentaje de agua en kg H<sub>2</sub>O/kg mezcla
- **$f$** : factor de retención de agua en el tamiz, 15% en peso, kg H<sub>2</sub>O/kg tamiz tomado de la ficha técnica

Las pruebas con el tamiz molecular fueron evaluadas mediante refractometría, posteriormente se realizaron análisis mediante cromatografía de gases para la realización de la comparación de los resultados (Guncay & Silva, 2018).

Luego de la descripción integral del proceso, se estudian los requerimientos de energía térmica y eléctrica en cada punto del proceso. En esta etapa, se realizó de igual manera una auditoría energética en el proceso, lo que nos permitirá cuantificar la energía empleada.

Con los valores energéticos obtenidos en la etapa agrícola y productiva, se desarrolló el balance energético, en el cual se obtiene la diferencia entre la energía resultante y la suma de toda la energía ingresada al sistema, con lo que se puede tener una aproximación de la TRE.

## 4. Análisis y Discusión de Resultados

### 4.1 Primera Etapa

Una vez aplicadas las encuestas calculadas para los dos cantones, objeto de estudio, se obtuvo la información necesaria para el desarrollo del balance de energía.

Como se pueden observar en las Ilustraciones 12 y 13, tanto en los cantones de Ponce Enríquez como en La Troncal, las plántulas de cacao son adquiridas en porcentajes superiores al 90%.

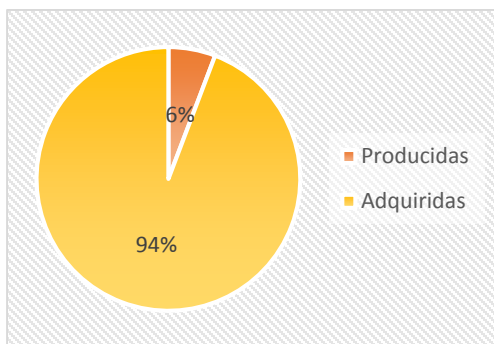


Ilustración 12: Plántulas de cacao Camilo

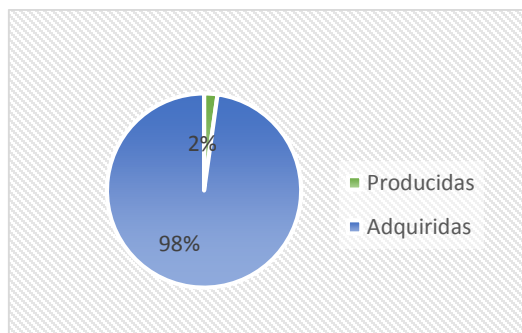


Ilustración 13: Plántulas de cacao La Troncal

De igual manera es necesario conocer el lugar más concurrido para la adquisición de dichas plántulas, para la cuantificación de combustible empleado en su transporte, siendo los resultados para el cantón Ponce Enríquez, el centro del mismo, y para La Troncal de la misma manera, por lo que se podría desestimar el gasto en combustible de transporte para las plántulas en la primera etapa en los dos cantones.

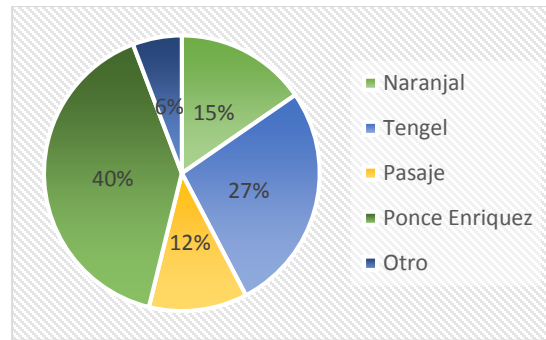


Ilustración 14: Origen de las Plántulas en Camilo Ponce Enríquez

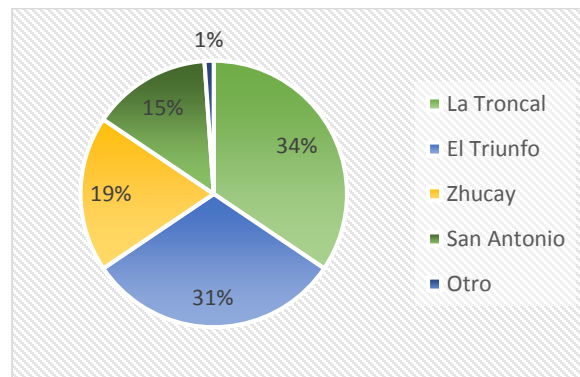


Ilustración 15: Origen de las Plántulas en La Troncal

En cuanto a la producción de cacao por hectárea, se presenta variaciones, dependiendo del tamaño del terreno, de las características del suelo, y el método de distribución empleado por el trabajador, siendo las más usadas 1000 plantas por hectárea y 900 plantas por hectárea en Camilo Ponce Enríquez y La Troncal respectivamente.

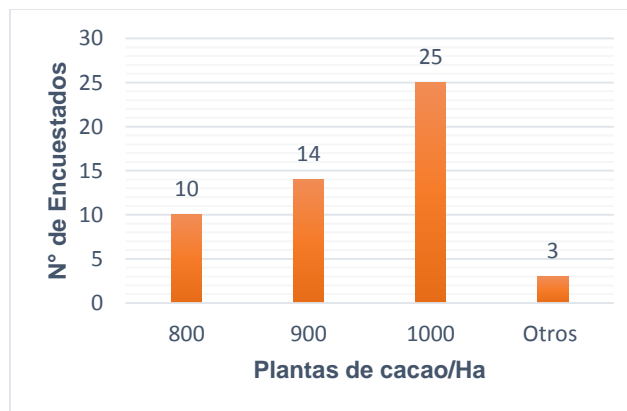


Ilustración 16: Número de Plantas de cacao por Hectárea en Camilo Ponce Enríquez

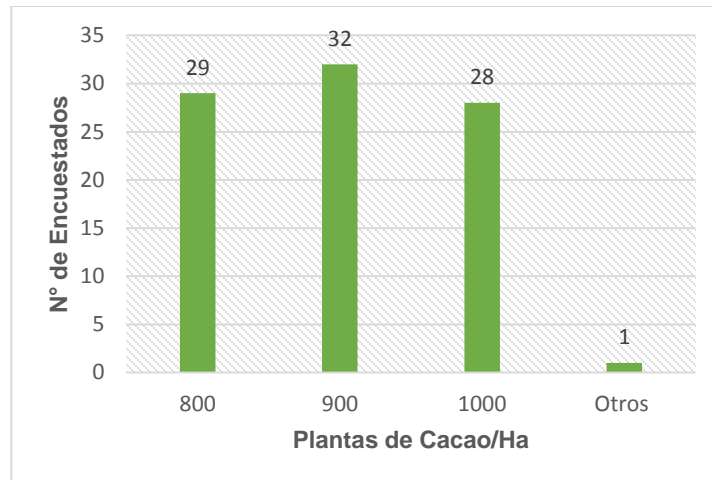


Ilustración 17: Número de Plantas de cacao por Hectárea en La Troncal

Los árboles de cacao florecen dos veces al año, la primera más abundante que la segunda. El periodo de maduración de los frutos oscila entre los cuatro y los seis meses, según la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura. Así la primera cosecha se produce en los meses de octubre, noviembre y diciembre, y la segunda cosecha en marzo, abril e inclusive mayo. Según varios entrevistados, las plantas de cacao producen por primera vez a partir del primer año de edad y su productividad es inestable, sin embargo, cada planta produce aproximadamente 20 a 30 mazorcas en cada cosecha, según la mayoría de los encuestados, en ambos cantones.

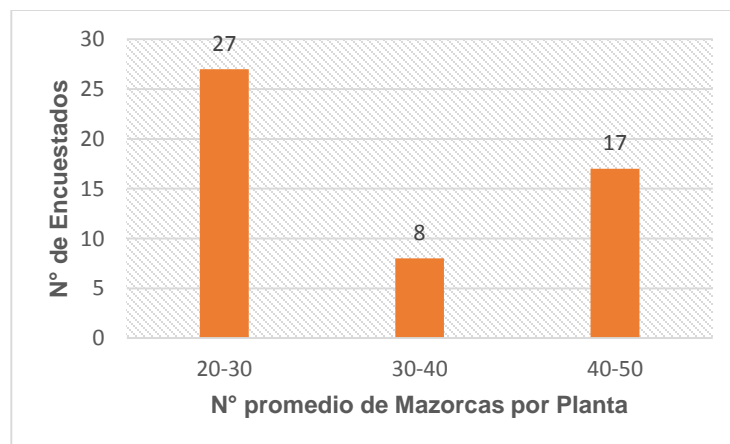


Ilustración 18: Mazorcas por planta en Camilo Ponce Enríquez

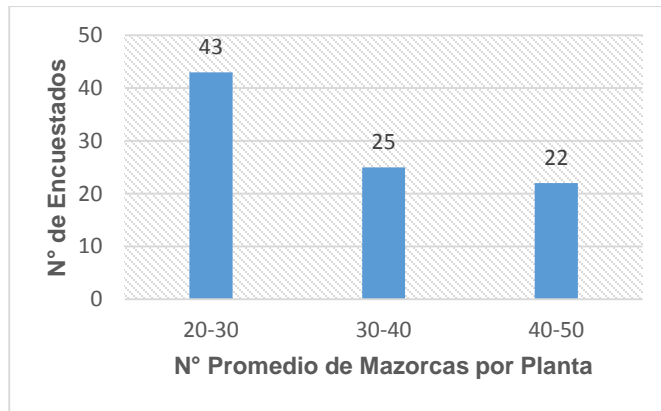


Ilustración 19: Mazorcas por planta en La Troncal

En cuanto al número de hectáreas por trabajadores, depende del tipo de cuidado que los propietarios propician hacia sus cultivos, de las condiciones climáticas y de la época del año, ya que en ciertas temporadas existen riesgos mayores para las plantaciones, siendo el más relevante 1 trabajador por hectárea, valor que se repite nuevamente en los dos cantones.

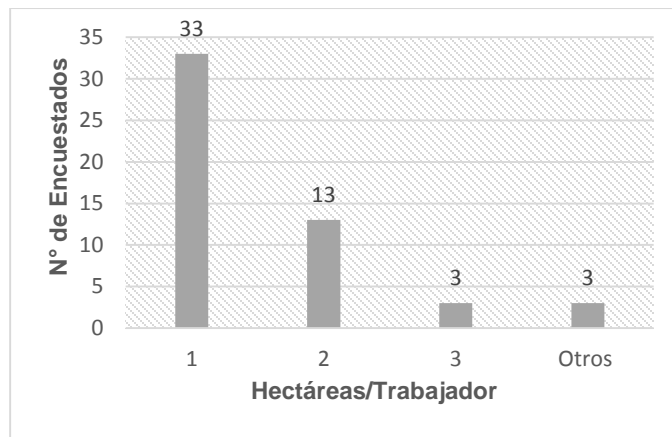


Ilustración 20: Trabajadores por Hectárea en Camilo Ponce Enríquez



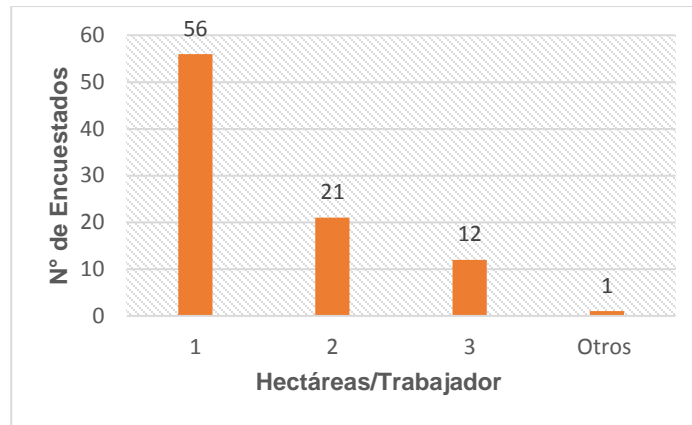


Ilustración 21: Trabajadores por Hectárea en La Troncal

Para determinar el gasto de energía aportado por la mano de obra, es necesario conocer el número de horas diarias que cada trabajador emplea en el cuidado de las plantas, resultado que es diferente en los dos cantones, siendo el de mayor trabajo el de La Troncal.

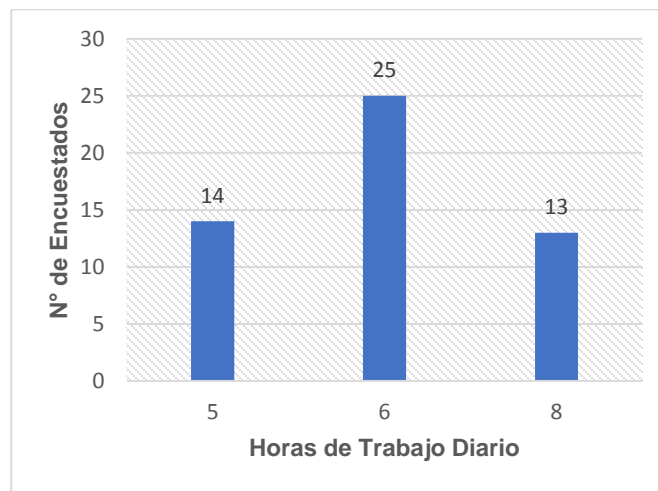


Ilustración 22: Horas de trabajo diarias en Camilo Ponce Enríquez

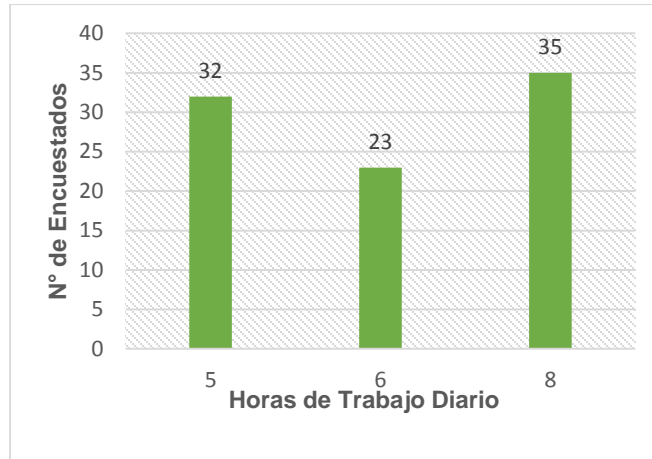


Ilustración 23: Horas de Trabajo diarias en La Troncal

El cacao es una planta relativamente económica, sin embargo, es propensa a sufrir las llamadas enfermedades, causadas por distintas plagas, por lo que es necesario agregar ciertos compuestos que protejan a las plantas de este tipo de daño, dando como resultado en ambos cantones una frecuencia de 2 fumigaciones por año aproximadamente.

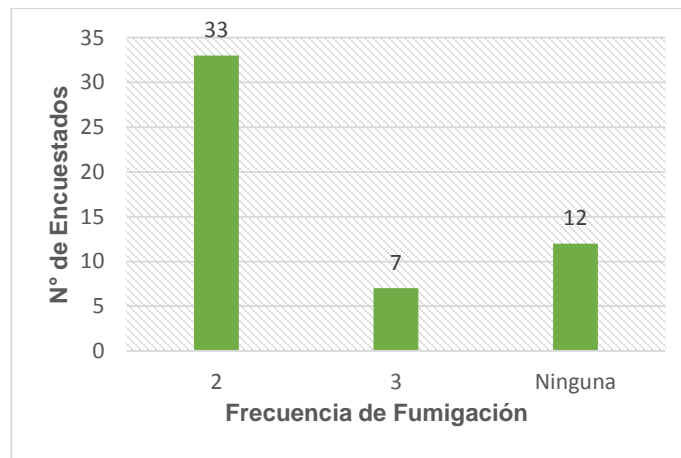


Ilustración 24: Frecuencia de fumigación en Camilo Ponce Enríquez

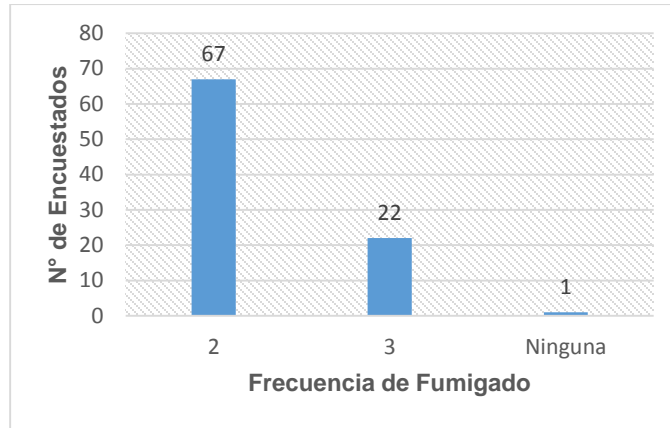


Ilustración 25: Frecuencia de fumigación en La Troncal

En cuando a insumos químicos, se determinó cuántos de ellos son usados de manera simultánea en una plantación, siendo las respuestas más populares el uso de tres insumos como los fertilizantes, pesticidas y herbicidas.

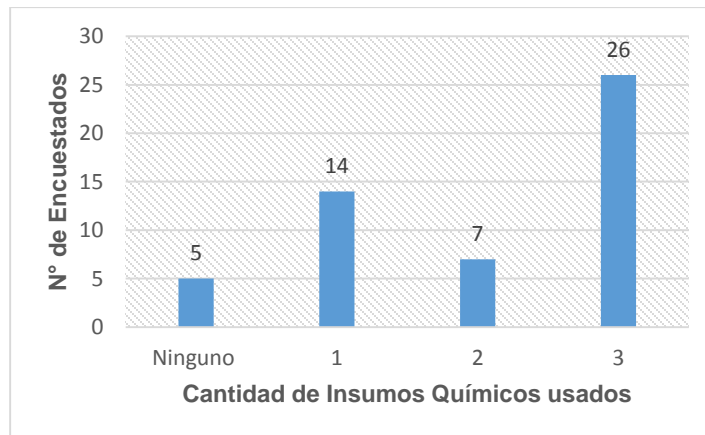


Ilustración 26: Insumos químicos usados en Camilo Ponce Enríquez

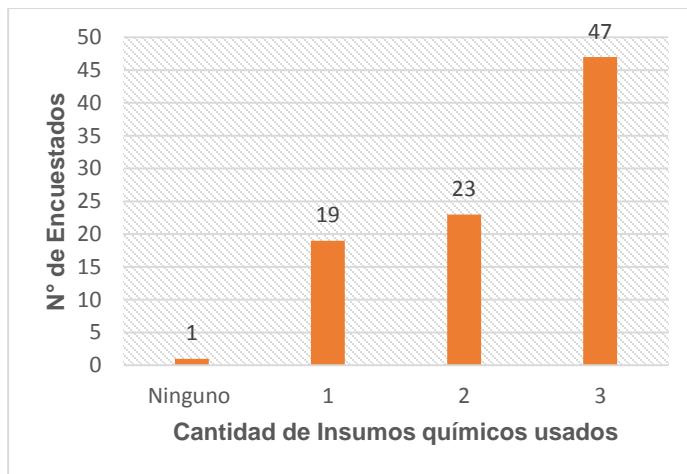


Ilustración 27: Insumos químicos usados en La Troncal

Finalmente se comprobó que el mucílago de cacao es considerado un desperdicio, dentro de la producción de cacao por una gran mayoría de los encuestados, lo que lo convierte en una materia prima accesible para obtención de etanol.

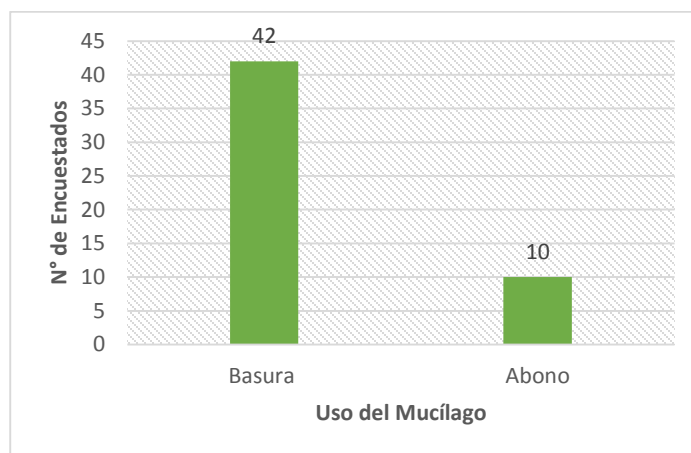


Ilustración 28: Disposición final del mucílago en Camilo Ponce Enríquez

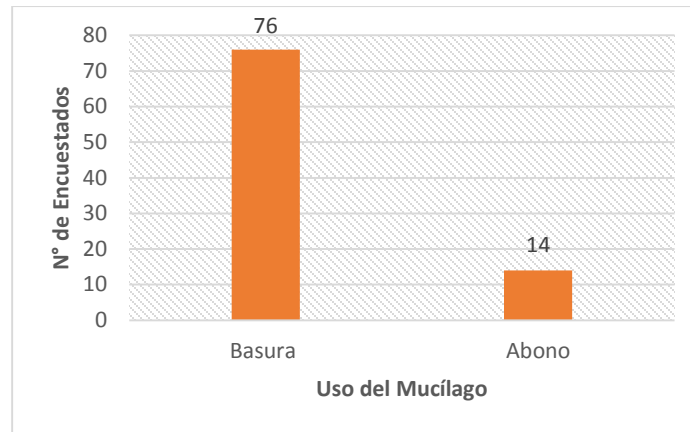


Ilustración 29: Disposición final del mucílago en La Troncal

Una vez conocidos las características en el cultivo de cacao en los dos cantones, se procedió a realizar la investigación bibliográfica de los valores de energía aportados en cada punto del proceso, así como un inventario de la maquinaria y de los insumos empleados dentro del cultivo, tomando en cuenta las respuestas más populares dentro de los encuestados para los dos cantones objeto de estudio.

#### 4.1.1 Energía en el proceso de cultivo

La estimación del consumo de energía en el proceso de producción se lleva a cabo debido a la asignación de un equivalente energético en cada uno de los componentes principales de esta etapa como son:

- Se considera al trabajador como una máquina que consume energía para la obtención de la biomasa. Nótese que el valor de energía asignado varía porque influyen varios factores.
- El trabajo de animales de labor, en caso de que existiesen.
- Los insumos químicos en los que se debería considerar tanto su energía interna como la energía consumida en su fabricación, transporte y aplicación. Sin embargo, solo se consideró la energía indirecta empleada en un paso previo al ingreso de los insumos al sistema, excluyendo las etapas anteriores a su obtención.
- En cuanto a las semillas, no se considera la energía de la misma, ya que esta es depreciable debido a que el desarrollo de la planta representa mayormente la energía que consumirá a lo largo de su vida.



- La maquinaria agrícola, en la que hay que valorar su consumo de combustible, en caso de ser mecánicos, considerándose dentro de la energía directa.
- No se incluye la energía aportada por el sol (Manzanares, 1997).

Tabla 10: Parámetros Energéticos seleccionados para caracterizar el flujo energético en la primera etapa de la producción de Etanol.

Parámetros Energéticos	Composición
Ingreso de Energía directa (IE <sub>d</sub> )	Gas Oil + Maquinaria + Mano de Obra
Ingreso de Energía Indirecta (IE <sub>i</sub> )	Insumos Químicos
Ingreso de Energía (IE)	IE = IE <sub>d</sub> + IE <sub>i</sub>

Fuente: (Denoia & Montico, 2010)

#### 4.1.1.1 Ingreso de Energía Directa

Para realizar el cálculo del ingreso de energía directa empleado en la producción del cacao, se desprecia el Gas Oil, ya que, según las encuestas aplicadas, el cultivo de cacao no es mecanizado en estas zonas, por lo tanto, no existe un consumo neto de electricidad u otro tipo de combustible. Las herramientas empleadas son:

Tabla 11: Herramientas usadas en la siembra y cultivo de cacao

<b>Siembra</b>	
<b>Pala</b>	<b>Barreta</b>
	
<b>Pico</b>	
	
<b>Cultivo</b>	
<b>Machete</b>	<b>Cuchillo Especial</b>
	
<b>Cosecha</b>	
<b>Ganchos de Recolección</b>	<b>Tijera Aérea</b>
	

Fuente: Propia del Autor



Debido a lo expuesto anteriormente, únicamente se considera la mano de obra dentro del caculo de la energía directa. Emplear un equivalente energético para el trabajo humano presenta ciertas dificultades, el gasto energético de un agricultor debe comprender el consumo calórico diario de este trabajador, sumada la energía primaria empleada en la producción de alimentos, obteniéndose un coeficiente de 2,25 MJ/hora para la mano de obra en los trabajos de campo (Manzanares, 1997), trabajando un total de 6 horas para Camilo Ponce Enríquez y 8 horas para La Troncal. Por lo tanto, para cada uno de los cantones los valores energéticos en la mano de obra son:

Tabla 12: Consumo de Energía en el rubro de mano de obra

Cantón	Energía Directa por mano de Obra diaria
Camilo Ponce Enríquez	13,5 MJ/día
La Troncal	18 MJ/día

Fuente: Propia del Autor

#### 4.1.1.2 Ingreso de Energía Indirecta

##### Insumos Químicos

Para realizar el cálculo de la materia aportada por estos elementos se realizó un inventario de los principales insumos químicos agrícolas que aportan los nutrientes y aditivos necesarios para la obtención de una planta de cacao, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 13: Principales productos químicos usados en el cultivo de cacao.

N°	Nombre del Insumo	Tipo
1	Abono Orgánico	Fertilizante
2	Urea	Fertilizante
3	Cold Killer	Fertilizante
4	Foliar Humificado	Fertilizante
5	Methomyl	Insecticida
6	Endosulfan	Insecticida
7	Dicofol	Insecticida
8	Defender	Fungicida

Fuente: Propia del Autor

A partir de los fertilizantes y del suelo se obtendrán los nutrientes necesarios para el crecimiento óptimo de la planta de cacao en donde la remoción de estos nutrientes se incrementa durante los 5 primeros años de la planta, para finalmente estabilizarse. El potasio (K) es el nutriente más





absorbido por el cacao, seguido por el nitrógeno (N), calcio (Ca) y magnesio (Mg). La cantidad exacta de nutrientes removidos por un cultivo en particular depende del estado nutricional del árbol (Fedecacao, 2008a).

En cuando a los pesticidas se aplica aproximadamente 1,5 litros por hectárea y los fungicidas en igual cantidad al largo de 1 año.

Tabla 14: Nutrientes requeridos por año de una planta de Cacao CCN-51

Estado de la planta	Edad (Meses)	Requerimiento por planta (gramos)			
		N	P	K	Ca
Recién Sembrada	5-12	2,4	0,6	2,4	2,3
Producción Inicial	28	140	16	170	115
Producción Media	36	215	25	370	130
Producción Total	48-90	448	51	710	320

Fuente: (Leiva, Profesora, Facultad, & Agrarias, 2012)

Se considera para el cálculo, la producción inicial de la planta expresada en kg como se presenta en la siguiente tabla con sus respectivos valores de energía para cada insumo, necesarios para su desarrollo normal:

Tabla 15: Energía total aportada por cada nutriente e insumo por planta en 1 año

Insumo	Cantidad Total Kg	Energía MJ/Kg de cada insumo	Total MJ/planta	Referencia
Nitrógeno	0,14	77,41	11,02	(Donato et al., 2008)
Fósforo	0,02	14	0,23	(Donato et al., 2008)
Potasio	0,17	8	1,38	(Ortega-Blu, et al, 2010)
Calcio	0,12	1	0,12	(Ortega-Blu, et al, 2010)
	Cantidad L	Energía MJ/L	Total MJ/planta	
Pesticidas	0,002 L	364	0,73	(Denoia, et al, 2006)
Fungicidas	0,002 L	272	0,54	(Denoia, et al, 2006)
<b>Total</b>			<b>14,02</b>	

Fuente: Propia del Autor



Para obtener el ingreso de energía total, es necesario transformar todos los valores de energía a un valor de energía estándar, para lo cual se tomará en consideración los datos obtenidos en las encuestas aplicadas, como son:

- Para el cálculo de mano de obra, se considera un trabajador por hectárea, así como un total de días trabajados de 245.
- Según las encuestas realizadas, se obtuvo un total de 1000 plantas por hectárea en el Cantón Camilo Ponce Enríquez y 900 plantas por hectárea en el Cantón La Troncal.
- El contenido de mucílago en una mazorca de cacao es de 9,48% (Delgado, 2018).

Tabla 16: Valores de Energía en una unidad standar para el cantón camilo Ponce Enríquez

Ítem	Unidad Calculada	Unidad Estándar MJ/Ha
<b>Mano de Obra</b>	13,5 MJ/ Día	3307,5
<b>Nutrientes e Insumos</b>	14,02 MJ/planta	14020

Fuente: Propia del Autor

$$IE = IEd + IEi$$

$$IE = 3307,5 + 14020$$

$$IE = 17327,5 \text{ MJ/Ha}$$

$$IE = 17327,5 \text{ MJ/Ha} \times 9,48\%$$

$$IE = 1642,6 \text{ MJ/Ha}$$

Tabla 17: Valores de Energía en una unidad standar para el cantón La Troncal.

Ítem	Unidad Calculada	Unidad Estándar MJ/Ha
<b>Mano de Obra</b>	18 MJ/ Día	4410
<b>Nutrientes e Insumos</b>	14,02 MJ/planta	12618

Fuente: Propia del Autor

$$IE = IEd + IEi$$

$$IE = 4410 + 12618$$



$$IE= 17028 \text{ MJ/Ha}$$

$$IE= 17028 \text{ MJ/Ha} \times 9,48\%$$

$$IE= 1614,3 \text{ MJ/Ha}$$

## 4.2 Segunda Etapa

En la segunda etapa también ingresa energía, la cual entra en diferentes puntos del proceso, empezando por obtención de la muestra que será sometida a fermentación, para lo cual se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para calcular la cantidad de mucilago que se tendrá por año se considera un máximo un 21% del producto expresado por semillas o granos del total de la mazorca para lo cual, aproximadamente de 40 litros pulpa se pueden obtener de 800 kilos de semillas frescas (Arteaga Estrella, 2013), siendo el número de mazorcas por planta de 60, el número de plantas de 1000 y la producción de 1 año, se obtienen 60000 mazorcas.

$$\begin{aligned} 60000 \times 21\% &= 12600 \text{ Kg semillas de cacao} \\ 800 \text{ Kg} & \quad 40 \text{ L de pulpa} \\ 12600 \text{ Kg} & \quad \mathbf{630 \text{ L de pulpa}} \end{aligned}$$

- En la obtención de la muestra se trabajó con 16 litros de capacidad.
- En la estufa, se continúa trabajando con 16 litros.
- En el fermentador y centrifuga se trabaja con 2 litros en cada corrida, de este se obtiene un 10% de rendimiento del total de pulpa sometida al proceso:

$$\begin{aligned} 2 \text{ L} & \quad 0,10 \text{ L de alcohol de } 60^\circ \text{GL} \\ 630 \text{ L} & \quad \mathbf{31.5 \text{ L de alcohol de } 60^\circ \text{GL}} \end{aligned}$$

- En el Rectificador se trabajó con 19 litros del fermentado obteniéndose un rendimiento de 3,4L de alcohol de 92,6° GL:

$$\begin{aligned} 19 \text{ L de alcohol a } 60^\circ \text{ GL} & \quad 3,4 \text{ L de alcohol de } 92,6^\circ \text{GL} \\ 31.5 \text{ L de alcohol a } 60^\circ \text{ GL} & \quad \mathbf{5,64 \text{ L de alcohol de } 92,6^\circ \text{GL}} \end{aligned}$$

- Por cada 175 ml de etanol se emplean 73ml de glicerina.



- En la destilación extractiva se obtiene un volumen de alcohol muy similar.

Tabla 18: Consumo de energía a nivel de laboratorio para la producción de bioetanol de una hectárea de cacao usando un fermentador Smart Gx.

	N°	Equipo	Horas Trabajo (h)	Potencia Nominal W	Consumo de Energía Total Wh	Conversión MJ/Ha
<b>Obtención de la Muestra</b>	1	Mezcladora	1	1100	1100	<b>155,92</b>
	2	Fluidificador	0,5	1491,4	745,7	<b>105,52</b>
	3	Cocineta	0,05	1100	55	<b>7,80</b>
<b>Fermentación</b>	2	Biotrón Smart Gx	11,5	600	6900	<b>7824,6</b>
<b>Rectificación</b>	1	Rectificador	0,66	1512	997,92	<b>5,97</b>
<b>Destilación Extractiva</b>	1	Equipo de destilación	5	1100	5500	<b>32,84</b>
<b>Total</b>						<b>8132,65</b>

Fuente: Propia del Autor

Como se puede observar, el gasto de energía es elevado principalmente por el consumo de energía propiciado por el Fermentador, el cual puede ser reemplazado por uno de menor sofisticación, tomando en cuenta que este cuenta con un sistema de software para obtener valores y estudios más profundos, que en este caso no son necesarios dichos valores si no las condiciones en las que se opere en este equipo, por esta razón se realiza el cálculo con un fermentador que otorga las condiciones de trabajo necesarias pero que necesita de menos energía para su funcionamiento, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 19: Consumo de energía a nivel de laboratorio para la producción de bioetanol de una hectárea de cacao usando un fermentador Biotron Gx.

	N°	Equipo	Horas Trabajo (h)	Potencia Nominal W	Consumo de Energía Total Wh	Conversión MJ/Ha
<b>Obtención de la Muestra</b>	1	Mezcladora	1	1100	1100	<b>155,92</b>
	2	Fluidificador	0,5	1491,4	745,7	<b>105,52</b>
	3	Cocineta	0,05	1100	55	<b>7,80</b>
<b>Fermentación</b>	2	Fermentador	11,5	<b>60</b>	690	<b>782,46</b>
<b>Rectificación</b>	1	Rectificador	0,66	1512	997,92	<b>5,97</b>
<b>Destilación Extractiva</b>	1	Equipo de destilación	5	1100	5500	<b>32,84</b>
<b>Total</b>						<b>1090,51</b>

Fuente: Propia del Autor

Otros insumos importantes en la obtención de etanol:



Tabla 20:Otros insumos importantes en la producción de bioetanol a nivel de laboratorio

Insumo	Cantidad Total Kg en 1Ha	Energía MJ/Kg	Total MJ/Ha	Referencia
Glicerina	2,96	16,5	48,84	(Donato et al., 2008)
Tamiz Molecular	1,06	9,74	10,36	(Acuña, 2018)
<b>Total</b>			<b>59,2</b>	

Fuente: Propia del Autor

Por lo tanto, la cantidad de energía total que ingresa al sistema es:

Tabla 21: Energía total ingresada al sistema

Cantón	Ingreso de Energía Total MJ/Ha
Camilo Ponce Enríquez	1642,6 + 1090,51 + 59,2 = 2792,31
La Troncal	1614,3 + 1090,51 + 59,2 = 2764,01

Fuente: Propia del Autor

### 4.3 Egreso de energía

El egreso de energía de este sistema, está dado propiamente por la cantidad de alcohol obtenido luego de todo el proceso. Luego de la destilación extractiva se obtiene una cantidad similar de alcohol de 99,6°GL, pasando de 5,64 Litros a 5 Litros de etanol que son 3,95 Kg en peso, donde su valor en energía es:

Tabla 22: Cantidad de energía contenida en 5 litros de bioetanol

	Cantidad Total Kg en	Energía MJ/Kg	Total MJ/Ha	Referencia
<b>Etanol</b>	3,95 Kg	27	<b>106,51</b>	(Fernandez, Felix, 2012)

Fuente: Propia del Autor

Por lo tanto, el balance de energía en la producción de bioetanol:

$$106,51 - 2764,01 = -2657,5$$

Por lo tanto, el sistema pierde energía a través del proceso, la cual debería justificarse en el combustible obtenido, lo que demuestra la poca factibilidad de esta materia prima para la obtención de bioetanol.



#### 4.4 Cálculo de la Tasa de Rendimiento energético TRE

La TRE se expresas como el cociente entre la cantidad de energía obtenida y la energía usada en su elaboración. Por lo tanto:

$$TRE = \frac{106,51}{2792,31} = \mathbf{0,0381 \text{ Para Camilo Ponce Enriquez}}$$

$$TRE = \frac{106,51}{2764,01} = \mathbf{0,0385 \text{ Para La Troncal}}$$

Los valores para los dos cantones son muy similares, lo que nos indica una homogeneidad en el manejo del cultivo dentro de estas zonas. Para realizar la comparación con el bioetanol obtenido del bagazo de caña se usarán los valores del cantón La Troncal.

Si consideramos únicamente el gasto de energía consumida en la segunda etapa, tomando en cuenta que el mucílago es netamente un desperdicio como lo reflejan las encuestas, la TRE podría incrementar, obteniéndose un gasto de energía ingresada al sistema de:

$$1090,51 + 59,2 = \mathbf{1149,71 \text{ MJ/Ha}}$$

Por lo tanto, se obtiene una Tasa de Rendimiento Energético para los dos cantones de:

$$TRE = \frac{106,51}{1149,71} = \mathbf{0,0926}$$

Como se puede apreciar, los valores no varían notablemente, por lo que esta consideración no sería de gran incidencia contra los diferentes tipos de biomasa comparable.

Tabla 23: Comparación de la tasa de retorno energético para el bagazo de caña y el mucílago de cacao.

Parámetro	Energía Bagazo de caña MJ/Ha *	Energía Mucílago de cacao MJ/Ha
Consumo Agrícola	2669,03	1614,3
Consumo Industrial	2611,2	1149,71
Total de Energía Ingresada	5280,23	2764,01
Etanol Obtenido	15977,25	106,51
<b>EROI</b>	<b>3,02</b>	<b>0,0385</b>

Fuente: Propia del Autor

\* Valores tomados y transformados de (Antonio et al., 2015; Ramírez Triana, 2015)



En los estudios comparados se puede ver una marcada diferencia entre ambos cultivos, ya que la productividad de la caña es superior a la del cacao, dando esta un resultado de 200L de etanol por cada tonelada de bagazo de caña empleado, considerando que en una hectárea de producción de caña existen 13,5 toneladas de bagazo (Antonio et al., 2015), valor que nos demuestra superioridad en todos los aspectos, por lo tanto se podría decir que la producción de etanol a partir de la caña es rentable, aunque según señala el estudio “Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad”, es mucho más rentable aún la producción de electricidad a partir de la combustión del bagazo que la producción de etanol, en el ámbito energético y económico, pero mucho más perjudicial en el ámbito ambiental, por lo que el bagazo de caña continúa empleándose principalmente en la Industria azucarera para la producción de energía en sus plantas.

En cuanto al cacao, la producción de bioetanol es no factible, debido al poco rendimiento obtenido de una sola hectárea como es 5 litros, aunque se considere trabajar con todo el mucilago de desperdicio de cada una de las provincias, los valores continuarán dando resultados poco favorables, ya que la cantidad de mucilago es relativamente baja comparada con otros desperdicios en cultivos comparables.

El consumo de energía en la segunda etapa del proceso es elevado mientras más sofisticado sea el equipo, aunque se obtendrán mejores rendimientos, sin embargo, el estudio en el laboratorio indica una tendencia hacia el campo industrial, ya que la eficiencia no lograra superar un cociente de 1 en relación a la TRE, por que la gran limitante en la obtención de etanol a partir del mucilago de cacao es la cantidad de mucilago obtenido de las plantaciones, lo cual difícilmente incrementara, ya que es un producto que se emplea en la fermentación de los granos de cacao en pequeñas cantidades.



## 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

A lo largo de este trabajo de investigación se ha incursionado en la recopilación de información directamente de las zonas productoras de cacao y del laboratorio donde ocurre el procesamiento del mucilago de cacao para la obtención de bioetanol, a través de lo cual se ha logrado determinar valores importantes como es el gasto de energía en la etapa agrícola del proceso en Camilo Ponce Enríquez de **1642,6 MJ/Ha** y un valor similar en el Cantón La Troncal de **1614,3 MJ/Ha** valores que dependen de la distribución de las plantas y del proceso de cultivo propio de cada sector, sin embargo, no presentan variaciones importantes entre las mismas. En comparación al cultivo de caña que presenta un gasto total de energía en el cultivo de **2669,03 MJ/Ha**, se presenta un incremento considerable a simple vista, sin embargo, estos valores no presentan una realidad exacta, ya que la diferencia radica en la productividad, es decir, la cantidad de biomasa disponible para realizar el proceso de obtención de bioetanol siendo este de 630 litros de mucilago de cacao fermentable de una hectárea de cultivo, frente a los 13,5 toneladas de bagazo de caña que se obtienen de una hectárea de cultivo de caña de azúcar, con lo que se puede hacer una aproximación a los valores de TRE que se obtendrán.

En cuanto a la energía invertida en el área de producción se elaboraron dos propuestas, debido a la experimentación previa con un fermentador Biotron Smart GX el valor de gasto de energía en este punto es de **8132,65 MJ/Ha**, considerado elevado, por lo que se planteó el estudio con un fermentador que no cuenta con la implementación del software sofisticado, pero que cumple con las condiciones necesarias de operación para obtener el mayor rendimiento de fermentad, resultando un valor de **1090,51 MJ/Ha** lo que se manifiesta como un ahorro importante de energía al reducir de 600 W a 60 W. En cuando al cultivo de caña de azúcar se produce un gasto mayor de **2611,2 MJ/Ha**.

Finalmente, se analizó la cantidad de energía contenida en el etanol producido para cada cultivo por hectárea en un año de producción, punto que demostró la diferencia marcada en el rendimiento de cada biomasa, obteniéndose un valor de **106,51 MJ/Ha** para el cultivo de cacao y de **15977,25 MJ/Ha** para la caña de azúcar, lo que afirma la mayor productividad por parte de la caña de azúcar.





En cuanto al TRE obtenido para el cacao de **0,0385** frente al de la caña de azúcar de **3,02** se puede apreciar que el valor de TRE del etanol a partir del mucilago de cacao no presenta un balance de energía positivo, por ende, al ser un valor inferior a 1 se considera como un sumidero de energía, en el cual se invierte un exceso de energía sin obtener beneficio alguno por parte de los productos obtenidos, se esperaría que a escala industrial el panorama mejore, pero el problema no es el método de obtención o los equipos empleados, si no la baja cantidad de biomasa disponible para la fermentación, lo que indica poca factibilidad para la producción de etanol a partir de mucilago de cacao, como se puede comprobar en el cálculo de la TRE sin considerar la primera etapa de estudio.

En su lugar la caña de azúcar es mucho más rentable para la producción de bioetanol, sin embargo, en estudios realizados se demuestra que, en aspectos energéticos, el bagazo de caña presenta mejores rendimientos en su combustión, por lo que se abre el debate por la producción de combustible más amigables con el medio ambiente o por el uso de este material de desecho dentro de las mismas industrias de la caña, aunque esto represente mayor cantidad de emisiones atmosféricas.

## **5.2 Recomendaciones**

Para obtener una proyección a nivel provincial, es necesario ampliar el campo de estudio hacia las haciendas que produzcan cacao en mayores cantidades, ya que en este caso se emplearon datos propiciados por el MAGAP el cual cuenta con la afiliación de una minoría en cuanto a productores de cacao, por lo que la muestra es únicamente representativa de cada cantón, con lo que posiblemente se logre un mejor aprovechamiento del terreno y del mucilago como tal.

Se podría analizar también otros cultivos, ya que durante esta investigación se encontraron estudios relacionados a este tema aplicables en diferentes tipos de plantaciones que pueden ser aprovechados con este fin.

Con la finalidad de aprovechar la gran cantidad de bagazo de caña disponible, se debería plantear la implantación de una planta de tratamiento con el fin de obtener bioetanol a partir de este residuo de manera industrial, ya que se ha comprobado que su TRE es superior a 1.



## Referencias

- Acuña, P. (2018). DESTILACIÓN EXTRACTIVA - PDF. Retrieved February 20, 2019, from <https://docplayer.es/57136422-Destilacion-extractiva.html>
- Álvarez, C. (2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa*, (359), 63–89. Retrieved from <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>
- Amano. (2013). Theobroma Cacao - El Árbol de la Vida: Variedades de Cacao - Amano Chocolate. Retrieved November 2, 2018, from <http://www.amanochocolate.com/blog/theobroma-cacao-the-tree-of-life-varieties-of-cacao/>
- Anacafe. (2004). Cultivo de cacao, 24. Retrieved from [http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo\\_de\\_cacao](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_cacao)
- Andrade Nelly. (2013). Tipos de fermentacion de cacao. Retrieved November 3, 2018, from <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3235>
- ANECACAO. (2015). El cacao ecuatoriano. Retrieved October 29, 2018, from <http://www.anecacao.com/en/noticias/el-cacao-ecuatoriano.html>
- Anecacao, A. N. de E. de C.-E. (2010). CacaoCCN51 | Anecacao Ecuador. Retrieved February 25, 2019, from <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/cacaoccn51.html>
- Anecacao, A. N. de E. de C.-E. (2014). Cacao Nacional | Anecacao Ecuador. Retrieved November 4, 2018, from <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/cacao-nacional.html>
- Ángel, M., Sánchez, A., González, D., Steven, L., Arce, M., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez, P. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas*. Retrieved from [www.iica.int](http://www.iica.int).
- Antonio, R.-R. P., María, Z.-D. C. B., Margarita, Z.-D. C. L., Geraldo, L., & Osney, P.-O. (2015). Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(3), 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.001>
- Anvoh, K. Y. B., Bi, A. Z., & Gnakri, D. (2009). Production and characterization of juice from mucilage of cocoa beans and its transformation into marmalade. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(2), 129–133. <https://doi.org/10.3923/pjn.2009.129.133>
- Arteaga Estrella, Y. (2013). Estudio Del Desperdicio Del Mucilago De Cacao En El Cantón Naranjal (Provincia Del Guayas), 4, 49–59. Retrieved from <http://www.anecacao.com/index.php/es/asistencia-tecnica/articulos-tecnicos.html>
- Asociación Española para la calidad. (2018). Auditoría energética. Retrieved February 25, 2019, from <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/auditoria-energetica>



- Association, E. C. (2016). Cocoa Story: El proceso de producción – desde granos de cacao hasta productos semielaborados | ECA European Cocoa Association. Retrieved November 4, 2018, from <https://www.eurococoa.com/es/historia-del-cacao-el-cacao-como-materia-prima/cocoa-story-el-proceso-de-produccion-desde-granos-de-cacao-hasta-productos-semielaborados/>
- Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos. Universidad Javeriana*.  
<https://doi.org/10.1007/s00737-016-0666-9>
- Balenilla, M., & Balenilla, F. (2008). Hacia un mundo de renovables en el contexto del cenit de producción petrolífera : La tasa de retorno energetico. *El Ecologista*, 55(Energía), 23–28.
- Beltrán, M., & Zhindon, C. (2018). *PROCESO PARA LA DESHIDRATACIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE BIOETANOL MEDIANTE TRATAMIENTOS SUCESIVOS DE RECTIFICACIÓN, DESTILACIÓN EXTRACTIVA CON GLICOLES Y ADSORCIÓN MEDIANTE TAMICES MOLECULARES*. Retrieved from <http://www.corporacionpba.org/portal/sites/default/files/Guía técnica para el manejo del cultivo de cacao.pdf>
- BNDES, & CGEE. (2008). *Bioetanol de Caña de Azucar*. Retrieved from <http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/CEPAL/bioetanol caña de azucar.pdf>
- Bustamante Adun, M. G. (2010). Efecto de varios métodos de prefermentación y fermentación del cacao CCN-5I (*Theobroma cacao* L) en las propiedades físicas y organolépticas de la almendra, 124.
- Caja de herramientas para Cacao. (2012). Producción de Plantas de Cacao en Vivero | Formas de propagación del cacao. Retrieved February 24, 2019, from <http://cacaomovil.com/guia/3/contenido/formas-de-propagacion/>
- Callebaut Barry. (2018). The three grand cocoa varieties. Retrieved November 2, 2018, from <https://www.barry-callebaut.com/about-us/media/press-kit/history-chocolate/theobroma-cacao-food-gods>
- Callejas, E. S., & Quezada, V. G. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco*, 75–82.  
<https://doi.org/10.5944/educxx1.17.1.10708>
- Camargo, F. G., & Schweickardt, G. A. (2014). Estimación de la tasa de retorno energético: Análisis comparativo de las metodologías disponibles en la actualidad, 65–73.
- Carrasco-letelier, L., Vázquez, D., Ottone, F. D., Resquín, F., Scoz, R., Vilaró, F., ... Terra, J. (2013). Agro-Industriales De Interés Para. *Revista INIA*, (32), 46–50.
- Chávez, A., & Mansilla, J. (2004). *Manual del cultivo de cacao. Programa para el Desarrollo de la Amazonia*. Retrieved from <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/215.pdf>
- Delgado, N. (2018). *Plan de manejo integral de residuos derivados de la extracción de la pulpa de cacao en la hacienda Bellavista, Luz de América, provincia de Azuay-Ecuador*.



- Denoia, J., & Montico, S. (2010). Balance de energía en cultivos hortícolas a campo en Rosario (Santa Fe, Argentina). *Ciencia, Docencia Y Tecnología*, 21, 145–157.
- Denoia Julio Montico Sergio, Bonel Beatriz, Di Leo Nestor, V. M. (2006). análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el distrito zavalía (santa fe) desde una perspectiva energética. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 2006(39), 209–228. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14503309>
- Donato, L. B., Huerga, I. R., & Hilbert, J. a. (2008). Balance Energético de la producción de biodiesel a partir de soja en la república argentina. *Inta.Gov.Ar*, 25. Retrieved from <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/boletines/bc-inf-08-08.pdf>
- El Comercio. (2017). El cacao CCN-51 pasó de patito feo a cisne de la producción ecuatoriana | El Comercio. Retrieved December 12, 2018, from <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/cacao-ccn-51-paso-de.html>
- FAO. (2008). *Bosques y energía. Cuestiones claves*.
- Fedecacao. (2008a). Cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), 1–34. Retrieved from <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/Cultivo de cacao.pdf>
- Fedecacao. (2008b). *Cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)*. Retrieved from <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/Cultivo de cacao.pdf>
- Fernandez, Felix, J. (2012). Poder calorífico. In *Cátedra Máquinas Térmicas* (Vol. Capítulo 1, pp. 1–22). <https://doi.org/9968-904-02-3>
- FLACSO ECUADOR. (2011). *Elaboración de cacao y sub elaborados*.
- Ganduglia, F., León, J., Gasparini, R., Rodríguez, M., Huarte, G., & Estrada, J. (2009). *Manual de biocombustibles*. <https://doi.org/ISBN13: 978-92-9248-121-6>
- Guevara, J. (2018). Explicación Paso a Paso: La Cosecha y El Procesamiento del Cacao. Retrieved November 3, 2018, from <https://www.perfectdailygrind.com/2018/03/explicacion-paso-paso-la-cosecha-y-el-procesamiento-del-cacao/>
- Guncay, J., & Silva, M. (2018). Optimización de la producción de biomasa en procesos fermentativos del mucílago de cacao CCN – 51 aplicando la ecuación logística integrada y el modelo de Andrew y Levenspiel, bajo diferentes condiciones de operación. *Universidad De Cuenca*, 66. <https://doi.org/10.1002/adma.201704028>
- Hernández, R., & Rojas, P. (2011). TRABAJO ESPECIAL DE GRADO ESTUDIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO ( *Theobroma cacao* L . ) CON FINES DE APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL Y TRABAJO ESPECIAL DE GRADO ESTUDIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO ( *Theobroma cacao* L . ).
- Hernando, J., Restrepo, A., Rengifo, T., Maribel, M., & Carmona, J. (2009). Buenas Prácticas Agrícolas (Bpa) (p. 50). Retrieved from <http://www.anecacao.com/uploads/SEMINARIOS/presentacion-bpa-guayaquil.pdf>
- Infoagro. (2017). Agricultura. El cultivo del Cacao. <https://doi.org/10.3201/eid1106.050036>



- J. De La Cruz Medina, M. A. V. O. and O. A. D. A. C. (2009). CACAO: Operaciones Poscosecha. *Instituto Tecnológico de Veracruz*, 1–78. <https://doi.org/10.5539/ies.v7n2p10>
- Julio Gonzalez. (2018). : El Cultivo del Cacao - Siembra, Manejo Técnico, Curiosidades y Más. Retrieved February 25, 2019, from <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-cacao/>
- Kalvatchev, Z., Garzaro, D., & Guerra, F. (1998). THEOBROMA CACAOL. : Un nuevo enfoque THEOBROMA. *Agroalimentaria*, (6), 23–25.
- Landeta, A., Coronel, J., & Bastidas, G. (2009). Principales procesos tecnológicos, organizacionales y jurídicos para establecer La denominación de origen del cacao nacional fino y de aroma.
- Leiva, E. I., Profesora, R., Facultad, A., & Agrarias, C. (2012). *ASPECTOS PARA LA NUTRICIÓN DEL CACAO Theobroma cacao L.* Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/50450/1/ednaivonneleivarojas.2012.pdf>
- López, B. (2016). *Evaluación aagronómica de una plantación de cacao tipo CCN-51 en la zona de Balao, provincia del Guayas.* Retrieved from <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6930/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-99.pdf>
- Lourdes, F., Intriago, M., Danilo, M., Zenteno, C., Ambrosio, J., Neto, F., ... Moyano, A. (2018). Cadena de comercialización del cacao nacional en la provincia de Los Ríos, Ecuador, 11, 63–69. <https://doi.org/https://doi.org/10.18779/cyt.v11i1.131>
- Luker, C. (2012). CACAO FINO DE AROMA. Retrieved October 30, 2018, from <https://www.cacaofinodearoma.com/es/cacao-fino-de-aroma/>
- Luzuriaga, D. (2012). *Extracción y aprovechamiento del mucílago de cacao como materia prima en la elaboración de vino.* Retrieved from [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4930/1/47745\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4930/1/47745_1.pdf)
- Manzanares, P. (1997). Introducción al Cálculo del Balance energético de la Producción de Biomasa, 26.
- Márques, A. J., & Salazar, E. J. (2015). *ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE DESPERDICIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO Y SU APROVECHAMIENTO COMO ALTERNATIVA DE BIOCOMBUSTIBLE.* Universidad Estatal de Milagro, Milagro. Retrieved from <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/1770/1/Análisis de los niveles de desperdicio del mucílago de cacao y su aprovechamiento como alternativa de biocombustible.pdf>
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014). Políticas Energéticas en Ecuador, 28. Retrieved from [https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/iaao/3-Presentacion\\_Politica\\_Energia\\_\\_v2-pptx\\_DARWIN\\_COSTA.pdf](https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/iaao/3-Presentacion_Politica_Energia__v2-pptx_DARWIN_COSTA.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Monitoreo Agroeconómico.* Retrieved from [http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama\\_estadistico/panorama\\_estadistico.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf)
- Ortega-Blu, R. A., Muñoz-Lagos, R. E., Gonzalo Acosta-Espejo, L., & González-Platteau,



- R. A. (2010). BIOCOMBUSTIBLES EN CHILE. I. IDENTIFICACIÓN Y BALANCE ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y DE BIOCOMBUSTIBLES. *Agrociencias*, 44(6), 611–622. Retrieved from <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2010/ago-sep/art-1.pdf>
- Pimentel, D. (2003). Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts are Negative. *Natural Resources Research*, 12(2), 127–134. <https://doi.org/1520-7439/03/0600-0127/1>
- PROEcuador. (2013). ANÁLISIS DEL SECTOR CACAO Y ELABORADOS. Retrieved from [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/06/PROEC\\_AS2013\\_CACAO.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/06/PROEC_AS2013_CACAO.pdf)
- Quizhpi, E. (2016). Caracterización del mucílago de Cacao CCN-51 mediante Espectrofotometría Uv-Visible y Absorción Atómica. Caso: Ecuador-Zona 6., 92.
- Ramírez Triana, C. A. (2015). Balance energético del etanol brasilero: comparación entre métodos de medición. *Punto De Vista*, 3(5), 9–29. <https://doi.org/10.15765/pdv.v3i5.131>
- Rodríguez, D., & Fusco, M. (2017). CACAO EN ECUADOR AGRICULTURAL RISK MANAGEMENT IN THE ECUADORIAN, 1, 57–74.
- Romero, C. A. (2012). Evaluación de la Fermentación Alcohólica para la Producción de Hidromiel. *Universidad Nacional de Colombia*, 1–144. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/9933/1/300060.2012.pdf>
- Sánchez, F., Zambrano, J., Vera, J., Rommel, R., Gárces, F., & Vásquez, G. (2013). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque tropical de la provincia de Los Ríos. *Ciencia Tecnología*, 7(1), 33–41. Retrieved from [http://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2\\_V7 N1 3Morante.pdf](http://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_V7 N1 3Morante.pdf)
- Terenzi, S. (2017). The Good, The Bad And The Ugly Of Cacao CCN-51. Retrieved November 2, 2018, from <https://thechocolatejournalist.com/good-bad-ugly-cacao-ccn-51/>
- The Oil Crash. (2018). Tasa de Retorno Energético: concepto, significado y limitaciones. Retrieved February 25, 2019, from <http://crashoil.blogspot.com/2018/08/tasa-de-retorno-energetico-concepto.html>
- Triana, C. A. R. (2013). Balance energético del etanol brasilero: comparación entre métodos de medición. *PUNTO DE VISTA*, 3(5). <https://doi.org/10.15765/pdv.v3i5.131>
- Vallejo, C., Ocampo, R., Morales, W., Soria, R., Vera, J., & Barén, C. (2015). UTILIZACIÓN DEL MUCÍLAGO DE CACAO, TIPO NACIONAL Y TRINITARIO, EN LA OBTENCIÓN DE JALEA, 7(1).
- Vázquez, H. J., & Dacosta, O. (2007). Alcoholic fermentation : An option for renewable energy production from agricultural residues. *INGENIERIA Investigación y Tecnología*, 2007, 249–259. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v8n4/v8n4a4.pdf>
- Velásquez, H. I., Ruiz C, A. A., & Oliveira, S. (2007). Análisis Energético del Proceso de Obtención de Etanol a partir de Excedentes Orgánicos del Banano. In *8º Congreso*



*Iberoamericano De Ingeniería Mecánica* (p. (en CD-ROM)). Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/237684821\\_ANALISIS\\_ENERGETICO\\_DEL\\_PROCESO\\_DE\\_OBTENCION\\_DE\\_ETANOL\\_A\\_PARTIR\\_DE\\_EXCEDENTES\\_ORGANICOS\\_DEL\\_BANANO](https://www.researchgate.net/publication/237684821_ANALISIS_ENERGETICO_DEL_PROCESO_DE_OBTENCION_DE_ETANOL_A_PARTIR_DE_EXCEDENTES_ORGANICOS_DEL_BANANO)

Vera Chang, J. F., Vallejo Torres, C., Párraga Morán, D. E., Macías Véliz, J., Ramos Remache, R., & Morales Rodríguez, W. (2015). ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS Y SENSORIALES DE LAS ALMENDRAS DE QUINCE CLONES DE CACAO NACIONAL (*Theobroma cacao* L.) EN EL ECUADOR. *Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21–34. <https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.99>

Villamar, F. L., Salazar, J. C., & Quinteros, E. M. (2016). Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador/Strategies for cultivation, marketing and export of aroma fine cocoa in Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9(18), 45–55.



## Anexos

### Anexo 1: Encuesta aplicada Camilo Ponce Enriquez y La Troncal

Esta encuesta está relacionada con la producción de cacao en los cantones de Camilo Ponce Enríquez y La Troncal, con la finalidad de obtener información relevante para el estudio que se realiza en la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad de Cuenca. A continuación, se muestran una serie de preguntas, las cuales deberá marcar con una X en la opción que crea más conveniente o colocar la respuesta concreta en caso de ser necesario.

Número: \_\_\_\_\_

Nombre del Propietario: \_\_\_\_\_

Nombre de la Hacienda: \_\_\_\_\_

Ubicación: \_\_\_\_\_

Año de siembra inicial en la propiedad: \_\_\_\_\_

1. Las plántulas de cacao son:

Producidas \_\_\_\_\_

Adquiridas \_\_\_\_\_

1.1 En caso de adquirirlas, ¿De dónde Proviene?

---

2. ¿Cuántas hectáreas de terreno tiene en producción?

---

3. ¿Cuántas hectáreas de terreno están destinadas a la siembra?

---

4. ¿Cuántas hectáreas de terreno se encuentran en cultivo?

---

5. ¿Cuántas Plantas de cacao se cultivan en 1 Hectárea de Terreno aproximadamente?

---

6. ¿Cuántas Mazorcas de Cacao se obtienen de una planta aproximadamente?

---

7. ¿Qué tipo de labranza emplea en su terreno?

Labranza manual \_\_\_\_\_

Labranza mecanizada \_\_\_\_\_

8. ¿Cuántas personas aproximadamente se necesitan para las labores de labranza y preparación del terreno para la siembra del cacao por período?

---

9. ¿Cuántas personas aproximadamente se necesitan para el proceso de siembra?

---

10. ¿Cuántas personas aproximadamente se necesitan para el cultivo de cacao?





---

11. ¿Cuántas personas aproximadamente se necesitan para las labores de cosecha?

---

13. ¿Cuántas horas al día aproximadamente emplean los trabajadores en cuidar de las plantas de cacao?

---

14. ¿Cuántas veces fumiga en un ciclo de producción?

1 \_\_\_      2 \_\_\_      3 \_\_\_      4 \_\_\_      Otra(especifique)\_\_\_

15. ¿Cuáles son los principales insumos químicos empleados en el cultivo de cacao?

Fungicidas\_\_\_      Herbicidas\_\_\_      Pesticidas\_\_\_      Otro(especifique)\_\_\_

16. En esta propiedad, ¿Se realiza tratamiento post cosecha del cacao cultivado?

Sí\_\_\_      No\_\_\_

16.1 En caso de responder afirmativamente, ¿Qué tratamiento le otorga?

---

16.2 ¿Cuántas personas aproximadamente se necesitan para el tratamiento post cosecha?

---

16.3 ¿Cuántas horas se emplean en esta labor?

---

17. ¿Cuál es la disposición final del mucílago de cacao específicamente?

---

18. ¿Cuál es la disposición final de la mazorca de Cacao?

---

19. ¿A qué distancia se encuentra el centro de acopio de cacao al que usted acude, en caso de hacerlo?

---

**Anexo 2: Fotografías del levantamiento de datos en los cantones de Camilo Ponce Enríquez y La Troncal.**



Ilustración 30: Encuestas aplicadas en el Cantón Camilo Ponce Enríquez



Ilustración 33: Visita a haciendas de cacao en el Cantón Camilo Ponce Enríquez



Ilustración 31: Visita a haciendas productoras de cacao en el cantón Camilo Ponce Enríquez



Ilustración 34: Aplicación de encuestas en el Cantón Camilo Ponce Enríquez



Ilustración 32: Visita a haciendas productoras de cacao en el Cantón La Troncal



Ilustración 35: Aplicación de Encuestas en el Cantón La Troncal



Ilustración 36: Visita a las haciendas productoras de cacao en el Cantón La Troncal



Ilustración 37: Aplicación de Encuestas en el Cantón La Troncal

Anexo 3: Fotografías de equipos utilizados en la obtención de bioetanol en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Cuenca.



Ilustración 38: Equipo de Rectificación



Ilustración 39: Equipo de Fermentación



Ilustración 41: Mezcladora



Ilustración 40: Estufa