



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

**“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA
RESIDUAL DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) EN ROCAFUERTE,
CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA”**

Tesis previa a la obtención de título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables.

Autor: Daniel Alexander Armas Espinel

Director de Tesis: Dr. Juan Carlos García M. PhD

Ibarra – Ecuador, febrero de 2017

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA
RESIDUAL DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) EN ROCAFUERTE,
CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA”**

Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

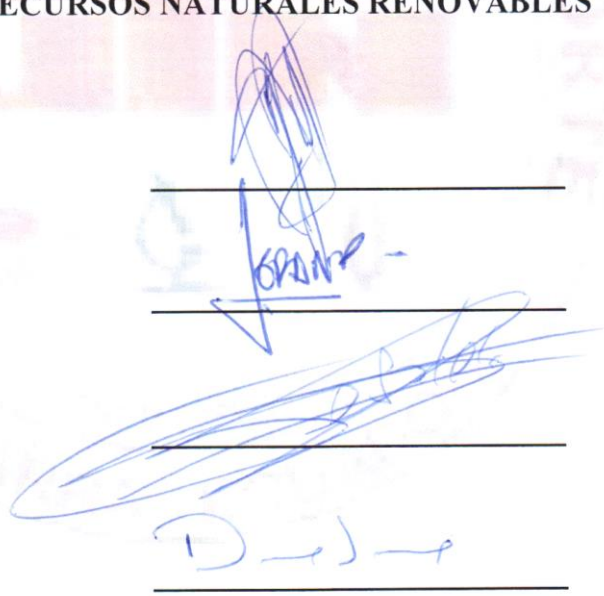
APROBADA:

Juan Carlos García M. PhD
Director de Tesis

Ing. Jorge Granja. MSc.
Asesor

Ing. Oscar Rosales. MSc.
Asesor

Ing. Daniel Sono. MSc.
Asesor



Three horizontal lines with handwritten signatures in blue ink. The first signature is a complex scribble. The second signature is a large, sweeping stroke. The third signature is a simple, stylized mark.

Ibarra – Ecuador, febrero de 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Cédula de identidad: | 100342873-5 |
| Apellidos y nombres: | Armas Espinel Daniel Alexander |
| Dirección: | Av. 17 de Julio N° 6-34 Ibarra |
| Email: | d.a.a.e_22@hotmail.com |
| Teléfono fijo: | 062 640 203 |
| Teléfono móvil: | 0958867105 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|------------------------------------|---|
| Título: | “Determinación del potencial energético de la biomasa residual de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.) en Rocafuerte, cantón Ibarra, provincia de Imbabura” |
| Autor: | Armas Espinel Daniel Alexander |
| Fecha: | Febrero de 2017 |
| Solo para trabajos de grado | |
| Programa: | Pregrado |
| Título por el que opta: | Ingeniero en Recursos Naturales Renovables |
| Director: | Juan Carlos García M. PhD |

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD


Yo, **Daniel Alexander Armas Espinel**, con cédula de ciudadanía Nro. **100342873-5**; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

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

Ibarra, febrero de 2017

AUTOR:



Daniel Alexander Armas Espinel

AUTOR C.I.: 100342873-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Daniel Alexander Armas Espinel**, con cédula de ciudadanía Nro. 100342873-5; manifiesta la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominada **“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) EN ROCAFUERTE, CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Daniel Alexander Armas Espinel

C.I.: 100342873-5

Ibarra, febrero de 2017

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN
Fecha: Ibarra, febrero de 2017

ARMAS ESPINEL DANIEL ALEXANDER “Determinación del potencial energético de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Rocafuerte, cantón Ibarra, provincia de Imbabura” / TRABAJO DE GRADO. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, febrero de 2017. 112 pp. 12 anexos.

DIRECTOR: Dr. Juan Carlos García M. PhD.

El principal objetivo de la presente investigación fue, Determinar el potencial energético de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Rocafuerte, cantón Ibarra, provincia de Imbabura. Entre los objetivos específicos se encuentran: Analizar la biomasa de la guayaba (*Psidium guajava* L.), a través de un proceso dendrométrico, caracterizar la biomasa de la guayaba a través de un análisis físico-químico y medir el potencial energético de la biomasa de guayaba.

Fecha: Ibarra, febrero de 2017

Dr. Juan Carlos García M. PhD
Director de Tesis

Daniel Armas Espinel
Autor

PRESENTACIÓN

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, corresponde exclusivamente al autor; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica del Norte, exclusivamente a la Carrera de Recursos Naturales Renovables, el presente trabajo de investigación contiene información sobre “**Determinación del potencial energético de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Rocafuerte, cantón Ibarra, provincia de Imbabura**”

Encontraremos textos, cuadros, comentarios, figuras, resultados y demás información que se encuentra detallada.

Daniel Alexander Armas Espinel

DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi madre, por darme la vida, quererme incondicionalmente, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

Mis abuelos Lourdes, Gonzalo y a mi Tía Sari, por quererme, apoyarme siempre y hasta soportarme, esto también se lo debo a ustedes.

Todos mis amigos, J Ch.; Lenín; y Viejo, por compartir los buenos y malos momentos durante estos años de estudio. A Rolando Ch. por su apoyo desinteresado y oportuno.

Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

Daniel Armas Espinel

AGRADECIMIENTO

A la “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”, por permitirme formarme como profesional y porque me enseñó el camino hacia la superación, con maestros capaces e impulsores, gracias a ellos por los conocimientos impartidos, por su paciencia y entendimiento.

A todas las autoridades y docentes que la conforman tanto la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales como la Carrera Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, por confiar en mí y por haberme brindado la oportunidad de alcanzar un alto nivel académico para competir en el día a día del ejercicio de la profesión.

De manera especial a mis maestros Ing. Jorge Granja, Ing. Carlos Casco y al Dr. Juan Carlos García PhD, por haberme guiado y apoyado enormemente para la realización de esta investigación, gracias por su paciencia y responsabilidad dedicada en todo momento.

Daniel Armas Espinel

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN | III |
| PRESENTACIÓN..... | VII |
| DEDICATORIA | VIII |
| AGRADECIMIENTO | IX |
| ÍNDICE GENERAL | X |
| ÍNDICE DE TABLAS | XII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XIII |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | XIV |
| RESUMEN | XV |
| SUMMARY..... | XVI |
| TEMA:..... | XVII |
| CAPÍTULO I | 2 |
| 1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 2 |
| 1.1. Introducción | 2 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 1.2.1 Objetivo general..... | 4 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 4 |
| 1.3 Pregunta directriz de la investigación | 4 |
| CAPÍTULO II..... | 5 |
| 1. REVISIÓN DE LITERATURA | 5 |
| 2.1. Marco legal | 5 |
| 2.2. Bioenergía..... | 7 |
| 2.3. Biomasa..... | 7 |
| 2.4. Tipos de biomasa | 7 |
| 2.5. Composición de la biomasa | 10 |
| 2.6. Contenido energético de la biomasa | 11 |
| 2.7. Procesos aplicados para la conversión energética de la biomasa..... | 11 |
| 2.8. Dendrometría | 12 |
| 2.9. Cultivo de guayaba..... | 18 |
| 2.9.1 Origen y distribución | 18 |
| 2.9.2. Taxonomía | 19 |
| 2.9.3. Requerimientos climáticos | 19 |
| 2.9.4. Requerimientos edáficos | 19 |
| CAPÍTULO III..... | 20 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 20 |
| 3.1. Descripción del área de estudio | 20 |
| 3.1.1. Ubicación geográfica: | 20 |
| 3.1.3. Mapa de ubicación | 21 |
| 3.2. Equipos y materiales | 22 |
| 3.2.1. Fase de estudio dendrométrico..... | 22 |
| Fase de análisis físico-químico | 22 |
| 3.2.2..... | 22 |

| | | |
|--------------|---|----|
| 3.2.3 | Medición del potencial energético | 23 |
| 3.3. | Metodología por objetivos | 23 |
| 3.3.1 | Análisis de la biomasa de la guayaba (Psidium guajava L.) a través de un proceso dendrométrico..... | 23 |
| 3.3.2. | Caracterización de la biomasa residual de guayaba (Psidium guajava L.) a través de un análisis físico-químico | 30 |
| 3.3.3. | Medición del potencial energético de la biomasa de guayaba (Psidium guajava L.) | 31 |
| CAPÍTULO IV | | 35 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 35 |
| 4.1. | Estudio dendrométrico de ramas de guayaba..... | 35 |
| 4.1.1. | Análisis de la biomasa de la planta entera | 37 |
| 4.2. | Caracterización físico-química de la biomasa en laboratorio | 42 |
| 4.2.1. | Contenido de humedad y curva de secado | 42 |
| 4.2.2. | Análisis elemental | 43 |
| 4.2.3. | Análisis proximal y poder calorífico..... | 44 |
| 4.3. | Medición del potencial energético de la biomasa de guayaba | 45 |
| 4.3.1 | Muestreo de biomasa | 45 |
| 4.3.2. | Potencialidad energética de los recursos..... | 47 |
| CAPÍTULO V | | 49 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 49 |
| 5.1 | Conclusiones | 49 |
| 5.2. | Recomendaciones..... | 50 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 51 |
| ANEXOS | | 56 |
| Anexo 1. | Hoja de campo, estudio factor de forma y funciones de volumen..... | 56 |
| Anexo 2. | Hoja de campo, determinación del volumen total. | 57 |
| Anexo 3. | Tabla con los datos iniciales de la investigación dendrométrica..... | 58 |
| Anexo 4. | Tabla en función de volúmenes de las ramas de guayaba. | 59 |
| Anexo 5. | Tabla función volúmenes por estratos de la biomasa de guayaba. | 60 |
| Anexo 6. | Certificación de los análisis de las muestras enviadas al laboratorio en Praga-Republica Checa. | 61 |
| Anexo 7. | Informe de laboratorio con los resultados de los análisis elemental y proximal y poder calorífico. | 62 |
| Anexo 8.- | Encuesta realizada a los propietarios de fincas de guayaba. | 70 |
| Anexo 9.- | Tabla de ubicación y superficie de las fincas de guayaba..... | 71 |
| Anexo 10.- | Localización de los polígonos con mayor densidad de guayaba..... | 72 |
| Anexo 11.- | Tabla residuos de poda..... | 73 |
| Anexo 12.- | Archivo Fotográfico..... | 74 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Taxonomía de la guayaba | 19 |
| Tabla 2. Ubicación geográfica del ensayo | 20 |
| Tabla 3. Equipos y materiales fase de estudio dendrométrico | 22 |
| Tabla 4. Caracterización físico-química realizada en la Universidad Ciencias de la Vida Praga República Checa | 22 |
| Tabla 5. Equipos y materiales fase análisis Ecuador | 22 |
| Tabla 6. Equipos y materiales para la medición del potencial energético | 23 |
| Tabla 7. Resumen estadístico de los parámetros estudiados en las ramas | 35 |
| Tabla 8. Cálculo de factores de forma en base a modelos geométricos estudiados | 36 |
| Tabla 9. Análisis de la relación lineal entre variables..... | 36 |
| Tabla 10. Modelo de regresión para las ramas de la guayaba..... | 37 |
| Tabla 11. Promedios de la biomasa de ramas por estratos..... | 38 |
| Tabla 12. Resumen estadístico de los parámetros estudiados de la planta entera..... | 39 |
| Tabla 13. Modelo de regresión para la predicción de biomasa de planta entera..... | 40 |
| Tabla 14. Factor de ocupación de los árboles estudiados | 41 |
| Tabla 15. Porcentaje de humedad | 42 |
| Tabla 16. Composición elemental..... | 43 |
| Tabla 17. Otros elementos | 43 |
| Tabla 18. Resultados del análisis proximal..... | 44 |
| Tabla 19. Tipos de biomasa, características y poder calorífico | 44 |
| Tabla 20. Conteo de árboles, número de..... | 45 |
| Tabla 21. Biomasa residual disponible | 45 |
| Tabla 22. Biomasa potencial disponible | 47 |
| Tabla 23. Potencialidad energética del recurso..... | 47 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de la comunidad Rocafuerte | 21 |
| Figura 2. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo. | 25 |
| Figura 3. Sección de un tronco de cono. | 26 |
| Figura 4. Distribución del árbol por estratos..... | 28 |
| Figura 5. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: | 29 |
| Figura 6. Distribución de biomasa según estratos y fuste..... | 38 |
| Figura 7. Curva de secado de biomasa de guayaba..... | 42 |
| Figura 8. Distribución de la biomasa residual..... | 46 |
| Figura 9. Peso de residuos húmedo y seco..... | 46 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1 .- Huber, (1928):..... | 12 |
| Ecuación 2 .- Smalian, (1837):..... | 12 |
| Ecuación 3 .- Newton:..... | 13 |
| Ecuación 4.- Prodan | 13 |
| Ecuación 5 .- Para estimación general de biomasa | 15 |
| Ecuación 6 .- Modelo de regresión simple..... | 16 |
| Ecuación 7 .- De estimación de volumen de árboles individuales | 17 |
| Ecuación 8.- Volumen de un cono truncado | 25 |
| Ecuación 9 .- Volumen modelo..... | 25 |
| Ecuación 10 .- Factor de forma | 25 |
| Ecuación 11.- Volumen real..... | 25 |
| Ecuación 12.- Factor de ocupación. | 29 |
| Ecuación 13 .- Porcentaje de humedad | 31 |
| Ecuación 14 .- Determinación del potencial energético..... | 34 |

RESUMEN

Determinación del potencial energético de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Rocafuerte, cantón Ibarra, provincia de Imbabura

Daniel Armas Espinel¹

¹ FICAYA, Ingeniería Recursos Naturales Renovables

El fenómeno del calentamiento global, ha sido generado por el exceso de emisiones de gases de efecto invernadero que generan los combustibles fósiles, principalmente el petróleo. Por esta razón en la actualidad se busca la utilización de energías alternas como el aprovechamiento de la biomasa que no genera efectos adversos para el planeta ni para los seres vivos. Como objetivo general se menciona al evaluar el potencial energético de la biomasa residual de guayaba. Se trata de una investigación experimental y de campo realizada en la comunidad de Rocafuerte, cantón Ibarra, dentro de la provincia de Imbabura. La metodología varía según cada objetivo, el análisis dendrométrico se realiza en 30 árboles al azar en una plantación de esta especie, analizando la dendrometría de ramas y de la planta entera, con el fin de predecir el volumen de madera contenido en cada árbol. Para el análisis físico-químico se tomaron muestras del material vegetativo y se enviaron a un laboratorio especializado, donde se realizaron los análisis; elemental, proximal, poder calorífico y contenido de humedad. Para medir el potencial energético, se determinó el peso de residuo seco generado por poda, se elaboró una ecuación en la que intervienen los valores calculados en las fases anteriores de la investigación, y una comparación con la demanda energética en la comunidad rural de Rocafuerte. Como resultados del análisis dendrométrico, presentó que la forma y el volumen de las ramas en cada uno de los estratos se ajustan bien a una forma cónica. Las funciones de volumen calculadas poseen coeficientes de determinación considerados como altos y adecuados para su aplicación práctica, encontrando un volumen total promedio de 0,03 m³/árbol. La caracterización de los materiales reportó un contenido de humedad inicial de 38 %. El análisis elemental reportó concentraciones de los siguientes elementos: C, H, N, S, Cl dentro de los límites permisivos, recalcando que el bajo contenido de azufre (<0,1%) no generaría emisiones contaminantes de dióxido sulfuroso. El análisis proximal determinó los siguientes contenidos: humedad 9,8%, cenizas 3,74%, y volátiles 77,43% el alto contenido de volátiles, indica que este tipo de residuo podría tener aptitud en procesos de combustión, gasificación o pirolisis, sobre todo la combustión. En cuanto al análisis de contenido energético del residuo, se obtuvo un PCI de 18424 kJ/kg. El potencial energético fue de 259,53 toneladas secas del recurso valor obtenido asumiendo que se realizan tres podas al año. Este índice permite calcular que la energía potencial disponible de 4781,48 MJ o 1318,19 kWh/año. El consumo anual de la comunidad se estima en 12000 kWh, se determina que los residuos estudiados generan el 11% de la demanda energética de la comunidad.

Palabras Clave: Energías alternas, Biomasa, Bioenergía, Guayaba, potencial energético.

SUMMARY

Determination of the energy potential of waste biomass Guava (*Psidium guajava* L.) in Rocafuerte, canton Ibarra, province of Imbabura

Daniel Armas Espinel¹

¹ FICAYA, Renewable Natural Resources Engineering

The phenomenon of global warming has been caused by the excess of emissions of greenhouse gases generated by fossil fuels, mainly oil. For this reason the use of alternative energies such as biomass could generate less adverse effects for the planet and living beings. The main focus is to evaluate the energy potential of waste biomass from guava. The research carries out an experimental and field evaluation in the community of Rocafuerte, Ibarra canton, at Imbabura province. The methodology varies according to each objective. The dendrometrical analysis is performed on 30 random trees in a plantation of this specie, analyzing by dendrometry the branches and the whole plant in order to estimate the volume of biomass contained in each tree. The material samples for the physical-chemical analysis were taken and sent to a specialized laboratory where elemental, proximal, heating value and moisture content analysis were performed. For measuring the energy potential, the weight of dry waste generated by pruning an equation was determined where the calculated values took part in the previous phases of research and a comparison with the energy demand in the rural community of Rocafuerte. The results of dendrometrical analysis showed that the shape and volume of branches in each of the layers fit well with a conical shape. The calculated volume functions have coefficients of determination considered high and suitable for practical application, finding a total volume average of 0.03 m³ / tree. The characterization of materials reported an initial 38% moisture content. The elemental analysis showed concentrations such as: C, H, N, S, Cl within the permissive limits, emphasizing that the low sulfur content (< 0.1%) will not generate polluting sulfur dioxide emissions. Proximal analysis showed the following contents of moisture 9.8%, ash 3.74%, and volatile 77.43% high volatile content indicates that this type of waste could have proficiency on combustion, gasification and pyrolysis, especially combustion. Regarding the heating value result was 18424 kJ/kg. The biomass potential was 259.53 dry/ton. The resource value obtained assuming that three prunings are performed annually. This index allows calculating the available energy potential of 4781.48 MJ or 1318.19 kWh/year. The annual consumption of the community is 12000 kWh, so the guava waste could generate 11% of the energy demand in the community.

Keywords: Alternative Energy, Biomass, bioenergy, Guava, energy potential.

TEMA:

Determinación del potencial energético de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Rocafuerte, cantón Ibarra, provincia de Imbabura.

CAPÍTULO I

1. Problema de la Investigación

1.1. Introducción

El fenómeno del calentamiento global, generado por el exceso de emisiones de gases de efecto invernadero, ha motivado en las últimas décadas un mayor interés en el estudio de sus determinantes. El resultado más inmediato y visible de este calentamiento, ha sido la sucesión de fenómenos climáticos que se han traducido en desastres naturales y han generado innumerables pérdidas humanas y económicas (Zilio, 2008).

Durante las últimas décadas, la gran demanda y consumo de combustibles fósiles, ha hecho considerar y reconocer que el petróleo es un recurso finito y ante el contexto de su próximo agotamiento, el ser humano debe buscar fuentes de energías alternas, para satisfacer sus necesidades básicas. Por lo cual el aprovechamiento de las biomásas, se transformará en una verdadera alternativa al alcance del ser humano y en especial sin que genere efectos adversos, ni para el planeta, ni para los seres vivos, en la actualidad las energías obtenidas a partir de biomásas representan entre el 9 al 13% del consumo mundial de energía (Escalante & Orduz, 2011), (García et al, 2012).

En el Ecuador durante los últimos años, se ha hecho eco sobre la necesidad de adoptar e implementar estrategias energéticas distintas a las tradicionales, relacionadas con el uso de hidrocarburos en sus diferentes presentaciones; es así que muchas de las instituciones gubernamentales como el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca (MAGAP) y de manera especial en las instituciones educativas de tercero y cuarto nivel tanto públicas como privadas, han incrementado sus esfuerzos investigativos para encontrar alternativas energéticas con el aprovechamiento de diversas biomásas

(MEER, 2014). Ecuador posee un potencial energético de residuos agrícolas en cultivos como el maíz, la caña de azúcar, arroz y banano (García et al, 2012).

Dentro de la provincia de Imbabura, en la vía Ibarra-San Lorenzo existen amplias zonas destinadas a plantaciones de guayaba, en las cuales no se realiza un adecuado manejo de la biomasa residual generada a partir de las podas de dicha especie. Desencadenando varios problemas entre ellos la incineración del recurso al aire libre emite grandes cantidades de gases de efecto invernadero, y genera incendios forestales. Por otro lado, se desaprovecha la cantidad de energía liberada en la combustión de la madera que podría ser destinada para la producción de energía dentro de un ambiente controlado, por estas razones el presente estudio pretende generar datos que permitan determinar el potencial energético de la biomasa residual de esta especie.

La biomasa procedente de las podas de árboles frutales puede ser aprovechada continuamente, al ser un recurso totalmente renovable nos aseguramos que siempre vamos a contar con una dotación suficiente del mismo, reduce drásticamente los impactos negativos al medio ambiente: las emisiones de dióxido de carbono quedan en gran parte compensadas por el dióxido de carbono capturado en el crecimiento de las plantas, mitiga en cierta manera el uso e importación de combustibles fósiles al país, no emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, genera empleo y desarrollo socioeconómico en las poblaciones rurales. Al convertir un residuo en un recurso estamos realizando un proceso de reciclaje contribuyendo al mismo tiempo con el cuidado del ambiente (FOCER, 2002).

Mediante la aplicación de este estudio se quiere obtener fuentes seguras de biomasa, convirtiendo los residuos en subproductos, que serán materia prima para generar energías alternativas, de esta manera reducir las emisiones de CO₂ a la atmosfera, y contribuir a mejorar la calidad de vida y desarrollo de los habitantes de estas comunidades (Zilio, 2008).

1.2. Objetivos

El estudio propone un objetivo principal y tres objetivos específicos que se detallan a continuación.

1.2.1 Objetivo general

Determinar el potencial energético de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Rocafuerte, cantón Ibarra, provincia de Imbabura.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar la biomasa de la guayaba (*Psidium guajava* L.), a través de un proceso dendrométrico
- Caracterizar la biomasa residual de la guayaba a través de un análisis físico químico (*Psidium guajava* L.)
- Medir el potencial energético de la biomasa de Guayaba (*Psidium guajava* L.)

1.3 Pregunta directriz de la investigación

- ¿Tiene el cultivo de guayaba de la zona específica de estudio una cantidad de biomasa residual con potencial energético que permita la generación de energía sostenible?

CAPÍTULO II

1. Revisión de literatura

En este capítulo se presenta el sustento legal que valida el estudio realizado, así como también la revisión de la literatura pertinente extraída de fuentes confiables como artículos y revistas científicas de impacto en temas afines, mismos que servirán de fundamento y ayuda para comprender posteriormente la metodología que se empleó para cumplir con los objetivos del presente trabajo.

2.1. Marco legal

El presente estudio se respalda en distintos documentos nacionales e internacionales que hace mención al potencial energético y energías alternativas. El Marco Jurídico Ecuatoriano que hace mención al enfoque Socio ambiental está:

La Constitución de la República del Ecuador, publicada en Registro Oficial en octubre del año 2008, hace referencia en distintos artículos a las energías alternativas y a los recursos naturales en los siguientes artículos (Asamblea Nacional Constituyente, 2008):

“Art. 15. El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientales limpias y e energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua”

“Art. 284. La política económica tendrá los siguientes objetivos.... Asegurar la soberanía alimentaria y energética”

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

“Art. 414. El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de la emisión de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo”

Plan Nacional del Buen Vivir:

Objetivo 7. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global.

Objetivo 11. Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica.

Anexo 3 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente; “norma de emisiones al aire desde fuentes fijas norma de emisiones al aire desde fuentes fijas”

Biomasa residual: Es la que se genera en cualquier tipo de actividad humana fundamentalmente en los procesos productivos de los sectores agrícola, ganadero, así como los residuos sólidos y líquidos de asentamientos urbanos utilizados para aprovechamiento energético.

2.2. Bioenergía

González menciona a la bioenergía como la energía obtenida a partir de aquellos combustibles obtenidos de las plantas o residuos de animales renovables. Se puede definir también a la bioenergía como la forma de generar energía a partir de biomasa: "materia viva" o derivada de seres vivos. Se pueden utilizar una amplia gama de productos, que se han dividido en tres tipos de combustible (González, 2008).

- Combustibles de madera
- Agrocombustibles
- Subproductos de origen municipal

2.3. Biomasa

Según las directivas de la Unión Europea (UE) la definición de biomasa es la siguiente: "Biomasa es la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales" (Cerdá, 2012).

Los residuos de procesos forestales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor, y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín (FOCER, 2002).

2.4. Tipos de biomasa

El centro de observación que realiza el mejor seguimiento de la situación de las energías renovables en la Unión Europea distingue dentro de la bioenergía, o biomasa en sentido amplio, cuatro fuentes energéticas diferentes: (1) biomasa sólida, (2) biogás,

(3) fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, y (4) biocarburantes (también llamados biocombustibles líquidos) (Cerdá, 2012).

Biomasa sólida: aprovechamiento térmico o eléctrico de la materia orgánica de origen vegetal o animal (excluyendo aquellos usos que se definen en las siguientes categorías). Dependiendo del origen y composición de cada uno de los materiales y residuos utilizados, la biomasa sólida se divide en (Cerdá, 2012);

- Primaria: formada por cultivos energéticos, que son cultivos de especies vegetales destinados específicamente a la producción de biomasa para uso energético.
- Residual o secundaria: residuos forestales (como los generados en operaciones de limpieza o poda), residuos agrícolas leñosos (como podas de olivos, viñedos y frutales), residuos agrícolas herbáceos (como la paja de cereales de invierno o el cañote del maíz), residuos de industrias forestales y agrícolas (astillas, cortezas, serrín, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, cascarilla de arroz, etc.)

Biogás: Se denomina «metanización» al proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos. Dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno. Durante el proceso de transformación de la materia orgánica, llamado digestión, dichas bacterias producen un gas denominado por su origen biogás (Cabrera et al, 2011).

El biogás puede proceder de la metanización natural de los residuos sólidos urbanos depositados en los vertederos (desgasificación) o puede ser producido en digestores anaerobios (metanización voluntaria). La digestión anaerobia puede aplicarse a excedentes de cosechas, cultivos energéticos, residuos agrícolas, residuos ganaderos, lodos procedentes de depuradoras de aguas residuales o efluentes industriales, estos residuos se pueden tratar de forma independiente o conjunta (codigestión) (Cabrera et al, 2011).

El biogás resultante de aguas residuales urbanas y efluentes industriales generalmente es producido en las mismas plantas depuradoras. Los residuos agrícolas y ganaderos pueden ser tratados en pequeñas plantas de biogás a nivel de granja o grupo de granjas. En cuanto a sus usos, el biogás puede destinarse a la generación de calor y electricidad en una caldera, generación de electricidad en motores y turbinas (Cabrera et al, 2011).

Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU): Incluye como bio-residuos los residuos orgánicos procedentes de jardines y parques, los residuos procedentes de las cocinas y de los alimentos de los hogares, bares, restaurantes, proveedores y redes de distribución de alimentos y residuos procedentes de las plantas de tratamiento de los alimentos. Su transformación en energía se realiza por incineración. La Directiva de la Unión Europea 2006/12/EC sobre residuos define una jerarquía en la gestión de residuos sólidos urbanos en el siguiente orden de prioridad: 1) prevención o reducción de producción de residuos; 2) recuperación de residuos por medio del reciclaje, la reutilización y la recolección o cualquier otro proceso que permita extraer materias primas secundarias; 3) uso de residuos como fuente de energía; 4) vertido de residuos. La valorización energética de los residuos sólidos urbanos reduce las emisiones de gases de efecto invernadero por dos vías: mediante la generación de energía térmica y eléctrica en sustitución de combustibles fósiles, y evitando emisiones de metano en vertederos (Cerdá, 2012).

Biocarburantes: Se denominan biocarburantes a los combustibles líquidos de origen biológico que por sus características físico-químicas resultan adecuados para sustituir a la gasolina o al gasóleo, bien sea de manera total, en mezcla con estos últimos o como aditivo. El tema de los biocarburantes, o combustibles líquidos, se aborda en otro artículo de este número monográfico, por lo que en este trabajo nos centramos en la biomasa sólida, el biogás y la FORSU. Al referirnos a recursos de biomasa o de bioenergía como fuentes de energía renovable hay que distinguir entre materias primas y combustibles. Por ejemplo, los excrementos de animales de granjas constituyen materia prima a partir de la cual se obtiene el combustible biogás, o ciertos residuos forestales constituyen la materia prima a partir de la cual se obtienen los combustibles llamados pellets (Cerdá, 2012).

2.5. Composición de la biomasa

La biomasa es un material formado principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno; estos compuestos son los que reaccionan exotérmicamente cuando el residuo cede energía. Conocer la composición de un residuo es importante al momento seleccionar una tecnología para su aprovechamiento energético; por consiguiente, la caracterización de la biomasa involucra conocer los siguientes parámetros (Escalante & Orduz, 2011):

- Composición física: Involucra determinar en la sustancia su densidad aparente y real, la humedad y el color.
- Composición química: El análisis último o elemental: Reporta el porcentaje en peso de oxígeno (O₂), carbono (C), hidrógeno (H), azufre (S) y nitrógeno (N), contenido de carbono fijo, el material volátil, y las cenizas.
- El análisis estructural: Hace referencia a cuantificar el contenido de lignina, de celulosa, y hemicelulosa.

Las propiedades físicas son importantes desde el punto de vista de la selección y diseño de equipos para el manejo físico del producto y posible necesidad de transformaciones adicionales para su uso final. Las propiedades químicas sirven para caracterizar el comportamiento de la biomasa en los procesos químicos y termoquímicos cuyo fin es conseguir la generación de energía o la síntesis de nuevas sustancias (Manrique et al, 2008).

Finalmente, el estudio del poder calorífico (propiedad energética, o también química o termoquímica) es fundamental para conocer la capacidad del material de generar energía mediante procesos termoquímicos (Manrique et al, 2008).

2.6. Contenido energético de la biomasa

Una de las características más importantes de los combustibles es su contenido energético, el cual puede obtenerse de su transformación y uso. Esta propiedad es fundamental para determinar el tipo de biomasa que puede utilizarse como combustible (Ausuf & Hilbert, 2012).

La oxidación de la materia que contenga carbono e hidrógeno, para generar metano y agua, se denomina proceso de combustión y se lleva a cabo mediante una reacción química de oxidación exotérmica. El poder calorífico inferior (PCI) es la variable que permite cuantificar la energía liberada en los procesos de combustión de la materia (Escalante & Orduz, 2011).

2.7. Procesos aplicados para la conversión energética de la biomasa

Se debe distinguir entre procesos bioquímicos (digestión anaerobia) y procesos termoquímicos (combustión, pirolisis y gasificación). La transformación energética de la biomasa produce principalmente biocombustibles y biogás, a partir de los cuales se puede obtener calor, electricidad o fuerza motriz (Butler et al, 2015).

El aprovechamiento de la biomasa seca (contenido de humedad menor al 50%) por medio de procesos termoquímicos depende de factores como el contenido de humedad, el valor calorífico, la concentración de carbono fijo y de los volátiles, el contenido de cenizas. Por otra parte, para el aprovechamiento de la biomasa húmeda (mayor al 50%) por medio de la bio-conversión, son de interés el contenido de humedad y la relación celulosa y lignina (Butler et al, 2015).

2.8. Dendrometría

La dendrometría es la disciplina que estudia la forma, dimensión, masa y volumen individual de los árboles, esta ciencia ha sido aplicada históricamente a especies forestales para determinar el volumen y masa de madera obtenible de cada individuo, sin embargo, ha sido poco estudiado en árboles frutales u ornamentales, es así que se puede utilizar esta disciplina para evaluar los contenidos de biomasa residual y estudiarla como un recurso energético (Velasquez, 2012) (Zimbe et al, 2003).

Por otro lado, la dasimetría es la ciencia que se ocupa de la estimación de la biomasa global de un conjunto de árboles asociados formando un sistema, se trata del proceso de la medición de la cantidad de biomasa existente en un determinado sistema productivo posee las siguientes fases:

- Selección de la muestra
- Medición de individuos mediante métodos dendrométricos
- Inferencia a la población

La expresión básica de cuantía de biomasa más empleada es el volumen. Las mediciones necesarias para cubicar directamente un árbol pueden ser costosas y lentas debido a la altura de las distintas estructuras y porque presentan formas irregulares (Prodan, 1997). Una posibilidad es el volteo o derribo de los árboles para poder medir diámetros a diferentes alturas (Salas, 2005), pero esto supone un método destructivo. Debido a la dificultad en la determinación del volumen de cada una de las estructuras de los árboles (ramas o fustes), son empleadas normalmente en la práctica forestal las siguientes fórmulas de aproximación (García, 1995).

Ecuación 1.- Huber, (1928):

$$V = g_m * L \quad (1)$$

Ecuación 2.- Smalian, (1837):

$$V = \frac{1}{2}(g_s + g_i) * L \quad (2)$$

Ecuación 3.- Newton:

$$V = \frac{1}{6}(g_s + 4g_m + g_i) * L \quad (3)$$

Dónde: V = volumen (m³)

g_m = área basal (m²) en el punto medio de la sección

g_s = área basal (m²) en el punto superior de la sección

g_i = área basal (m²) en el punto inferior de la sección

L = largo de la sección (m)

Además, se menciona que las funciones de ajuste de volumen, han sido utilizadas por ser fáciles de aplicación, al entregar volúmenes sin necesidad de complejos cálculos matemáticos (Lencinas, 2002). La mayoría de las funciones de volumen han sido ajustadas para especies de fustes excurrentes (coníferas), utilizando combinaciones de variables simples de medir, tales como el DAP, altura total (HT) y en algunos casos un factor de forma (f). La forma ecuacional de estos modelos es en general del tipo (Prodan, 1997):

Ecuación 4.- Prodan

$$V = f(Dap, H_T, f) \quad (4)$$

Para el caso de especies de fuste latifoliado, en las cuales dos árboles de igual DAP y altura total pueden tener distintas alturas comerciales, estas funciones pueden considerar la altura comercial o la altura comienzo de copa, como variable predictora (Higuera, 1994). En la literatura se mencionan distintos tipos de funciones de volumen, pero las principales son:

- a) Los modelos locales de volumen relacionan el volumen del árbol con sólo una variable independiente, generalmente el diámetro normal o de referencia o transformaciones y potencias de esta misma variable. Estas funciones son aplicables a la relación diámetro/altura implícita en el modelo de volumen; generalmente una cierta clase de edad y un mismo sitio (Lencinas, 2002).

- b) Las funciones generales de volumen son modelos que estiman el volumen con dos o más dimensiones del árbol, por lo general el diámetro y la altura total, pero también la edad, la densidad de plantación y la calidad de sitio (Costas et al., 2006). Son de aplicación más amplia que las locales, debido a que la relación de las dimensiones está explícita en el modelo, lo que facilita su uso para diferentes rodales en lugares diferentes (Prodan, 1997)
- c) Determinación de porciones utilizables del árbol en función del volumen total. Debido a la poca flexibilidad se han desarrollado nuevos métodos para una determinación directa de volúmenes entre dos límites de utilización. Dentro de estos métodos se cuentan:
- Las funciones de razón, que estiman el volumen hasta un determinado índice como un porcentaje del volumen total del árbol (Cao, 1980), por medio de dos pasos, el primero corresponde a la obtención de una ecuación de volumen para predecir el volumen total del árbol; y el segundo obtener una de transformación para estimar una proporción determinada (Prodan, 1997), (Barrio, 2007).
 - Las funciones de ahusamiento que son funciones matemáticas que describen el perfil fustal de un árbol o rama, permitiendo estimar tres características básicas de los árboles: diámetro a cualquier altura del fuste, altura hasta cualquier diámetro predeterminado y volumen entre dos alturas (Newham, 1992).
 - Dadas las especificaciones (diámetros y largos mínimos y máximos, posición en el árbol) de la industria maderera para productos tales como trozos pulpa de celulosa, aserrables o chapas de varias calidades, utilizando las funciones de ahusamiento es posible simular el trozado de la pieza del árbol, o determinar la mejor forma de hacerlo. En la literatura se mencionan tres tipos de funciones de ahusamiento. Las más simples corresponden a:

- I. Funciones polinómicas simples de diferentes grados, entre las cuales se hace diferencia entre las de árbol individual (Cofré, 1983) y las de una muestra de árboles, que predice en la parte basal del fuste que se asemeja a un neiloide, (Higuera, 1994).

- II. El segundo tipo de funciones corresponde a funciones segmentadas, que se forman de dos o tres expresiones que se activan o desactivan con respecto a la altura en que se quiera prever el diámetro (Prodan, 1997). la segunda predice para la parte media asemejándose a un paraboloides y la tercera predice en la zona cercana al ápice la cual se asemeja a un cono. Estas funciones están ligadas, en los puntos de inflexión o cambio de forma de la curva que describe el árbol (Higuera, 1994).

- III. El tercer tipo de funciones son las de exponente variable, que son ecuaciones basadas en modelos trigonométricos, en las que se asume que la forma varía constantemente dentro del fuste y representan esta variación a través de una función exponencial en la cual el exponente cambia con la altura del fuste. (Fassola, 2007; Higuera 1994).

Moret; (1998) y Montero; (2008), coinciden en que el siguiente modelo alométrico simple establece un buen ajuste para la estimación de biomasa como ecuación general para diferentes especies arbóreas en España.

Ecuación 5 .- Para estimación general de biomasa

$$V_i = \beta_0(d_i^2 h_i)^{\beta_1} \quad (5)$$

Dónde: V_i = volumen de un árbol; d_i = diámetro a la altura del pecho; h_i = altura total
 Este modelo representa un modelo intrínsecamente lineal y los residuos obtenidos a partir de él deben ser independientes y provenir de una distribución normal (Mora & Moret, 2001).

Con el tiempo, el nivel general de sofisticación de los modelos de predicción ha crecido debido a la aparición de técnicas de estimación estadísticas más refinadas, la ampliación de las bases de datos, y el poder floreciente y disponibilidad de ordenadores (Peng, 2000). Así mismo estos estudios han permitido en análisis del crecimiento y modelos de producción describen la dinámica forestal con el tiempo (p. ej., el crecimiento, la mortalidad, la reproducción, y cambios asociados al rodal), y han sido extensamente usados en el manejo, debido a su capacidad de poner al día inventarios, prediciendo la futura producción, y la exploración de alternativas de manejo y opciones silviculturales, y así proporcionar la información necesaria para la toma de decisiones (Vanclay, 1994).

Theil; (1950), propuso un método de estimación no paramétrico del modelo de regresión simple, consistente en estimar β_1 de una línea de regresión para la predicción de biomasa (ecuación 6) por medio del cómputo de la mediana de las pendientes provenientes de todos los pares $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ de conjuntos de puntos con diferentes valores, donde x es el diámetro y la biomasa, es decir:

Ecuación 6 .- Modelo de regresión simple

$$y = \beta_1 \cdot x + \beta_0 \quad (6)$$

$$\beta_{ij} = \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} \text{ Para } j > i, j = 1, 2, \dots,$$

$$\beta_1 = \text{mediana}(\beta_{ij})$$

Las ecuaciones para estimar el volumen de árboles individuales suelen obtenerse a partir de modelos alométricos simples donde se relacionan el volumen de un árbol con el DAP y altura total (Mora & Moret, 2001). Los datos que se utilizarán en el análisis de regresión deben cumplir los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas (Segura & Andrade, 2008). En caso de no cumplirse

algunos de ellos, entonces se transforman las variables usando logaritmos (naturales y en base 10), potencias y raíces. Walpole y Myers; (1992), indican que una gráfica de valores observados en función de la variable independiente (x) puede indicar la necesidad de transformar los datos. Cuando no sea posible linealizar mediante transformaciones, se utilizarán modelos de regresión no lineal. Para la estimación de los parámetros de un modelo por regresión no lineal Schorfheide; (2000), utilizó el criterio de minimizar la diferencia entre la función estimada y la observada a través del criterio definido como “LossFunction”. Cuanto menor sea esta función mejor será el ajuste (Mora & Moret, 2001).

Ecuación 7 .- De estimación de volumen de árboles individuales

$$\text{Loss-Function} = \sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2 \quad (7)$$

Dónde: V_i = volumen de un árbol; \hat{V}_i = volumen estimado de un árbol

Los modelos estimativos de la biomasa de un rodal forestal o una parcela agrícola deberían incluir la variable poda, siendo estos métodos de estimación modernos más sensibles, biológicamente más razonables, y más eficientes que los disponibles actualmente, que predicen la producción en función únicamente de la edad, la densidad y la calidad de sitio (Costas, 2006).

Según Costas; (2006), los resultados del efecto de la proporción de longitud de copa sobre el diámetro medio, coinciden por las funciones predictivas del diámetro a la altura de pecho de cada árbol obtenidas por Burkhart; (2001, 2003), construidas con datos de plantaciones de edades entre 8 y 25 años.

Sensores remotos: El acelerado desarrollo de sensores satelitales modernos permitió ya desde el año 1972 la utilización efectiva de datos satelitales para la clasificación indirecta de los sistemas vegetales (Hyypä, 2008) y para la estimación cuantitativa

de parámetros de rodales o parcelas (Estornell, 2011). Los datos multiespectrales provenientes de la teledetección espacial son utilizados para estimar un amplio número de variables biofísicas, tales como volumen y biomasa de las superficies vegetales, índice de área foliar, humedad y temperatura (Lencina, 2002). Entre las variadas formas de clasificar los sensores remotos, una de las más habituales es considerar su procedimiento de recibir la energía de las distintas cubiertas (Gibson & Power, 2000). En este sentido, se puede hablar de dos tipos de sensores: pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía (Estornell, 2011).

El desarrollo de las técnicas de medición de biomasa a partir de las señales percibidas por los sensores remotos implica el desarrollo de métodos de medición de biomasa en campo para poder relacionar ambos parámetros (Estornell, 2012), Es por ello que investigaciones orientadas al cálculo de biomasa en las parcelas agrícolas supone una oportunidad científica de enorme interés.

2.9.Cultivo de guayaba

A continuación, se detallan las principales características de la especie en estudio.

2.9.1 Origen y distribución

Planta originaria de Centroamérica, común en las áreas calientes de América tropical. Se reporta en las Indias occidentales desde 1526, fue introducido a la Florida en 1847 y antes de 1886 ya era común la Florida en más de la mitad de ese estado. Los colonizadores españoles y portugueses la llevaron a Guam y a las Indias Orientales. Pronto fue adoptado como cultivo en Asia y en las zonas calientes de África, se cree que de Egipto paso a Palestina, Argelia y a la costa mediterránea de Francia (García, 2010).

2.9.2. Taxonomía

Tabla 1. Taxonomía de la guayaba

| | |
|-----------|------------------|
| Reino: | Vegetal |
| División: | Spermatophyta |
| Clase: | Dicotiledónea |
| Orden: | Mirtales |
| Familia: | Myrtaceae |
| Género: | Psidium |
| Especie: | <i>Guajava</i> L |

2.9.3. Requerimientos climáticos

Se desarrolla muy bien en aquellos lugares con temperaturas entre los 16-34°C, con una humedad relativa de 36 a 96%, condiciones que lo vuelven cultivable desde el nivel del mar hasta los 800 msnm, y con una precipitación anual de 1000-1800 mm. Existen reportes de que en Colombia algunas variedades se han cultivado hasta los 1,700 msnm y en Venezuela hasta los 1,800 msnm (García A. , 2010).

2.9.4. Requerimientos edáficos

Tradicionalmente las plantas silvestres de guayabo se han encontrado en terrenos pobres, razón por la cual los productores piensan en cultivarlos donde otros cultivos no se desarrollan muy bien, pero las variedades mejoradas requieren de condiciones especiales para que puedan manifestar todo su potencial genético, en tal sentido se ha encontrado que los suelos que le favorecen son los franco a franco arcilloso con buen contenido de materia orgánica, por el contrario los suelos arenosos no le son muy favorables, manifestándose en un desarrollo lento y débil. El pH está en el rango de 6 a 7; es una planta bastante tolerante a la humedad, pero no por periodos prolongados (García A. , 2010).

CAPÍTULO III

3. Materiales y métodos

3.1. Descripción del área de estudio

La comunidad de Rocafuerte ubicada dentro de la parroquia Lita, cantón Ibarra, provincia de Imbabura presenta características edafo-climáticas óptimas para que prolifere el cultivo de la guayaba. Es una faja montañosa con un gradiente altitudinal entre los 700 a 900 msnm. Pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo Pre-Montano, su temperatura promedio anual es de 18 a 24 ° C presentando un clima Ecuatorial Cálido y recoge entre 2000 y 4000 mm de lluvia anual (Cañadas, 1983).

La presente investigación se realizó en un lote con el cultivo de guayaba, propiedad de la familia Rengifo, ubicado en el área ya descrita.

3.1.1. Ubicación geográfica:

Tabla 2. Ubicación geográfica del ensayo

| | |
|-----------------|--------------------------|
| País: | Ecuador |
| Zona: | Administrativa 1 |
| Provincia: | Imbabura |
| Parroquia | Lita |
| Sector | Rocafuerte |
| Coordenadas UTM | X: 798641 Y: 10088740 |
| Datum: | WGS 84 |
| Zona | 17 Sur |
| Altitud: | 870 msnm |

3.1.3. Mapa de ubicación

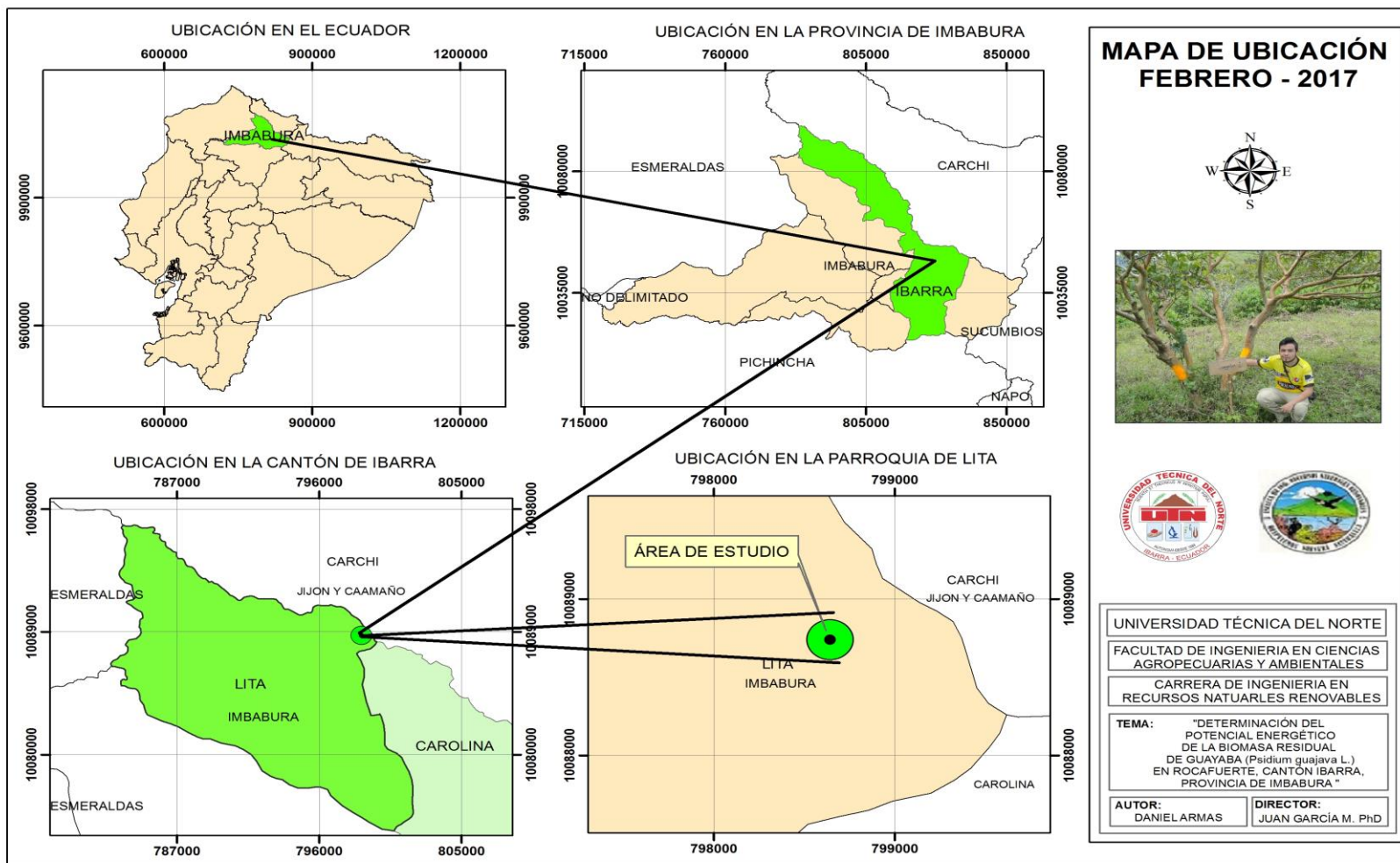


Figura 1. Mapa de la comunidad Rocafuerte

3.2. Equipos y materiales

A continuación, se detallan los equipos y materiales utilizados en las diferentes fases del estudio, clasificada por objetivos específicos.

3.2.1. Fase de estudio dendrométrico

Tabla 3. Equipos y materiales fase de estudio dendrométrico

| Equipos | Materiales |
|---------------------------------|------------------|
| Gps | Pértiga |
| Computador portátil | Flexómetro |
| Cámara fotográfica | Cinta métrica |
| Calibrador digital (pie de rey) | Libreta de campo |
| | Pintura |

3.2.2. Fase de análisis físico-químico

Tabla 4. Caracterización físico-química realizada en la Universidad Ciencias de la Vida Praga República Checa

| Equipos | Materiales |
|---|---|
| Horno secador, Memmert serie 800-100 | Muestras de Biomasa de Guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.) |
| Balanza de laboratorio, serie PCE-BS | Micro espátula |
| Determinador de Carbón /Hidrogeno/ Nitrogeno, Leco series 628 | Embudo |
| TGA – METTLER TOLEDO 8442 | Vaso de Precipitación |
| Espectrómetro NITON XRF 898 | Pinzas - tenazas |
| Calorímetro IKA C-6000 | |
| Molino de cuchillas | |

Tabla 5. Equipos y materiales fase análisis Ecuador

| Equipos | Materiales |
|-------------------------------------|---|
| Estufa marca Memmert | Muestras de Biomasa de Guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.) |
| Molino de cuchillas | Libreta de campo |
| Computador portátil | Recipientes de aluminio |
| Cámara fotográfica | Reloj |
| Balanza digital marca Boeco BCL-500 | |

3.2.3 Medición del potencial energético

Tabla 6. Equipos y materiales para la medición del potencial energético

| Equipos | Materiales |
|---------------------|--------------------|
| Gps | Segueta |
| Computador portátil | Tijeras de podar |
| Cámara fotográfica | Libreta de campo |
| Balanza digital | Fundas tipo costal |

3.3. Metodología por objetivos

El trabajo se desarrolló en el noroeste de la provincia de Imbabura, en la parroquia Lita comunidad Rocafuerte. La presencia de guayaba (*Psidium guajava* L.) en el sector actualmente es considerada como una especie de regeneración natural, ya que no se le ha dado la importancia como un cultivo comercial, aun sabiendo de su gran potencial en frutos y residuos de podas.

3.3.1 Análisis de la biomasa de la guayaba (*Psidium guajava* L.) a través de un proceso dendrométrico

La dendrometría permite estudiar las dimensiones del árbol como ente individual, para determinar su forma y el volumen de biomasa. Con la finalidad de estimar el volumen de biomasa potencial total dentro del área de estudio se realizó este análisis que se describe a continuación.

- **Factor en estudio**

Cuantificación de biomasa mediante el muestreo de 30 árboles al azar en una plantación de guayaba, estudios similares se los ha practicado en otros tipos de frutales como son el ciruelo (*Prunus domestica*), y el durazno (*Prunus persica*) siguiendo la misma metodología descrita (Velázquez, 2006).

- **Análisis Estadístico**

Para estimar los modelos, se utilizó el programa estadístico Sthatgraphics 5.1 el análisis estadístico de los datos obtenidos en cada una de las unidades experimentales se basó en lo siguiente:

- 1) Análisis unidimensional de las variables cuantitativas, determinando los estadísticos de la media, desviación típica, coeficientes de curtosis y asimetría, a partir de los cuales se analizó la normalidad de los datos (Velázquez, 2006).
- 2) Análisis multidimensional de las variables cuantitativas (factores) a partir de la comparación de cada par de variables, teniendo en cuenta el coeficiente de correlación de Pearson que indicó las relaciones entre variables, ya sean positivas, negativas o neutras.
- 3) Desarrollo de modelos de regresión para predecir las variables respuesta, en base a las mediciones dendrométricas realizadas.
- 4) Validación del modelo de predicción mediante el análisis de comparación entre variable observable y las variables predichas a través de la prueba de t de student.

- **Variables Evaluadas**

- a. Análisis dendrométrico de ramas.
- b. Análisis dendrométrico de la planta entera.

- **Selección e identificación**

Para la selección e identificación de la plantación se seleccionaron treinta (30) árboles al azar, los cuales fueron identificados con numeración de 1 al 30 con pintura blanca en la base del tallo principal.

- **Análisis dendrométrico de ramas**

Se muestrearon 30 ramas, una por cada árbol o unidad experimental, a las que se realizaron las mediciones del diámetro de la base, longitud de la rama, diámetros a distintas longitudes (cada 10 cm), volumen real de la rama:

Ecuación 8.- Volumen de un cono truncado

$$V_i = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r) \quad (8)$$

Ecuación 9.- Volumen modelo

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad (9)$$

Ecuación 10.- Factor de forma

$$f = \frac{\text{Volumen real de la estructura analizada}}{\text{Volumen del modelo}} \quad (10)$$

Ecuación 11.- Volumen real

$$VR = \frac{\pi \cdot Db^2}{4} \cdot L \cdot f \quad (11)$$

Los datos del diámetro de la base se obtuvieron a través de la medición con un calibrador digital y la longitud de la rama se obtuvo las mediciones con una cinta métrica en cm. Para el cálculo del volumen real de una rama, se dividió la rama en partes iguales cada 10 cm, tal como se indica en la Figura 2; se midió el diámetro ecuatorial de la sección de forma, obteniendo el diámetro inicial y final de cada intervalo.

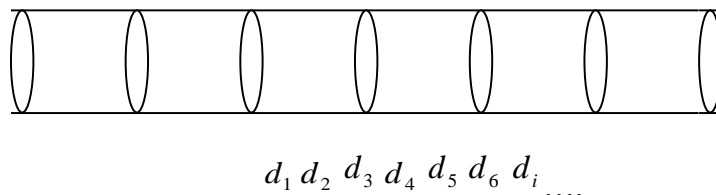
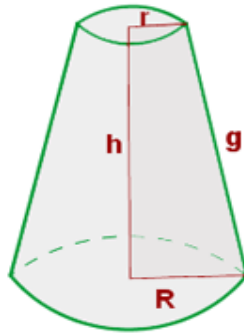


Figura 2. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo (Velázquez, 2006).

Cada porción fue considerada como un tronco de cono, cuyo volumen se calculó con la ecuación de volumen de un cono truncado. La suma de todos los volúmenes de cada una de las porciones calculadas fue el volumen real de la rama.



$$V_i = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r) \quad (8)$$

Figura 3. Sección de un tronco de cono.

Donde R = radio mayor; r = radio menor; h= longitud del intervalo (Borja Velázquez, 2006).

El cálculo del volumen modelo se realizó aplicando la fórmula del cilindro a partir del diámetro de la base (d) y la longitud (L) de la rama.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad (9)$$

En principio el coeficiente mórfico fue un parámetro característico de la especie y clase diamétrica. No obstante, para cada una de las determinaciones realizadas existió una variabilidad estadística, donde se determinó la media y la dispersión para cada uno de los casos. Como se pudo observar la obtención del coeficiente mórfico (f) permitió determinar el volumen de cualquier estructura midiendo el diámetro basal y su longitud.

El volumen de cada rama (Vi) de guayaba se determinó a partir de su coeficiente mórfico (f), cociente entre el volumen real y un volumen geométrico modelo.

$$f = \frac{\text{Volumen real de la estructura analizada}}{\text{Volumen del modelo}} \quad (10)$$

- **Análisis dendrométrico de la planta entera**

Para la metodología del estudio se tomaron los siguientes datos iniciales; Diámetro de tronco (cm), Diámetro de copa (m), Altura de la copa al suelo (cm) y Altura del árbol (m) (Borja Velázquez , 2006).

- a. **Diámetro del tronco:** con calibrador digital se midió el tronco del árbol y se expresa su medida en cm. Si los troncos de los árboles son uniformes, se toma una sola medida
- b. **Diámetro de la copa:** con un flexómetro se midió la distancia del borde externo dominante hacia el centro del tronco principal de la planta y se multiplico por dos (2), para obtener el diámetro de copa.
- c. **Altura de la copa al suelo:** con el flexómetro se midió la distancia desde el suelo hacia el punto de inicio de la bifurcación de los ejes primarios de la planta (inicio de la copa).
- d. **Altura del árbol:** con la ayuda de una pértiga y un operario, se midió la altura de la planta, colocando la pértiga en el centro del árbol junto al tronco, se prolongó la pértiga hacia arriba del árbol y con la ayuda de un operario se observó que la pértiga está al nivel de la planta, así se obtuvo el dato correspondiente.

Como indica la figura 4 se identificó los estratos de las ramas de la planta de guayaba. El primer estrato estuvo constituido por las ramas de la base de la copa, a las cuales se midió su diámetro y su longitud, que por lo general fueron en número reducido (2 - 4 ramas) y de mayor diámetro.

El segundo estrato estuvo constituido por las ramas que se ramificaron del primer estrato; se contabilizaron todos ellos (ocurrencia: veces que se repite la rama en un mismo estrato) para determinar el volumen de biomasa; luego, se seleccionó el más

representativo, al que se midió su diámetro y su longitud. Seguidamente se cubico el tercero y cuarto estrato siguiendo la misma metodología descrita para el segundo estrato.

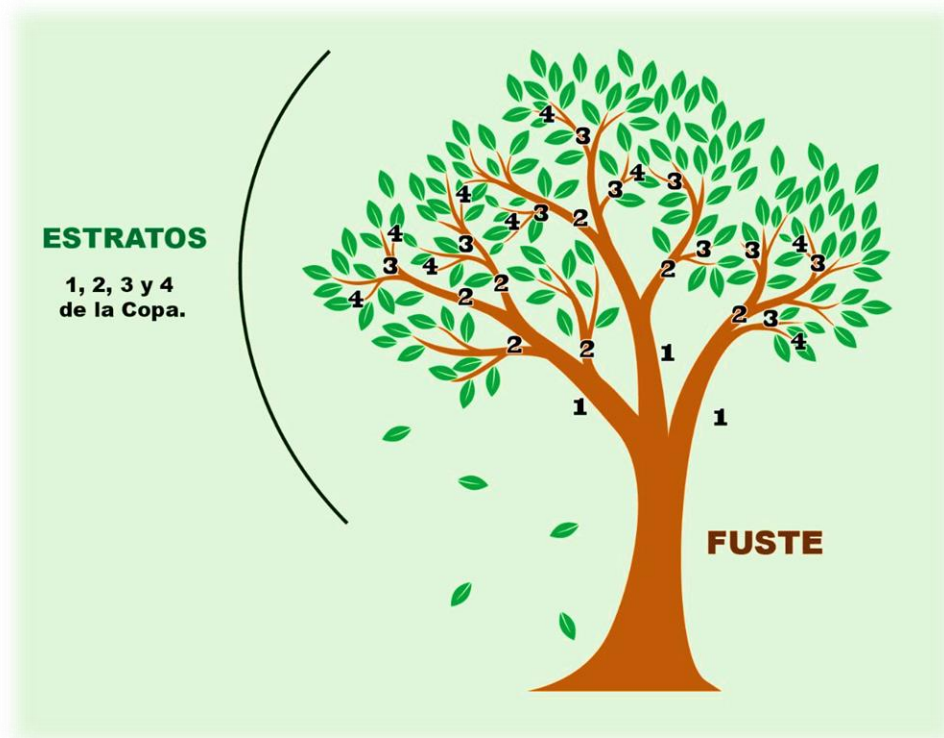


Figura 4. Distribución del árbol por estratos

Al determinar el coeficiente de forma de la guayaba, se calculó el volumen real de todas las ramas existentes en cada estrato y se estimó el volumen real que ocupa todo el árbol. Se determinó el volumen real del árbol entero y por estratos. Se determinó si existe tendencia a la concentración de la biomasa en uno o más estratos. Se confeccionaron gráficos y tablas que ayuden a la visualización de la supuesta concentración de biomasa.

Se determinó el volumen aparente de las copas, determinado por su diámetro y la altura media de las mismas que va desde la base al ápice. La finalidad fue relacionar el volumen aparente (materiales y huecos) con el volumen real del material contenido en la copa (madera, hojas y frutos).

El diámetro de la copa es un promedio de dos segmentos que se intersectan en el centro de la proyección de la copa formando un ángulo de 90°. El diámetro y la altura media de las copas darán diferentes modelos geométricos de volumen aparente que se relacionó con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa.

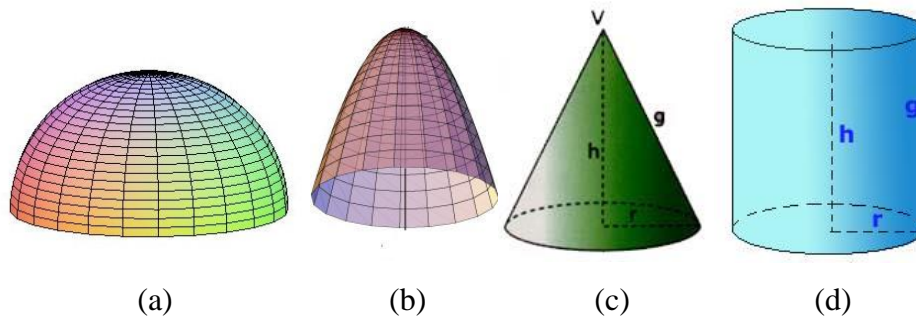


Figura 5. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada:

(a) Semi-elipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico (Borja Velázquez , 2006).

La relación entre el volumen aparente de la copa y el volumen real de las ramas existentes en el guayabo se denominó factor de ocupación (*FO*) que se expresó en la ecuación :

Ecuación 12.- Factor de ocupación.

$$FO = \frac{\text{Volumen real de copa}}{\text{Volumen aparente de copa}} \quad (12)$$

Conociendo el factor de ocupación, la altura del árbol junto con la superficie ocupada, se pudo determinar el volumen y la biomasa de todas las ramas del árbol analizado.

3.3.2. Caracterización de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava* L.) a través de un análisis físico-químico

Debido a la complejidad de los análisis, las muestras del material fueron enviadas por medio del correo institucional de la Universidad Técnica del Norte hacia el Laboratorio de Físicoquímica de la Universidad de Ciencias de la Vida en Praga República Checa. Para preparar el envío de las muestras se seleccionaron los tallos más gruesos, los cuales se trocearon en tarugos más pequeños con la ayuda de una cierra de banda industrial para disminuir la pérdida de material. La muestra fue empacada en fundas plásticas negras, selladas herméticamente y enviadas al laboratorio donde se realizaron los análisis; elemental, proximal y de poder calorífico.

Informe de análisis de laboratorio.

- El análisis elemental: reportó los porcentajes de los elementos que constituyen la biomasa, como son el oxígeno (O₂), carbono (C), hidrogeno (H), azufre (S) y nitrógeno (N). Para realizar estos análisis se empleó el determinador de Carbono /Hidrogeno/ Nitrógeno, LECO® 628 utilizando la norma ASTM D-5373. Y para determinar el porcentaje de azufre de la muestra se utilizó un espectrómetro marca: NITON® XRF 898, utilizando la norma ASTM D-4239.
- El análisis próximo: Contempló evaluar la humedad, el material volátil, y las cenizas. El equipo utilizado para este análisis fue un equipo TGA – METTLER TOLEDO® 8442. Para llevar a cabo este análisis se aplican las normas (ASTM E872-82, E1755-01).
- Poder Calorífico: El poder calorífico inferior (PCI) es la propiedad energética, química o termoquímica, fundamental para conocer la capacidad del material de generar energía mediante procesos termoquímicos. Se utilizó un Calorímetro IKA C-6000. Para llevar a cabo este análisis se aplican las normas (ASTM D5468-02, E711-87).

El análisis de contenido de humedad se lo realizó en el laboratorio de análisis químicos físicos y biológicos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de la Universidad Técnica del Norte posterior a la poda. El material debió ser sometido a un tratamiento diferente en el cual pierda un mínimo porcentaje de humedad inicial, para determinar con mayor exactitud la curva de secado.

- Para realizar este análisis el material de ramas de guayaba tuvo que ser cortado y triturado previamente, ya en el laboratorio se prepararon 3 muestras en recipientes separados con 100 g de material cada una obteniendo el peso húmedo (Ph). Posteriormente, se calentó la estufa eléctrica marca Memmert a una temperatura de 105°C donde se colocaron las muestras. Se volvieron a pesar cada dos horas hasta obtener un peso constante, determinando así la pérdida total de humedad (Ps) (ASTM E1756-01) (Viscarra, 1998).

La humedad de la muestra expresada en porcentaje se calculó utilizando la siguiente ecuación (Viscarra, 1998):

Ecuación 13 .- Porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad (13)$$

3.3.3. Medición del potencial energético de la biomasa de guayaba (*Psidium guajava* L.)

- **Área de estudio**

El trabajo se desarrolló en la comunidad de Rocafuerte al noroeste de la provincia de Imbabura una zona con aptitud agrícola y ganadera. La presencia de árboles de guayaba de regeneración natural es abundante dentro de potreros. También es evidente la presencia abundante de esta especie formando cercas vivas, las semillas se diseminan por las diferentes especies de aves, ganado bovino y el hombre (Escobar, 2005).

La guayaba es considerada una especie de regeneración natural, o silvestre en la zona de estudio, la última encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC menciona a la guayaba dentro de la categoría *árboles dispersos cosechados*, pero no contiene datos como densidad de árboles por hectárea, superficie de producción razón por la cual la presente investigación tuvo que adaptarse a la metodología que a continuación se describe.

- **Muestreo de la biomasa**

Conociendo la heterogeneidad en cuanto a la dispersión de la especie investigada, para estimar la cantidad de biomasa generada, se procedió a realizar conteos de árboles en 5 lotes al azar. Se aplicaron encuestas a los propietarios de parcelas en las que existía una considerable cantidad de árboles de guayaba, para estimar la superficie total destinada a la producción de este frutal.

Para estimar la muestra, fue necesario aplicar el método de *Análisis Clúster*, que es un procedimiento estadístico multivariante que comienza con una serie de datos, que contienen información sobre una muestra de objetos e intenta reorganizarlas en grupos relativamente homogéneos (Muñuzuri et al, 2014). Es así que, mediante los clústers, se establecieron 3 superficies en donde se concentran la mayor densidad de árboles, encontrando de 10 a 12 individuos en cada una, en base a esto se definió la muestra de los 3 clústers.

Para determinar la cantidad de biomasa residual disponible, se trabajó con la muestra previamente establecida de los 3 clústers teniendo que evaluar 30 árboles, a los cuales, para favorecer la regeneración de ramas, la floración y fructificación, se les realizó podas de mediana intensidad, de los siguientes tipos (Quijada et al, 2009):

- La poda de despunte consiste en eliminar de 10 a 15 cm desde el ápice de las ramas en toda la copa de la planta.

- La poda central consiste en eliminar las ramas de la parte central de la planta, dejando solo las ramas laterales.
- La poda fitosanitaria de clareo donde se debe eliminar ramas agotadas, secas, mal formadas y/o dañadas.

Se podaron 6 árboles por día, el proceso total se lo llevó a cabo durante cinco días con el apoyo de tres operarios. Según la bibliografía citada se recomienda realizar de dos a tres podas al año (Quijada et al, 2009).

- **Localización de los recursos**

Frente a la falta de información local disponible se aplicaron encuestas a los propietarios de las fincas donde se observó gran densidad de árboles de guayaba y a otros informantes calificados. Se obtuvieron las coordenadas de ubicación de los predios, realizando polígonos de ubicación de los mismos para determinar con más exactitud la superficie exacta destinada a los cultivos silvestres de guayaba.

- **Cálculo de la cantidad de recurso y capacidad energética**

Con la información obtenida en etapas anteriores se calcularon los siguientes parámetros:

Índice de Productividad: calculado como producto obtenido por hectárea (toneladas) en promedio en la zona.

Superficie total cultivada en hectáreas: se calculó el promedio de la superficie basado en las encuestas realizadas (Manrique et al, 2008).

Energía potencial disponible en la zona: su potencial energético puede ser determinado por un modelo matemático definido como el producto entre: peso seco del residuo, número árboles por hectárea, total de hectáreas y poder calorífico inferior, se elaboró la siguiente ecuación:

Ecuación 14 .- Determinación del potencial energético

$$PE = [Pbr * N] * Th * PCI \quad (14)$$

Donde:

PE = Potencial energético (J)

Pbr = Peso seco biomasa residual (kg)

N = Numero de árboles/ha

Th = Total hectáreas

PCI = Poder calorífico inferior (J/g)

CAPÍTULO IV

4. Resultados y discusión

El estudio se estructuró en 4 partes:

- Estudio dendrométrico de ramas.
- Análisis de la biomasa de la planta entera.
- Caracterización física química de la biomasa en laboratorio.
- Medición del potencial energético de la biomasa residual de guayaba.

4.1. Estudio dendrométrico de ramas de guayaba

El objetivo del estudio dendrométrico de la guayaba, sirve para determinar el volumen de sus ramas en lo que respecta a su longitud y diámetro. Para ello se muestra el análisis unidimensional de las variables medidas en 30 ramas.

La Tabla 7 muestra el análisis estadístico de volumen real de la rama, volumen modelo, diámetro de la base y longitud, incluye medidas de tendencia central, de variabilidad y de forma. De particular interés están la asimetría estandarizada y la curtosis estandarizada, valores que estuvieron dentro del rango (-2 y +2) los cuales demuestran que tienen una distribución normal de Gauss.

Tabla 7. Resumen estadístico de los parámetros estudiados en las ramas

| | Volumen real (VR) [cm ³] | Volumen modelo (Vm) [cm ³] | Diámetro base (Db) [cm] | Longitud de la rama (L) [cm] |
|--------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|------------------------------|
| Media | 362,34 | 1025,44 | 2,42 | 218,13 |
| Desv. Típica | 110,39 | 304,50 | 0,30 | 22,10 |
| Coef. De Curtosis | 0,98 | 0,16 | 0,40 | -0,67 |
| Coef. de Asimetría | 1,60 | 0,41 | -1,36 | 0,77 |
| Máximo | 669,16 | 1690,51 | 2,93 | 262,00 |
| Mínimo | 205,12 | 493,98 | 1,75 | 184,00 |

Para el análisis de forma de la rama se evaluó el factor de forma, que fue la relación entre el volumen real y los diferentes volúmenes modelos, tales como: el cilindro, el paraboloides, el cono y el neiloide, obtenidos a partir de la base y la longitud de la rama. El factor de forma más cercano a uno (1) fue el que mejor representa su forma. Como se puede observar en la tabla 8, el modelo que proporcionó el volumen más próximo al real fue el cono (1,08).

Tabla 8. Cálculo de factores de forma en base a modelos geométricos estudiados

| | F cilindro | F paraboloides | F cono | F neiloide |
|-----------------|------------|----------------|--------|------------|
| Media | 0,36 | 0,72 | 1,08 | 1,44 |
| Desviación tip. | 0,05 | 0,11 | 0,16 | 0,22 |

Posteriormente se realizó un análisis de correlación entre cada par de variables a partir del coeficiente de Pearson, el rango de estos coeficientes de correlación va de (-1 a +1) y miden la fuerza de relación lineal entre las variables.

Como se evidencia en la Tabla 9, la relación entre la longitud de la rama y diámetro de la base fue débil, presenta un coeficiente de Pearson de (0,48). Esto significa que el diámetro de las ramas no ayudaría a predecir su longitud o viceversa, es decir las variables no tienen una buena correlación. Por otro lado, se evidencia que las demás correlaciones entre variables presentan un coeficiente de Pearson cercano a uno (1) razón por la cual su correlación ayudaría a hacer pronósticos o relacionar las variables.

Tabla 9. Análisis de la relación lineal entre variables

| | Volumen real [cm ³] | Volumen modelo [cm ³] | Diámetro de la base [cm] | Longitud de la rama [cm] |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Volumen real [cm ³] | 1 | 0,83 | 0,74 | 0,70 |
| Volumen modelo [cm ³] | | 1 | 0,93 | 0,73 |
| Diámetro de la base [cm] | | | 1 | 0,48 |
| Longitud de la rama [cm] | | | | 1 |

A continuación, se analizó un modelo de cálculo del volumen real de la rama a partir de un modelo de regresión múltiple. Las variables explicativas presentan p-valores menores a 0,05 lo que le dio una significación del 99%. Se obtuvo un modelo de

cálculo del volumen real de la rama a partir de un proceso de regresión múltiple, que sintetiza el conjunto de datos.

En la Tabla 10, se detalla la ecuación; en donde, la variable dependiente fue: VR, volumen real (cm³); las variables independientes, fueron: Db, el diámetro de la base (cm) y L, Longitud de la rama (cm).

Tabla 10. Modelo de regresión para las ramas de la guayaba

| Ecuación | EMA [cm ³] | r ² [%] | P-Valor |
|---|------------------------|--------------------|---------|
| $VR = 9,69216 + 0,268298 \times Db^2 \cdot L$ | 32,2146 | 96,17 | < 0,05 |

EMA: error medio absoluto

r²: coeficiente de determinación

VR: Volumen de la rama

L: Longitud

Db: Diámetro de la base

El coeficiente de determinación r² indica que el modelo explica un 96,17 % de la variabilidad en VR, porcentaje considerado alto. Estos resultados son corroborados por Pacheco (2014), quien en el cálculo de modelos volumétricos en *Prunus pérsica* obtiene un coeficiente de determinación de 93%.

4.1.1. Análisis de la biomasa de la planta entera

En esta parte se analizó la distribución de la biomasa por estratos, para calcular el volumen de la parte leñosa de la planta entera y por cada uno de los estratos de los árboles de guayaba.

En la Tabla 11, se indican los datos del diámetro medio, longitud media y volumen de las ramas que ocupan cada estrato. El volumen ocupado por cada una de las ramas en los diferentes estratos fue calculado a partir de la aplicación de las funciones de volumen anteriormente obtenidas.

En la Tabla 11 se presenta la distribución de biomasa en la planta de guayaba, observándose la más baja concentración de biomasa en el primer estrato (11,48%), debido a que porta un reducido número de ramas y no tiene ocurrencias. La suma de los estratos restantes 2 (17,58%), 3 (18,88%), y 4 (18,12%) aportaron la mayor cantidad de biomasa (66%) en la distribución del árbol de guayaba. El fuste presento el (33,9%) de biomasa porcentaje considerado alto debido a que presenta una medida promedio de altura desde la primera ramificación al suelo (Hcs) mayor a un metro (103 cm) y un diámetro de tronco promedio de (11,43 cm). Todos estos resultados se indican en Figura 6.

Tabla 11. Promedios de la biomasa de ramas por estratos

| | Diámetro de la base [cm] | Longitud [cm] | Volumen real [cm ³] |
|-----------|-----------------------------|------------------|------------------------------------|
| Estrato 1 | 7,57 | 73,62 | 116419,47 |
| Estrato 2 | 5,12 | 75,97 | 178235,94 |
| Estrato 3 | 2,85 | 82,90 | 191401,10 |
| Estrato 4 | 1,50 | 63,50 | 183723,46 |

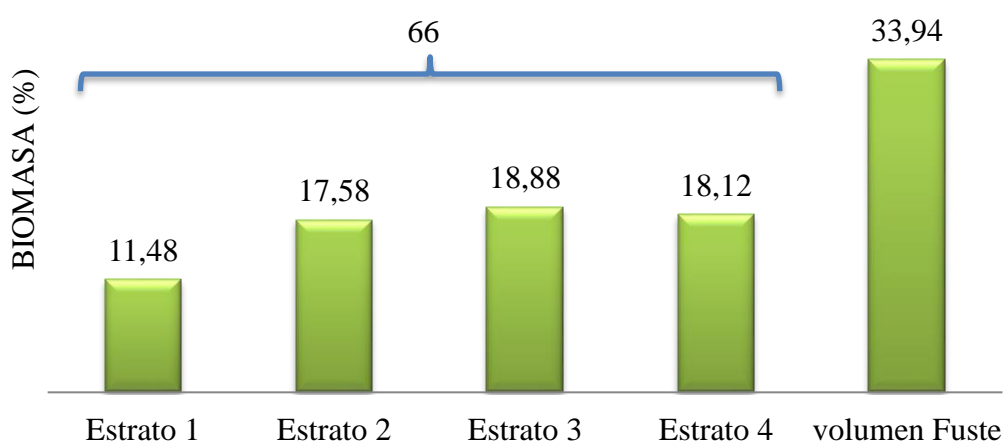


Figura 6. Distribución de biomasa según estratos y fuste

En la Tabla 12, se presenta el análisis estadístico descriptivo de las dimensiones de los árboles estudiados y el volumen total calculado por árbol que fue de: 33,60 dm³ o 0,03 m³. Esta tabla muestra el resumen estadístico para las diferentes variables; volumen real de la planta entera, volumen aparente del modelo cilíndrico, diámetro de copa, diámetro de tronco, altura de la planta, altura del suelo a la copa, y factor de ocupación.

Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están la asimetría estandarizada y la curtosis estandarizada, valores que estuvieron dentro del rango (-2 y +2) los cuales demuestran que tienen una distribución normal de Gauss.

Tabla 12. Resumen estadístico de los parámetros estudiados de la planta entera

| | Media | Desv. típica | Coef. de Curtosis | Coef. de asimetría | Máximo | Mínimo |
|---|--------|--------------|-------------------|--------------------|--------|--------|
| Volumen real de la planta entera [dm ³] | 33,60 | 18,90 | -0,79 | -0,09 | 85,12 | 11,67 |
| Volumen aparente [cm ³] | 100,79 | 47,15 | -1,18 | -0,08 | 183,8 | 19,19 |
| Diámetro de copa [cm] | 498,77 | 112,35 | -0,23 | -1,23 | 662,0 | 260,0 |
| Diámetro de tronco [cm] | 11,21 | 2,05 | 1,11 | 1,89 | 17,0 | 8,7 |
| Altura de planta[cm] | 457,43 | 80,73 | -0,55 | -0,87 | 588,0 | 285,0 |
| Altura del suelo a la copa[cm] | 103,61 | 37,97 | -0,29 | -0,19 | 176,0 | 24,0 |
| Factor de ocupación[cm ³] | 425,80 | 186,62 | -0,21 | 1,61 | 849,36 | 192,15 |

La Tabla 13 indica el modelo matemático de predicción del volumen de biomasa de la planta entera, a partir de un proceso de regresión múltiple, que sintetiza el conjunto de datos, en donde la variable dependiente fue: VT, volumen total (cm³); las variables independientes, fueron: Dt, el diámetro de tronco (cm), Dc diámetro de copa (cm) y Ht, altura total del árbol (cm).

Esta función fue de enorme utilidad práctica ya que, a través de su aplicación, permite conocer la biomasa total de un árbol de guayaba. Se observa que el p-valor en la tabla

es inferior a 0,05 existiendo una relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de credibilidad del 99% del modelo presentado.

El coeficiente de determinación (r^2) obtenido fue relativamente bajo, con un 63% debido a que la especie estudiada presenta características de un cultivo silvestre en lugar de una plantación frutícola, también existió una enorme influencia de los factores climáticos como: los suelos, disponibilidad de nutrientes, y sobre todo las condiciones de manejo, los cuales proporcionaron una gran variabilidad, los coeficientes de determinación exigibles debieron tener alrededor del 95%.

Tabla 13. Modelo de regresión para la predicción de biomasa de planta entera

| Ecuación | EMA[cm^3] | r^2 [%] | p-Valor |
|---|---------------|-----------|---------|
| $VT = -50073 + 30957 \times Ht$ $+ 61,7487 \times Dc$ $+ 3165,16 \times Dt$ | 7589,4 | 63,22 | < 0,05 |

EMA: error medio absoluto

r^2 : coeficiente de determinación

VT: Volumen total

Dt: Diámetro de tronco

Dc: Diámetro de copa

Ht: Altura total

Por último, en la Tabla 14, se presenta el valor medio y desviación típica del factor de ocupación (FO) de la especie, siendo 4,26 dm^3 y 2,9 dm^3 respectivamente. Este factor es la relación entre el volumen real del material lignocelulósico de la planta (en cm^3) y su volumen aparente (en dm^3). El volumen aparente es el de un modelo geométrico calculado a partir de su diámetro de copa y su altura total, generalmente el cilindro. Este cilindro teórico está formado por las ramas y los huecos existentes entre ellas. Los valores de FO suponen un factor de conversión para obtener el volumen real a partir del cálculo del volumen mediante el modelo del cilindro.

Tabla 14. Factor de ocupación de los árboles estudiados

| | V real [cm ³] | D. copa [m] | Ht [m] | V aparente [cm ³] | FO [cm ³] |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------|---|---------------------------------|
| Árbol 1 | 30345,99 | 5,54 | 4,72 | 113,78 | 266,72 |
| Árbol 2 | 39205,94 | 6,62 | 5,34 | 183,80 | 213,31 |
| Árbol 3 | 56023,41 | 5,5 | 5,11 | 121,41 | 461,46 |
| Árbol 4 | 40954,53 | 5,39 | 5,03 | 114,77 | 356,83 |
| Árbol 5 | 18012,03 | 3,86 | 3,96 | 46,34 | 388,69 |
| Árbol 6 | 113294,15 | 6,46 | 4,75 | 155,69 | 727,71 |
| Árbol 7 | 62643,76 | 6,12 | 5,88 | 172,97 | 362,17 |
| Árbol 8 | 54426,54 | 6,6 | 5,12 | 175,17 | 310,71 |
| Árbol 9 | 49266,66 | 4,7 | 5,36 | 92,99 | 529,79 |
| Árbol 10 | 18898,69 | 5 | 4,4 | 86,39 | 218,75 |
| Árbol 11 | 23790,01 | 4,42 | 4,75 | 72,88 | 326,41 |
| Árbol 12 | 48543,53 | 4,75 | 5,29 | 93,74 | 517,84 |
| Árbol 13 | 28347,36 | 4,43 | 7,5 | 115,60 | 245,22 |
| Árbol 14 | 85122,47 | 3,94 | 4,48 | 54,62 | 1558,41 |
| Árbol 15 | 29722,91 | 6,4 | 4,8 | 154,42 | 192,49 |
| Árbol 16 | 47535,60 | 5,76 | 5,68 | 148,01 | 321,17 |
| Árbol 17 | 50379,68 | 6,2 | 4,1 | 123,78 | 407,00 |
| Árbol 18 | 16247,76 | 2,6 | 3,87 | 20,55 | 790,76 |
| Árbol 19 | 18170,17 | 5,1 | 5,84 | 119,30 | 152,31 |
| Árbol 20 | 18770,65 | 5,2 | 4,6 | 97,69 | 192,14 |
| Árbol 21 | 9643,01 | 2,85 | 2,66 | 16,97 | 568,26 |
| Árbol 22 | 8825,72 | 3,55 | 3,35 | 33,16 | 266,17 |
| Árbol 23 | 11909,40 | 6,05 | 5,18 | 148,91 | 79,98 |
| Árbol 24 | 13994,52 | 3,75 | 3,5 | 38,66 | 362,02 |
| Árbol 25 | 11673,08 | 2,65 | 3,48 | 19,19 | 608,17 |
| Árbol 26 | 8544,72 | 2,12 | 2,85 | 10,06 | 849,36 |
| Árbol 27 | 17544,69 | 5,54 | 4,77 | 114,98 | 152,59 |
| Árbol 28 | 42575,27 | 5,1 | 4,17 | 85,19 | 499,79 |
| Árbol 29 | 15366,29 | 5,16 | 3,2 | 66,92 | 229,63 |
| Árbol 30 | 24041,24 | 3,3 | 4,5 | 38,49 | 624,63 |
| Media | 33793,99 | 4,82 | 4,61 | 94,55 | 426,02 |
| Desviación | 24279,72 | 1,28 | 1,01 | 51,61 | 290,20 |

4.2. Caracterización físico-química de la biomasa en laboratorio

4.2.1. Contenido de humedad y curva de secado

El contenido de humedad de las muestras recién cortadas y procesadas se obtiene a partir de la diferencia entre el peso en estado húmedo o peso inicial, y el peso final después de haber secado las muestras en estufa a una temperatura de 105° C. En la Tabla 15 observamos este proceso con tres repeticiones siendo 38,2 % el valor promedio de humedad.

Tabla 15. Porcentaje de humedad

| Muestra | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Media |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Peso inicial [g] | 100 | 100 | 100 | 100,0 |
| Peso final [g] | 61,8 | 61,6 | 61,4 | 61,7 |
| Porcentaje de humedad [%] | 38,2 | 38,4 | 38,1 | 38,2 |

En la figura 7, muestra la curva de secado, se evidencia una mayor intensidad de evaporación durante las dos primeras horas, durante la tercer y cuarta hora la velocidad de secado decrece. A partir de la sexta hora se registran pesos constantes demostrando la ausencia de humedad.

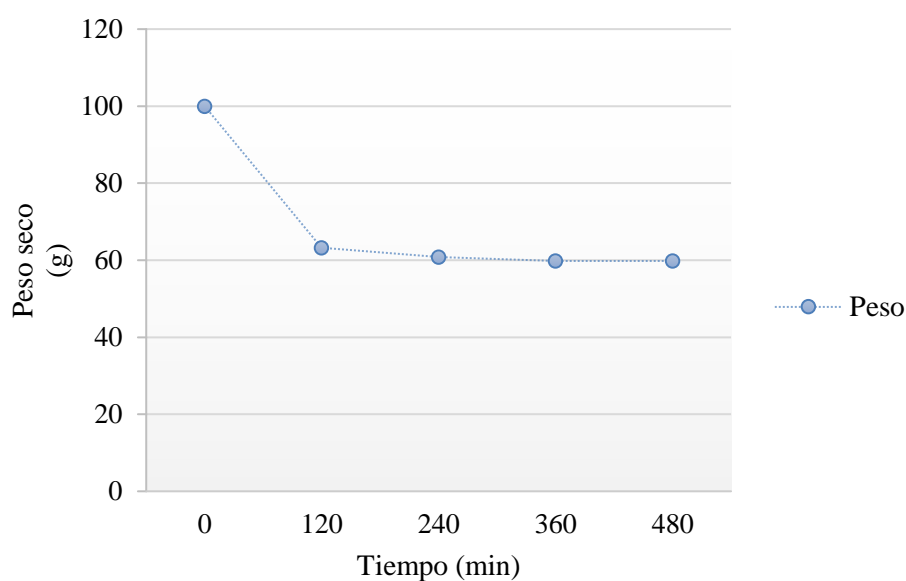


Figura 7. Curva de secado de biomasa de guayaba

4.2.2. Análisis elemental

En la Tabla 16 se indica los porcentajes de elementos orgánicos con mayor presencia en la biomasa de guayaba, y se hace una comparación con los porcentajes de referencia, descritos para tipos similares de biomasa.

El carbono e hidrógeno presentan concentraciones estimadas dentro de los límites de referencia. Por el contrario, los porcentajes de nitrógeno están presentes en cantidades inferiores lo que podría reflejarse en problemas con el crecimiento de las hojas, tallos, y resistencia a las plagas. El bajo contenido de azufre se traduce como algo positivo, ya que si se somete este tipo de biomasa a procesos de combustión directa no produciría emisiones de dióxido sulfuroso (San Miguel & Gutiérrez, 2015).

Tabla 16. Composición elemental

| Elemento | % experimental | % pino* | % de referencia* |
|-----------|----------------|---------|------------------|
| Carbono | 49,64 | 51,8 | (45-50%)* |
| Hidrógeno | 5,99 | 6,3 | (5,5 - 6,5%)** |
| Nitrógeno | 0,68 | 0,1 | (1,5 – 5%)** |
| Azufre | 0,06 | 0 | (< 0,1%)** |

* (Yokoyama, 2008), **(Marín et al, 2015).

La Tabla 17 indica la presencia de elementos como: Ca, Si, K, y Cl que son importantes y benéficos en el crecimiento de las plantas, aunque no son necesarios en grandes cantidades (San Miguel & Gutiérrez, 2015), (Marín et al, 2015).

Tabla 17. Otros elementos

| Elemento | % experimental | % de referencia* |
|----------------|----------------|------------------|
| Silicio (Si) | 0,213 | |
| Calcio (Ca) | 1,155 | |
| Cloro (Cl) | 0,226 | |
| Fosforo (P) | 0,036 | |
| Potasio (k) | 2,137 | |
| Molibdeno (Mo) | 0,002 | |
| Cadmio (Cd) | 0,003 | |
| Antimonio (Sb) | 0,003 | |
| Total | 3,842 | |

*(Marín et al, 2015)

4.2.3. Análisis proximal y poder calorífico

En la tabla 18 se describe los resultados obtenidos expresados en porcentaje (%) cabe recalcar que las pruebas fueron realizadas en estado seco, y se establece que el contenido de humedad es < 10%. El bajo contenido de cenizas señala que el material es apto para utilizarse con aditivos como parafina para mejorar su poder calorífico y ser usado como pellets y briquetas en procesos de combustión directa (Velázquez, 2006).

Tabla 18. Resultados del análisis proximal de la biomasa de guayaba

| Pruebas | Promedios [%] |
|------------------|---------------|
| Humedad | 9,80 % |
| Cenizas | 3,74% |
| Material volátil | 77,43% |
| Carbono fijo | 9,03% |
| PCI | 18,424 [J/g] |

La materia orgánica se obtiene cuando en contenido de cenizas se resta de la materia seca total, ya que el valor energético de la ceniza es cero. Una gran cantidad de materia orgánica y un bajo contenido de cenizas se traduce como un alto poder calorífico, que es una potencial fuente de energía. En la tabla 19, se puede observar los diferentes tipos de biomasa y la relación directa que tiene el contenido de cenizas con el poder calorífico (Yokoyama, 2008).

Tabla 19. Tipos de biomasa, características y poder calorífico

| Categoría | Tipo de biomasa | Humedad [%] | Materia orgánica [%] | Cenizas [%] | PCI [MJ/dry-kg] |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------|-------------|-----------------|
| Plantas leñosas | <i>Psidium guajava</i> L. | 30-60 (38) | 96,3 | 3,7 | 18,4 |
| | <i>Eucalyptus</i> | 30-60 | 97,6 | 2,4 | 18,7 |
| | <i>Populus alba</i> L. | 30-60 | 99,0 | 1,0 | 19,5 |
| Plantas herbáceas | <i>Sorghum spp.</i> | 20-70 | 91,0 | 9,0 | 17,6 |
| | <i>Pennisetum clandestinum</i> | 30-70 | 89,9 | 10,1 | 18,0 |
| Plantas acuáticas | <i>Chlorophyta</i> | 85-97 | 54,2 | 45,8 | 10,3 |
| | <i>Eichhornia crassipes</i> | 85-97 | 77,3 | 22,7 | 16,0 |
| Derivados | Papel | 3-13 | 94,0 | 6,0 | 17,6 |
| Carbón | Illinois | 5-10 | 91,3 | 8,7 | 28,3 |

(Yokoyama, 2008)

4.3. Medición del potencial energético de la biomasa de guayaba

4.3.1 Muestreo de biomasa

La Tabla 20, detalla los resultados obtenidos luego de los conteos de árboles realizados, fueron cinco las repeticiones, obteniendo una media de 120 árboles por hectárea. Este resultado se ajusta a las características heterogéneas en cuanto a la distribución espacial de la especie, los árboles tienen una separación aproximada de 9 x 9 m. Se debe recalcar que en el presente estudio se tomaron en cuenta, únicamente a las poblaciones de mayor densidad de árboles, más no a los árboles con mayor dispersión, ni aquellos que conforman parte de cercas vivas.

Tabla 20. Conteo de árboles, número de árboles por hectárea

| Área | Árboles |
|--------|---------|
| Lote 1 | 115 |
| Lote 2 | 123 |
| Lote 3 | 125 |
| Lote 4 | 97 |
| Lote 5 | 140 |
| Media | 120 |

En la Tabla 21 muestra los resultados de la poda que se realizó a la muestra establecida de 30 árboles. Se detalla el valor total y promedio de los pesos expresados en kg de ramas y hojas por separado, y luego el total del residuo húmedo y seco.

Tabla 21. Biomasa residual disponible

| 30 Árboles | Peso Ramas [kg] | Peso Hojas [kg] | RHT [kg] | RST [kg] |
|------------|--------------------|--------------------|-------------|-------------|
| Total | 296,63 | 135,85 | 432,48 | 266,96 |
| Media | 9,89 | 4,53 | 14,42 | 8,90 |

La biomasa residual estuvo constituida por el 31% de hojas y el 69% de ramas como indica la figura 8. Las características similares de los residuos permitieron definir al conjunto de estos como biomasa residual total.

■ Peso Ramas ■ Peso Hojas

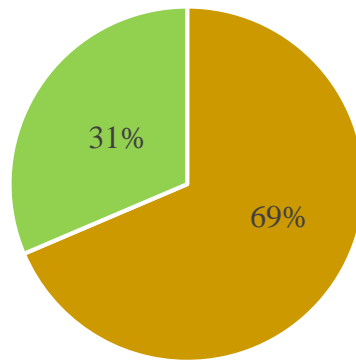


Figura 8. Distribución de la biomasa residual

Después de haber determinado el contenido de humedad de la biomasa residual, se pudo obtener el peso seco del material que es el residuo de interés energético aprovechable. La figura 9 indica los valores del residuo húmedo y seco siendo 8,9 kg el valor aprovechable por árbol.

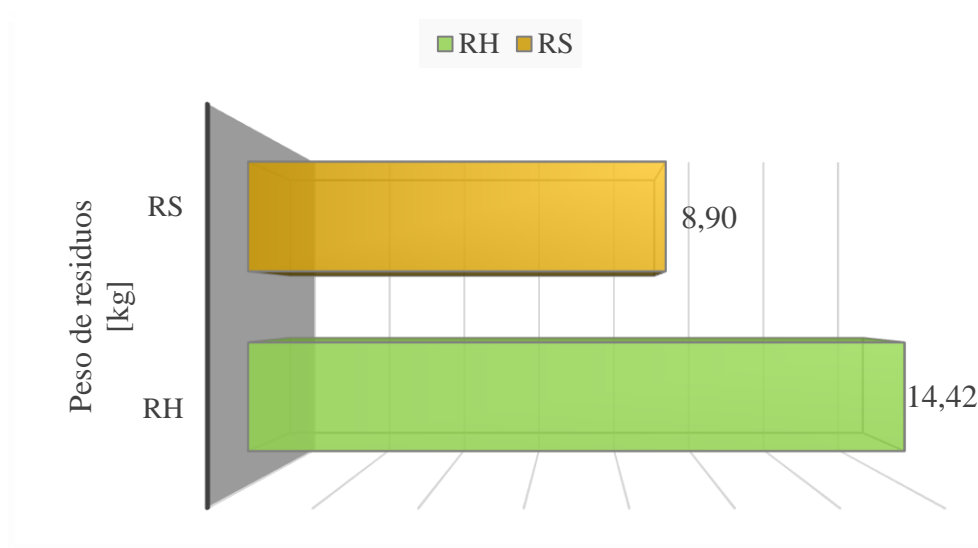


Figura 9. Peso de residuos húmedo y seco

Habiendo obtenido 8,9 kg de residuo aprovechable por árbol, se pudo determinar la cantidad de residuo generada por hectárea de cultivo, y a su vez la cantidad total de residuo potencialmente aprovechable dentro en la zona de estudio, estos datos se detallan en la Tabla 22.

Tabla 22. Biomasa potencial disponible

| Peso/árbol [kg] | Peso/muestra [kg] | Peso/hectárea [kg] | Peso total [kg] |
|--------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| 8,9 | 266,96 | 1068 | 86508 |

4.3.2. Potencialidad energética de los recursos

Luego del trabajo de campo, se estimó una superficie promedio total de 81 hectáreas con mayor densidad de la especie. Además, se observó la existencia de poblaciones dispersas distribuidas en pastizales y cercas vivas, a lo largo de la comunidad.

De las 346,71 ha que tiene Rocafuerte, el 23 % de su superficie corresponde al área de concentración de la especie estudiada.

La tabla 23 muestra la obtención de 86,51 toneladas por poda, asumiendo que al año se deben realizar tres podas, el total anual de biomasa residual disponible serían 259.53 toneladas de material seco. Al aplicar la ecuación 14, para la Determinación del potencial energético, se establece una disponibilidad de 442,73 kWh por poda, siendo 1328,19 kWh la disponibilidad total con las tres podas.

Tabla 23. Potencialidad energética del recurso

| Producción de Biomasa y Energía Potencial | | | | |
|---|--------|--------|---------|--------------|
| Parámetros | Poda 1 | Poda 2 | Poda 3 | Total, anual |
| Biomasa potencial disponible en la zona [tonelada seca/año] | 86,51 | 173,02 | 259,53 | 259,53 |
| Energía potencial disponible [kWh] | 442,73 | 885,46 | 1328,19 | 1328,19 |

4.3.3. Demanda local de energía.

La población de la comunidad Rocafuerte es de 200 habitantes aproximadamente 40 hogares. El consumo energético de una familia en las zonas rurales es de 25 kWh mes, considerando que es el promedio de consumo que garantiza soportar un adecuado programa de mantenimiento de la red (Aréstegui et al, 2014).

El consumo anual de la comunidad se estima en 12000 kWh, al determinar que los residuos estudiados generan 1328,19 kWh o 4781,48 MJ, se establece que esta biomasa alcanza a cubrir el 11% de la demanda energética.

Este recurso biomásico podría generar energía sostenible con el aprovechamiento del residuo y la transferencia tecnológica óptima para un proceso de combustión directa. Se podría generar un producto terminado del residuo de guayaba como son las briquetas y los pellets, que podrían sustituir el carbón mineral para la cocción y calefacción.

El aprovechamiento de los recursos estudiados podría traer beneficios económicos a los habitantes del sector, ya que representa un ahorro en el uso de combustibles fósiles, esto implicaría también un menor impacto ambiental en la zona, por el cese de las quemadas al aire libre de estos residuos y la contaminación del aire que esto implica. La biomasa estudiada se genera de manera continua, convirtiéndose en un recurso natural completamente renovable, y se encuentra disponible cerca de los lugares donde se podría realizar su aprovechamiento.

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Con el análisis dendrométrico de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) se determinó que, la forma y el volumen de las ramas en cada uno de los estratos se ajustan bien a una forma cónica. El volumen total calculado por árbol fue de 0,03 m³. La biomasa de la planta entera se distribuye de forma irregular, siendo en los cuatro estratos donde se concentra el 66% de la biomasa de la planta y el restante 33,95% se encontró en el fuste.
- Dentro de los análisis físico-químicos de guayaba (*Psidium guajava* L.), se reporta que el contenido de humedad es de 38,2 %, en cuanto a los resultados del análisis elemental se encuentran concentraciones de elementos como: C, H, N y S, dentro de los rangos de referencia. Recalcando que por la baja concentración de azufre no produciría emisiones contaminantes de dióxido sulfuroso. Mediante el análisis proximal y contenido energético se determinó que el bajo porcentaje de cenizas, alto contenido de materia orgánica y PCI indican que este residuo es apto para producir energía en procesos de combustión directa.
- En cuanto a la determinación del potencial energético, se establece que el mejor escenario para el aprovechamiento de biomasa, es realizar tres podas al año obteniendo 259,53 [tonelada seca], cantidad que a su vez generaría 1328,19 [kWh] o 4781,48 [MJ] siendo este el potencial energético.
- La presente investigación permitió determinar que el adecuado manejo del cultivo de guayaba genera una considerable cantidad de biomasa residual, sus características encontradas la hacen apta para la elaboración de pellets o briquetas que podrían sustituir al carbón mineral para la cocción y calefacción.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar con los estudios de cuantificación de biomasa en diferentes especies vegetales para aportar con investigaciones que permitan incrementar la producción científica tanto de la Carrera, como de la Facultad y la Universidad.
- Agilizar la instalación de los equipos de laboratorio en el nuevo parque tecnológico de la UTN, para continuar con estudios de esta índole que permita evaluar los aportes de otras fuentes de biomasa dentro de la región, a fin de crear una mejor oferta energética.
- Debido a que en periodos de fructificación, la guayaba es abundante y mayormente desaprovechada, se debería estudiar sus características como recurso generador de metano en futuras investigaciones.
- Se recomienda utilizar este tipo de recurso biomásico como materia prima para la elaboración de briquetas o pellets, que podrían sustituir el carbón mineral para la cocción y calefacción.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambiente, M. d. (1999). *Ley de Gestión Ambiental*. Quito: Registro Oficial.
- Ambiente, M. d. (2002). *Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito: Registro Oficial.
- Ambiente, M. d. (2003). *Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental*. Quito: Registro Oficial.
- Aréstegui, M., Escobar, R., Bonfiglio, G., & Tarnawiecki, D. (2014). *Promoción del uso productivo de la electricidad en zonas rurales de Cajamarca*. Lima: Soluciones Prácticas.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito: Registro Oficial 20 de Oct 2008.
- Ausuf, A., & Hilbert, J. (2012). *El uso de la biomasa de Origen Forestal con destino a la bioenergía en la Argentina*. Buenos Aires: Ediciones INTA publicaciones periódicas.
- Barrio, M., & Sixto, H., & Cañellas, I., & González, F. (2007). Sistema de cubicación con clasificación de productos para plantaciones de *Populus euramericana* (Dode) Guinier cv. 'I-214' en la meseta norte y centro de España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 16 (1), 65-75.
- Borja Velázquez, M. (2006). *Aprovechamiento de los residuos forestales para uso energético* (Tercera ed.). (U. P. Valencia, Ed.) Valencia. Recuperado el 20 de Febrero de 2016
- Butler Manning, D., Bemmann, A., Bredemeier, M., Lamersdorf, N., & Ammer, C. (2015). *Bioenergy from Dendromas for the Sustainable Development of Rural Areas*. Göttingen: Markono Print Media Pte Ltd, Singapore.
- Cabrera, M., Vera, A., Cornejo, J., Ordás, I., Tolosana, E., Ambrosio, Y., . . . Garraza, J. (2011). *Evaluación del Potencial de Energía de la Biomasa*. Madrid: IDAE.
- Cañadas, L. C. (1983). *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Quito: MAG-PRONAREG-Banco central del Ecuador.
- Cao, Q., & Burkhart, H., & Max, T. (1980). Evaluation of two methods for cubic-foot volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science* 26, 71-80.

- Cerdá, E. (2012). *Energía obtenida a partir de biomasa*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Cofré, L. (1983). Modelos Fustales. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 46 p.
- Costas, R., & Mac, P., & Weber, E., & Figueredo, S., & Gómez, C., & Irschick, P. (2006). Modelos predictivos de la producción de *Pinus taeda* empleando variables vinculadas con las podas. *Bosque* 27(2): 98-107.
- Ecuador, M. d. (2011). *RESERVA ECOLÓGICA COTACACHI – CAYAPAS*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Escalante, H., & Orduz, J. (2011). *Alas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Santander: Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- Escobar, W. (2005). *Evaluación de la colección de trabajo de guayaba *Psidium guajaba* L. del ICA-CORPOICA en Palmira*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Estornell, J., & Ruiz, A., & Velázquez, B., & Hermosilla, T. (2012). Estimation of biomass and volume of shrub vegetation using LiDAR and spectral data in a Mediterranean environment. *Biomass and Bioenergy*, 46: 710 – 721.
- FAO. (24 de 02 de 2014). *Deposito de documentos de la FAO*. Recuperado el 01 de 03 de 2016, de FAO org:
<http://www.fao.org/docrep/008/j0926s/j0926s06.htm>
- Fassola, E., & Crechi, E., & Keller, A., & Barth, S. (2007). Funciones de forma de exponente variable para la estimación de diámetros a distintas alturas en *Eucalyptus grandis*. Hill ex Maiden. Cultivado en La Mesopotamia Argentina.
- FOCER. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Biomasa*. San Jose: BUN-CA.
- García, I. M. (2010). *Guía técnica del cultivo de la guayaba*. San Salvador: centa.
- García, J., Machimura, T., & Matsui, T. (June de 2012). Optimizing Plant Allocation for Bioethanol Production from Agro-residues Considering CO2 Emission and Energy Demand-Supply Balance: A Case Study in Ecuador. *Energy Procedia*. doi:10.1007/s12649-012-9138-2
- Gibson, J. & Power, H. (2000). *Introductory Remote Sensing: Digital Image Processing and Applications*. Routledge, 249 p.

- González Arias, A. (Diciembre de 2008). Ciencia Pseudociencia y Bioenergía. *Revista Cubana de Física*, 25(1), 17-21. Recuperado el 22 de Febrero de 2016
- Higuera, C. (1994). Funciones de volumen y ahusamiento para roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst) y hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Kraser). Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 70 p.
- Hyypä, J., & Hyypä, H., & Leckie, D., & Gougeon, F., & Yu, X., & Maltamo, M. (2008). Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests, *International Journal of Remote Sensing*, 29 (5):1339-1366.
- Lencinas, M. &. (2002). *Incorporación de la altura dominante y la clase de sitio a ecuaciones estándar de volumen para Nothofagus antarctica (Forster f.) Oersted. Bosque (Valdivia)*. Valdivia: GPR P.
- Manrique, S., Franco, J., Núñez, V., & Seghezzo, L. (2008). *POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASA RESIDUAL DE TABACO Y AJÍ EN EL MUNICIPIO DE CORONEL MOLDES (SALTA-ARGENTINA)*. Salta: Universidad Nacional de Salta.
- Marín López, A., Hernández Rangel, E., & Florez Quintero, J. E. (2015). Metodología didáctica para el análisis de datos cualitativos en investigaciones orientadas al aprovechamiento de biomasa. *Novo Tékhne*, 1(especial). Recuperado el 20 de feb de 2015
- MEER. (17 de 10 de 2014). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*. Obtenido de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable: www.energia.gob.ec/direccion-de-bioamasa-y-coogeneracion/
- Mera V Marlon, R. F. (2010). *EL ROL DEL RECURSO FORESTAL EN EL DESARROLLO TURÍSTICO DE LA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Montero, G., & Ruiz, R., & Muñoz M. (2005). Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal n°. 13, 270 p.
- Mora, A., & Moret, A. (2001). *Evaluación de Métodos de Estimación para Ajustar*.

- Moret, A., & Jerez, M., & Mora, A. (1998). *Determinación de Ecuaciones de Volumen*.
- Muñuzuri Sanz, J., & Lara Albín, J. (2014). *Técnicas de Clusterización PFC*. Madrid.
- Newham, R. (1992). Variable-form taper functions for Alberta tree species, *Can. J. For. Res.* 22: 210-223.
- ONU. (1990). *Protocolo de Kyoto*. Brasilia: ONU.
- Peng, H. (2000). Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management*, 132 (2000) 259-279.
- Prodan, M. &. (1997). *Mensura Forestal. IICA-BMZ/GTZ*. San José - Costa Rica: AgEng CIGR.
- Quijada, O., Ramírez, R., Castellano, G., Camacho, R., & Burgos, M. (Noviembre de 2009). Tipos de poda y producción de guayabo (*Psidium guajava* L.) en el municipio Baralt, estado Zulia, Venezuela. (I. N. Agrícolas, Ed.) *Revista UDO Agrícola*, 9(2), 304-311.
- Salas, C. &. (2005). Medición de diámetros fstaes con relascopio y forcipula finladesa: Efectos en la estimación de volumen.,. *Bosque (Valdivia)*, 26 (2), 81-90.
- San Miguel, G., & Gutiérrez, F. (2015). *Tecnología para uso y transformación de biomasa energetica*. Madrid: Ediciones Mundi-prensa.
- Schorfheide, F. (2000). Loss Function-Based evaluation of DSGE models. *Journal Of Applied Econometrics* 15: 645-670.
- Segura, M., & Andrade, H. (2008). ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería de las Américas* 46: 89-96.
- SENPLADES. (2009). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Quito - Ecuador: Seplades.gob.ec.
- Theil, H. (1950) "A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis" I, II and III, *Nederl.Akad. Wetensch. Proc.*, 53.
- Vanclay, J. (1994). *Modeling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forest*. CAB International, London, England. 312p.

- Velasquez, S. y. (2012). *Estimation and comparison of pruned biomass dependin on lacion an pruning practics applier in urband morusalba trees*. Valencia España : Ag Eng - CIGR.
- Viscarra, S. (1998). *Guía Práctica Para el Secado de Madera en Hornos*. Santa Cruz: BOLFOR.
- Walpole, E., & Myers, H. (1992). *Probabilidad y Estadística*". McGraw Hill. p.
- Yokoyama, S. (2008). *The Asian Biomass Handbook*. Tokyo: The Japan Instute of Energy.
- Zilio, M. I. (2008). Emisiones de dióxido de carbono en América Latina. Un aporte al estudio del cambio climático. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 136.
- Zimble, A., & Evans, L., & Carlson, C., & Parker, C., & Grado, C., & Gerard, D. (2003). Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne lidar. *Remote Sensing of environment* 87: 171-182.

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de campo, estudio factor de forma y funciones de volumen.

| Longitud (cm) | Diámetro rama 1 (cm) | Diámetro rama 2 (cm) | Diámetro rama 3 (cm) | Diámetro rama 4 (cm) | Diámetro rama 5 (cm) | Diámetro rama 6 (cm) | Diámetro rama 7 (cm) | Diámetro rama 8 (cm) |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | | |

Anexo 2. Hoja de campo, determinación del volumen total.

| | | Diámetro (cm) | Longitud (cm) | Ocurrencia | Volumen |
|-----------|--------|------------------|------------------|------------|---------|
| Estrato 1 | Rama 1 | | | | |
| Estrato 1 | Rama 2 | | | | |
| Estrato 1 | Rama 3 | | | | |
| Estrato 1 | Rama 4 | | | | |
| | | | | | |
| Estrato 2 | Rama 1 | | | | |
| Estrato 2 | Rama 2 | | | | |
| Estrato 2 | Rama 3 | | | | |
| Estrato 2 | Rama 4 | | | | |
| Estrato 2 | Rama 5 | | | | |
| | | | | | |
| Estrato 3 | Rama 1 | | | | |
| Estrato 3 | Rama 2 | | | | |
| Estrato 3 | Rama 3 | | | | |
| Estrato 3 | Rama 4 | | | | |
| Estrato 3 | Rama 5 | | | | |
| | | | | | |
| Estrato 4 | Rama 1 | | | | |
| Estrato 4 | Rama 2 | | | | |
| Estrato 4 | Rama 3 | | | | |
| Estrato 4 | Rama 4 | | | | |
| Estrato 4 | Rama 5 | | | | |

Anexo 3. Tabla con los datos iniciales de la investigación dendrométrica.

| MUESTRA/ ÁRBOL | ESPECIE | LOCALIDAD | diám, Tronco (cm) | diám, Copa (cm) | Altura copa al suelo (cm) | Altura del árbol (cm) | Año |
|-----------------------|----------------|------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------|
| 1 | Guayaba | Rocafuerte | 11,45 | 554 | 157 | 472 | 2014 |
| 2 | Guayaba | Rocafuerte | 10,94 | 662 | 176 | 534 | 2014 |
| 3 | Guayaba | Rocafuerte | 12,68 | 550 | 136 | 511 | 2014 |
| 4 | Guayaba | Rocafuerte | 13,83 | 539 | 110 | 503 | 2014 |
| 5 | Guayaba | Rocafuerte | 9 | 386 | 158 | 396 | 2014 |
| 6 | Guayaba | Rocafuerte | 22 | 646 | 120 | 475 | 2014 |
| 7 | Guayaba | Rocafuerte | 13,5 | 612 | 97 | 588 | 2014 |
| 8 | Guayaba | Rocafuerte | 18 | 660 | 122 | 512 | 2014 |
| 9 | Guayaba | Rocafuerte | 17 | 470 | 87 | 536 | 2014 |
| 10 | Guayaba | Rocafuerte | 9,32 | 500 | 90 | 440 | 2014 |
| 11 | Guayaba | Rocafuerte | 8,13 | 442 | 154 | 475 | 2014 |
| 12 | Guayaba | Rocafuerte | 13,68 | 475 | 114 | 529 | 2014 |
| 13 | Guayaba | Rocafuerte | 11,87 | 443 | 110 | 750 | 2014 |
| 14 | Guayaba | Rocafuerte | 10,7 | 394 | 90 | 448 | 2014 |
| 15 | Guayaba | Rocafuerte | 9,5 | 640 | 126 | 480 | 2014 |
| 16 | Guayaba | Rocafuerte | 13 | 576 | 85 | 568 | 2014 |
| 17 | Guayaba | Rocafuerte | 12,6 | 620 | 70 | 410 | 2014 |
| 18 | Guayaba | Rocafuerte | 8,75 | 260 | 75 | 387 | 2014 |
| 19 | Guayaba | Rocafuerte | 10 | 510 | 71 | 584 | 2014 |
| 20 | Guayaba | Rocafuerte | 11 | 520 | 96 | 460 | 2014 |
| 21 | Guayaba | Rocafuerte | 8,9 | 285 | 80 | 266 | 2014 |
| 22 | Guayaba | Rocafuerte | 8,5 | 355 | 112 | 335 | 2014 |
| 23 | Guayaba | Rocafuerte | 10,8 | 605 | 45 | 518 | 2014 |
| 24 | Guayaba | Rocafuerte | 9,7 | 375 | 40 | 350 | 2014 |
| 25 | Guayaba | Rocafuerte | 8,7 | 265 | 125 | 348 | 2014 |
| 26 | Guayaba | Rocafuerte | 8,2 | 212 | 95 | 285 | 2014 |
| 27 | Guayaba | Rocafuerte | 12 | 554 | 24 | 477 | 2014 |
| 28 | Guayaba | Rocafuerte | 8,7 | 510 | 146 | 417 | 2014 |
| 29 | Guayaba | Rocafuerte | 10 | 516 | 90 | 320 | 2014 |
| 30 | Guayaba | Rocafuerte | 10,5 | 330 | 100 | 450 | 2014 |

Anexo 4. Tabla en función de volúmenes de las ramas de guayaba.

| Ramas | VR | Db | L | Db2 | L2 | DbL | Db2*L | Vcilindro | V paraboloid | V cono | V neiloide | f cilindro | f paraboloid | f cono | f neiloide |
|--------|---------|------|-----|-------|-------|---------|---------|-----------|--------------|---------|------------|------------|--------------|--------|------------|
| Rama1 | 366,38 | 2,39 | 247 | 5,71 | 61009 | 589,97 | 1409,16 | 1106,75 | 553,38 | 368,92 | 276,69 | 0,33 | 0,66 | 0,99 | 1,32 |
| Rama2 | 268,13 | 2,17 | 215 | 4,69 | 46225 | 465,61 | 1008,32 | 791,93 | 395,97 | 263,98 | 197,98 | 0,34 | 0,68 | 1,02 | 1,35 |
| Rama3 | 209,11 | 1,75 | 205 | 3,07 | 42025 | 359,08 | 628,96 | 493,98 | 246,99 | 164,66 | 123,50 | 0,42 | 0,85 | 1,27 | 1,69 |
| Rama4 | 481,41 | 2,32 | 236 | 5,40 | 55696 | 548,66 | 1275,55 | 1001,82 | 500,91 | 333,94 | 250,45 | 0,48 | 0,96 | 1,44 | 1,92 |
| Rama5 | 258,72 | 1,97 | 186 | 3,90 | 34596 | 367,26 | 725,17 | 569,54 | 284,77 | 189,85 | 142,39 | 0,45 | 0,91 | 1,36 | 1,82 |
| Rama6 | 326,45 | 2,64 | 209 | 6,99 | 43681 | 552,45 | 1460,30 | 1146,92 | 573,46 | 382,31 | 286,73 | 0,28 | 0,57 | 0,85 | 1,14 |
| Rama7 | 459,95 | 2,87 | 262 | 8,22 | 68644 | 750,96 | 2152,42 | 1690,51 | 845,26 | 563,50 | 422,63 | 0,27 | 0,54 | 0,82 | 1,09 |
| Rama8 | 891,34 | 3,60 | 255 | 12,95 | 65025 | 917,68 | 3302,46 | 2593,75 | 1296,88 | 864,58 | 648,44 | 0,34 | 0,69 | 1,03 | 1,37 |
| Rama9 | 310,94 | 2,52 | 205 | 6,33 | 42025 | 515,76 | 1297,62 | 1019,15 | 509,58 | 339,72 | 254,79 | 0,31 | 0,61 | 0,92 | 1,22 |
| Rama10 | 347,28 | 2,61 | 225 | 6,82 | 50625 | 587,58 | 1534,44 | 1205,15 | 602,58 | 401,72 | 301,29 | 0,29 | 0,58 | 0,86 | 1,15 |
| Rama11 | 293,39 | 2,58 | 194 | 6,65 | 37636 | 500,45 | 1290,96 | 1013,92 | 506,96 | 337,97 | 253,48 | 0,29 | 0,58 | 0,87 | 1,16 |
| Rama12 | 377,35 | 2,45 | 201 | 6,01 | 40401 | 492,90 | 1208,70 | 949,31 | 474,66 | 316,44 | 237,33 | 0,40 | 0,80 | 1,19 | 1,59 |
| Rama13 | 205,12 | 1,78 | 212 | 3,18 | 44944 | 378,09 | 674,30 | 529,59 | 264,80 | 176,53 | 132,40 | 0,39 | 0,77 | 1,16 | 1,55 |
| Rama14 | 264,32 | 2,20 | 191 | 4,83 | 36481 | 419,71 | 922,30 | 724,37 | 362,19 | 241,46 | 181,09 | 0,36 | 0,73 | 1,09 | 1,46 |
| Rama15 | 502,02 | 2,68 | 242 | 7,16 | 58564 | 647,39 | 1731,87 | 1360,21 | 680,10 | 453,40 | 340,05 | 0,37 | 0,74 | 1,11 | 1,48 |
| Rama16 | 782,77 | 3,34 | 257 | 11,18 | 66049 | 859,39 | 2873,77 | 2257,06 | 1128,53 | 752,35 | 564,27 | 0,35 | 0,69 | 1,04 | 1,39 |
| Rama17 | 330,38 | 2,29 | 211 | 5,26 | 44521 | 483,82 | 1109,40 | 871,32 | 435,66 | 290,44 | 217,83 | 0,38 | 0,76 | 1,14 | 1,52 |
| Rama18 | 438,79 | 2,44 | 259 | 5,97 | 67081 | 632,65 | 1545,37 | 1213,73 | 606,87 | 404,58 | 303,43 | 0,36 | 0,72 | 1,08 | 1,45 |
| Rama19 | 174,40 | 2,05 | 162 | 4,22 | 26244 | 332,77 | 683,56 | 536,87 | 268,43 | 178,96 | 134,22 | 0,32 | 0,65 | 0,97 | 1,30 |
| Rama20 | 1078,89 | 3,73 | 277 | 13,88 | 76729 | 1032,13 | 3845,85 | 3020,53 | 1510,26 | 1006,84 | 755,13 | 0,36 | 0,71 | 1,07 | 1,43 |
| Rama21 | 411,02 | 2,58 | 217 | 6,65 | 47089 | 559,78 | 1444,01 | 1134,13 | 567,06 | 378,04 | 283,53 | 0,36 | 0,72 | 1,09 | 1,45 |
| Rama22 | 168,28 | 1,72 | 172 | 2,95 | 29584 | 295,25 | 506,81 | 398,05 | 199,02 | 132,68 | 99,51 | 0,42 | 0,85 | 1,27 | 1,69 |
| Rama23 | 413,72 | 2,42 | 233 | 5,86 | 54289 | 563,95 | 1364,97 | 1072,05 | 536,02 | 357,35 | 268,01 | 0,39 | 0,77 | 1,16 | 1,54 |
| Rama24 | 476,14 | 2,66 | 215 | 7,09 | 46225 | 572,42 | 1524,02 | 1196,97 | 598,48 | 398,99 | 299,24 | 0,40 | 0,80 | 1,19 | 1,59 |
| Rama25 | 256,90 | 2,17 | 184 | 4,69 | 33856 | 398,47 | 862,93 | 677,75 | 338,87 | 225,92 | 169,44 | 0,38 | 0,76 | 1,14 | 1,52 |
| Rama26 | 431,01 | 2,61 | 236 | 6,84 | 55696 | 617,06 | 1613,39 | 1267,16 | 633,58 | 422,39 | 316,79 | 0,34 | 0,68 | 1,02 | 1,36 |
| Rama27 | 361,53 | 2,41 | 214 | 5,80 | 45796 | 515,24 | 1240,50 | 974,29 | 487,15 | 324,76 | 243,57 | 0,37 | 0,74 | 1,11 | 1,48 |
| Rama28 | 169,20 | 1,75 | 178 | 3,06 | 31684 | 311,22 | 544,13 | 427,36 | 213,68 | 142,45 | 106,84 | 0,40 | 0,79 | 1,19 | 1,58 |
| Rama29 | 237,01 | 2,53 | 196 | 6,38 | 38416 | 494,99 | 1250,10 | 981,82 | 490,91 | 327,27 | 245,46 | 0,24 | 0,48 | 0,72 | 0,97 |
| Rama30 | 669,16 | 2,93 | 240 | 8,58 | 57600 | 703,18 | 2060,29 | 1618,15 | 809,07 | 539,38 | 404,54 | 0,41 | 0,83 | 1,24 | 1,65 |

Anexo 5. Tabla función volúmenes por estratos de la biomasa de guayaba.

| | Estrato 1 | Estrato 2 | Estrato 3 | Estrato 4 | Volumen fuste | Total |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|--------------|
| Arbol 1 | 2979,15 | 2214,54 | 1468,90 | 7517,45 | 16165,96 | 30345,99 |
| Arbol 2 | 3206,38 | 2965,24 | 11166,62 | 5323,78 | 16543,91 | 39205,94 |
| Arbol 3 | 6581,54 | 1822,30 | 17259,10 | 13186,60 | 17173,88 | 56023,41 |
| Arbol 4 | 4016,95 | 9787,37 | 3868,29 | 6757,44 | 16524,49 | 40954,53 |
| Arbol 5 | 1269,64 | 502,35 | 2857,55 | 3330,93 | 10051,55 | 18012,03 |
| Arbol 6 | 15904,00 | 39829,27 | 3126,30 | 8818,54 | 45616,03 | 113294,15 |
| Arbol 7 | 4294,89 | 1431,52 | 15406,07 | 27626,79 | 13884,50 | 62643,76 |
| Arbol 8 | 6392,19 | 4126,34 | 6323,06 | 6539,65 | 31045,29 | 54426,54 |
| Arbol 9 | 4981,27 | 2344,76 | 6514,02 | 15679,29 | 19747,31 | 49266,66 |
| Arbol 10 | 1694,27 | 1739,98 | 6714,56 | 2609,93 | 6139,96 | 18898,69 |
| Arbol 11 | 481,27 | 2443,47 | 6134,66 | 6736,09 | 7994,53 | 23790,01 |
| Arbol 12 | 2062,63 | 16995,13 | 4038,25 | 8691,62 | 16755,91 | 48543,53 |
| Arbol 13 | 3409,60 | 1315,66 | 2956,31 | 8493,15 | 12172,65 | 28347,36 |
| Arbol 14 | 7368,50 | 31537,80 | 30769,37 | 7353,96 | 8092,84 | 85122,47 |
| Arbol 15 | 1037,46 | 968,21 | 13146,59 | 5639,47 | 8931,18 | 29722,91 |
| Arbol 16 | 2038,41 | 3834,71 | 16021,27 | 14358,94 | 11282,27 | 47535,60 |
| Arbol 17 | 11800,65 | 11113,55 | 12515,86 | 6221,31 | 8728,31 | 50379,68 |
| Arbol 18 | 3440,73 | 4127,23 | 1839,72 | 2330,16 | 4509,91 | 16247,76 |
| Arbol 19 | 2967,77 | 2783,20 | 4470,06 | 2372,80 | 5576,34 | 18170,17 |
| Arbol 20 | 2175,25 | 2758,67 | 2487,13 | 2226,40 | 9123,21 | 18770,65 |
| Arbol 21 | 2583,81 | 576,93 | 761,13 | 744,22 | 4976,92 | 9643,01 |
| Arbol 22 | 964,73 | 143,47 | 486,94 | 875,12 | 6355,46 | 8825,72 |
| Arbol 23 | 1601,87 | 2322,27 | 1993,96 | 1868,89 | 4122,41 | 11909,40 |
| Arbol 24 | 921,40 | 1256,99 | 3516,18 | 5344,02 | 2955,93 | 13994,52 |
| Arbol 25 | 1297,23 | 460,14 | 781,48 | 1703,35 | 7430,87 | 11673,08 |
| Arbol 26 | 848,40 | 1076,68 | 755,55 | 847,11 | 5016,98 | 8544,72 |
| Arbol 27 | 7009,77 | 2202,59 | 2041,19 | 3576,80 | 2714,34 | 17544,69 |
| Arbol 28 | 4800,45 | 18723,64 | 7870,25 | 2501,68 | 8679,25 | 42575,27 |
| Arbol 29 | 3692,02 | 1576,79 | 1525,55 | 1503,33 | 7068,60 | 15366,29 |
| Arbol 30 | 4597,24 | 5255,13 | 2585,18 | 2944,65 | 8659,04 | 24041,24 |

Anexo 6. Certificación de los análisis de las muestras enviadas al laboratorio en Praga-Republica Checa.



Fakulta tropického zemědělství
Oddělení Vědy a výzkumu FTZ
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát
Tel.: +420 224382021, Fax+420 234381829

Praga, 06 de mayo de 2015

Certificación

Por medio del presente certifico que el Sr. Daniel Armas Espinel, portador de la Cédula 1003428735, estudiante del décimo semestre de la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, de la Universidad Técnica del Norte, envió 8 kilos de material parcialmente seco, trozado de la especie (*Psidium guajaba L.*) a estudiarse.

Los estudios que se realizarán en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agrícolas Tropicales, Universidad de Ciencias de la Vida, Praga, República Checa, contemplan la caracterización de las propiedades físico-químicas de la muestra, como son:

- Composición física: Involucra determinar en la sustancia su densidad aparente y real, la humedad y el color.
- Composición química: El análisis último o elemental: Reporta el porcentaje en peso de oxígeno (O₂), carbono (C), hidrógeno (H), azufre (S) y nitrógeno (N), contenido de carbono fijo, el material volátil, y las cenizas.
- Poder calorífico inferior (PCI).

Atentamente

Prof. Asoc. Dr. MS.c. Eloy Fernández C.
Docente
Facultad de Ciencias Agrícolas Tropicales
Universidad de Ciencias de la Vida
Praga, República Checa

Anexo 7. Informe de laboratorio con los resultados de los análisis elemental y proximal y poder calorífico.

Caracterización de Biomasa de Guayaba
(Psidium guajaba L)

Objetivos

- Determinar el Contenido de humedad, cenizas y material volátil de la muestra
- Determinar experimentalmente la composición centesimal de la muestra Biomasa de Guayaba (*Psidium guajaba L*) Carbono, Hidrogeno, Nitrógeno
- Determinar experimentalmente la composición centesimal de la muestra Biomasa de Guayaba (*Psidium guajaba L*) otros elementos
- Determinar el poder calorífico
- Colorimetría

Aparatos, instrumentos y materiales utilizados

- 60 gramos de Biomasa de Guayaba (*Psidium guajaba L*)
- Horno secador, Memmert serie 800-100
- Balanza de laboratorio, serie PCE-BS
- Determinador de Carbón /Hidrogeno/ Nitrógeno, Leco series 628
- Rayo XRF
- colorímetro Konica Minolta 600D
- Microespátula
- Embudo
- Vaso de Precipitado
- Pinzas - tenazas

Procedimiento del experimento

- Preparación de las muestras

Para el análisis elemental se debe tener la Biomasa pulverizada y secada

1. Con ayuda de las tenazas se parte la madera en pequeñas astillas



2. Se toma una parte de la muestra y se pulveriza



- Procedimientos

3. se colocan las dos muestras en el horno secador para retirar toda la humedad posible, aquí se obtiene el contenido de **humedad** de la muestra en astillas (Testing moisture content, simple method)



4. de la biomasa pulverizada y secada (con esta muestra se trabajara de aquí en adelante) se preparan tres (3) muestras de 1 gramo cada una, se analizan en el determinador Leco series 628 (se obtiene composición centesimal para Carbono, Hidrogeno y Nitrógeno)



5. Se irradian 40 miligramos de la muestra con Rayos fluorescentes UV. (con este procedimiento se obtiene el contenido de azufre y de otros elementos que serán mencionados en los resultados, tecnología utilizada XRF)
6. Para hallar la capacidad calorífica (PCI), se utilizó un calorímetro IKA C6000, las muestras fueron 3 de 1 gramo cada uno compactado (briqueta)



7. En la colorimetría se utilizaron las muestras completas, bajo condición de luz D65, Observación a 10 grados, tecnología utilizada colorímetro Konica Minolta 600D, resultados dados en espacio de color LAB específicamente CIE 1976 L*a*b*



Datos y Observaciones

| Elemento | Muestra | | | Average |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| N | 0,69592 | 0,68661 | 0,66257 | 0,6817 |
| C | 49,845 | 49,484 | 49,604 | 49,644 |
| H | 6,0106 | 5,9715 | 6,0036 | 5,9952 |

| Azufre, Fluorescencia UV de Combustión | | |
|--|-----------|-------|
| Muestra | Peso (mg) | % S |
| sample 1 | 20,0070 | 0,065 |
| sample 2 | 22,5360 | 0,062 |

| Estimacion de Asufre | | |
|----------------------|-----------|-------|
| Muestra | Peso (mg) | % S |
| sample 3 | 39,9640 | 0,064 |
| sample4 | 43,9650 | 0,060 |

| Concentraciones Relativas | |
|---------------------------|-------|
| Elemento | % |
| Fe | 0,000 |
| Si | 0,213 |
| Zn | 0,002 |
| Ca | 1,155 |
| Cl | 0,226 |
| P | 0,036 |
| S | 0,063 |
| K | 2,137 |
| Mo | 0,002 |
| Cr | 0,000 |
| Zr | 0,002 |
| Rh | 0,000 |
| Cd | 0,003 |
| Sb | 0,003 |

| Humedad | Cenizas | Material Volatil |
|---------|---------|------------------|
| 9,8 | 3,74 | 77,43 |
| | | base seca |
| | | % del peso |

| | |
|-----|----------|
| CPI | 18,424/g |
|-----|----------|

• Colorimetría


| sample | side | Shot | L*(D65) | a*(D65) | b*(D65) |
|----------|------|------|---------|---------|---------|
| Sample 1 | a | 1 | 73,36 | 4,1 | 16,21 |
| | | 2 | 73,42 | 4,09 | 16,21 |
| | | 3 | 73,04 | 4,13 | 16,07 |
| | b | 1 | 73,05 | 4,12 | 16,1 |
| | | 2 | 70,84 | 4,53 | 17,89 |
| | | 3 | 70,85 | 4,53 | 17,91 |
| Sample 2 | a | 1 | 73,79 | 4,01 | 16,15 |
| | | 2 | 73,8 | 4 | 16,16 |
| | | 3 | 73,66 | 4,08 | 17,03 |
| | b | 1 | 73,67 | 4,08 | 17,07 |
| | | 2 | 74 | 3,68 | 16,72 |
| | | 3 | 73,93 | 3,69 | 16,78 |
| Sample 3 | a | 1 | 75,31 | 3,67 | 16,59 |
| | | 2 | 75,24 | 3,67 | 16,65 |
| | | 3 | 76,64 | 3,65 | 17,09 |
| | b | 1 | 76,61 | 3,64 | 17,13 |
| | | 2 | 73,14 | 3,86 | 17,09 |
| | | 3 | 73,13 | 3,86 | 17,12 |
| Sample 4 | a | 1 | 75,35 | 3,66 | 16,09 |
| | | 2 | 75,34 | 3,67 | 16,11 |
| | | 3 | 74,66 | 3,8 | 17,21 |
| | b | 1 | 74,35 | 3,82 | 17,28 |
| | | 2 | 78,11 | 3,68 | 16,49 |
| | | 3 | 78,11 | 3,68 | 16,48 |
| Sample 5 | a | 1 | 76,25 | 3,83 | 15,85 |
| | | 2 | 76,24 | 3,81 | 15,88 |
| | | 3 | 76,18 | 3,58 | 15,89 |
| | b | 1 | 76,18 | 3,57 | 15,91 |
| | | 2 | 72,58 | 3,74 | 16,28 |
| | | 3 | 72,56 | 3,73 | 16,31 |
| Sample 6 | a | 1 | 74,88 | 3,88 | 17,39 |
| | | 2 | 74,85 | 3,89 | 17,44 |

| | | | | | |
|-----------|---|---|-------|-------|-------|
| | | 3 | 69,36 | 4,68 | 16,17 |
| | | 1 | 69,33 | 4,68 | 16,22 |
| | b | 2 | 63,76 | 5,8 | 17,25 |
| | | 3 | 63,75 | 5,81 | 17,27 |
| Sample 47 | a | 1 | 69,73 | 4,69 | 16,13 |
| | | 2 | 69,71 | 4,69 | 16,17 |
| | | 3 | 70,75 | 4,42 | 16,48 |
| | b | 1 | 70,71 | 4,42 | 16,52 |
| | | 2 | 59,21 | 6,89 | 19,87 |
| | | 3 | 59,16 | 6,91 | 19,95 |
| Sample 48 | a | 1 | 62,45 | 5,7 | 18,94 |
| | | 2 | 62,44 | 5,7 | 18,98 |
| | | 3 | 69,1 | 5,1 | 16,99 |
| | b | 1 | 69,09 | 5,09 | 17,03 |
| | | 2 | 71,28 | 4,36 | 16,5 |
| | | 3 | 71,28 | 4,36 | 16,52 |
| Sample 49 | a | 1 | 69,01 | 5,32 | 18,15 |
| | | 2 | 68,99 | 5,31 | 18,19 |
| | | 3 | 65,89 | 5,3 | 18,59 |
| | b | 1 | 65,9 | 5,3 | 18,6 |
| | | 2 | 63,5 | 5,41 | 19,75 |
| | | 3 | 63,51 | 5,4 | 19,77 |
| Sample 50 | a | 1 | 65,61 | 5,12 | 17,92 |
| | | 2 | 65,73 | 5,1 | 17,91 |
| | | 3 | 66,45 | 5,84 | 18,3 |
| | b | 1 | 66,41 | 5,84 | 18,33 |
| | | 2 | 59,83 | 10,97 | 21,18 |
| | | 3 | 60,01 | 10,87 | 21,33 |
| Sample 51 | a | 1 | 54,76 | 11,42 | 20 |
| | | 2 | 54,64 | 11,44 | 19,92 |
| | | 3 | 56,94 | 11,06 | 20,02 |
| | b | 1 | 57,19 | 10,97 | 19,69 |
| | | 2 | 61,1 | 9,4 | 18,88 |
| | | 3 | 60,75 | 9,51 | 18,79 |
| Sample 52 | a | 1 | 59,23 | 8,99 | 18,84 |
| | | 2 | 58,6 | 9,47 | 18,62 |
| | | 3 | 61,38 | 9,18 | 20,38 |
| | b | 1 | 60,96 | 9,42 | 20,28 |
| | | 2 | 61,61 | 8,23 | 15,58 |
| | | 3 | 61,69 | 7,95 | 15,64 |

Laboratorios

- Czech University of Life Sciences, CULS (Česká zemědělská univerzita v Praze)
Kamýcká 129
165 21 Praha 6 – Suchbátov
www.czu.cz
- Crop Research Institute, CRI (Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.)
Drnovská 507/73
161 06 Praha 6 – Ruzyně
www.vurv.cz
- University of Chemistry and Technology, UCT (Vysoká škola chemicko-technologická v Praze)
Technická 5
166 28 Prague 6 – Dejvice
www.vscht.cz

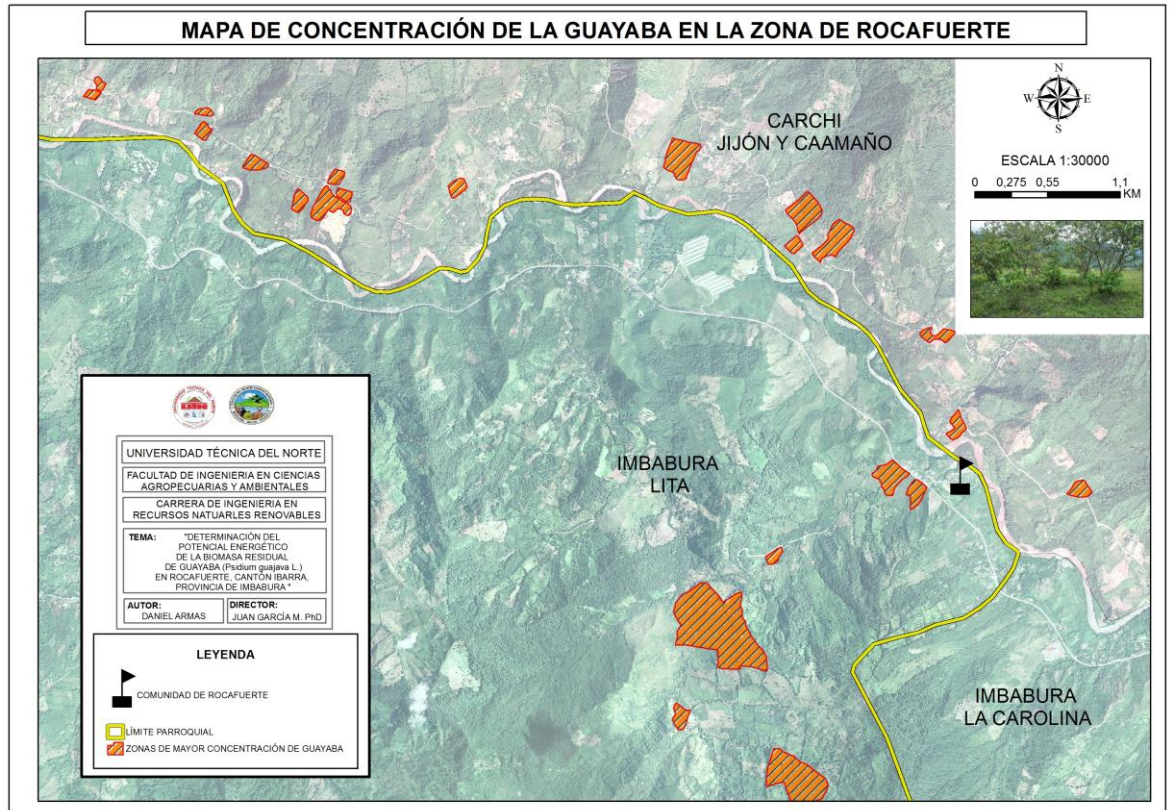
Anexo 8.- Encuesta realizada a los propietarios de fincas de guayaba.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FICAYA INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES | | | |
|--|-------------|---------------------|---------|
| FECHA: | | SECTOR: | |
| UBICACIÓN | | | |
| COORDENAS X | COORDENAS Y | | ALTITUD |
| SUPERFICIE DE PLANTACIÓN (HAC) | | CANTIDAD DE ÁRBOLES | |
| Realizan podas | SI | CADA CUANTO | |
| | NO | | |
| ¿Qué uso le dan a los residuos de la poda? | | | |
| | | | |
| ¿Conoce el tipo de suelo que hay en su propiedad? | | | |
| | | | |
| ¿Qué tipo de fertilizante utiliza? | | | |
| | | | |
| ¿Cuándo realizan las cosechas? | | | |
| | | | |
| ¿Cuánto cosechan? | | | |
| | | | |
| ¿Cuánto se desperdicia de la cosecha? | | | |
| | | | |

Anexo 9.- Tabla de ubicación y superficie de las fincas de guayaba.

| FID | X | Y | Z | NOMBRE | AREA |
|----------------|--------|----------|------|-----------------------------|-------|
| 0 | 797750 | 10088215 | 886 | CENTRO COMUNIDAD ROCAFUERTE | 0 |
| 1 | 797128 | 10087066 | 1083 | VIA1 | 0,93 |
| 2 | 797188 | 10087602 | 1037 | FINCA VILLALBA | 27,83 |
| 3 | 797378 | 10086175 | 1172 | FINCA CERCANÍA | 3,88 |
| 4 | 799189 | 10088897 | 790 | VIVERO | 1,66 |
| 5 | 799126 | 10089300 | 793 | PUENTE1 | 1,71 |
| 6 | 795289 | 10090914 | 792 | PUENTE2 | 1,65 |
| 7 | 794631 | 10090778 | 766 | CAMINO NUEVO1 | 1,95 |
| 8 | 793998 | 10091178 | 751 | CAMINO NUEVO2 | 12 |
| 9 | 799008 | 10089966 | 828 | SEGUNDO PUENTE | 1,6 |
| 10 | 794410 | 10090975 | 764 | SEGUNDO PUENTE2 | 4,55 |
| 11 | 792609 | 10091767 | 717 | SEGUNDO PUENTE3 | 1,02 |
| 12 | 799189 | 10088897 | 790 | FINCA DE ESTUDIO | 4,69 |
| 13 | 799189 | 10088897 | 790 | CENTRO COMUNIDAD ROCAFUERTE | 5,46 |
| 14 | 799189 | 10088897 | 790 | AREA GUAYABA | 1,35 |
| 15 | 799008 | 10089966 | 828 | SEGUNDO PUENTE | 3,87 |
| 16 | 793998 | 10091178 | 751 | AREA GUAYABA | 1,01 |
| 17 | 793998 | 10091178 | 751 | AREA GUAYABA | 0,84 |
| 18 | 799008 | 10089966 | 828 | AREA GUAYABA | 1,39 |
| 19 | 799008 | 10089966 | 828 | AREA GUAYABA | 1,47 |
| 20 | 799008 | 10089966 | 828 | AREA GUAYABA | 1,06 |
| 21 | 799008 | 10089966 | 828 | AREA GUAYABA | 0,63 |
| 22 | 799008 | 10089966 | 828 | AREA GUAYABA | 0,63 |
| 23 | 799189 | 10088897 | 790 | AREA GUAYABA | 0,55 |
| Total Áreas Ha | | | | | 81,73 |

Anexo 10.- Localización de los polígonos con mayor densidad de guayaba.



Anexo 11.- Tabla residuos de poda

| Árbol | Peso Ramas kg | Peso Hojas kg | total, kg húmedo | total, kg seco |
|----------|---------------|---------------|------------------|----------------|
| 1 | 10,57 | 5,94 | 16,5 | 10,2 |
| 2 | 9,64 | 5,40 | 15,0 | 9,3 |
| 3 | 11,49 | 6,17 | 17,7 | 10,9 |
| 4 | 6,69 | 2,94 | 9,6 | 5,9 |
| 5 | 10,24 | 4,97 | 15,2 | 9,4 |
| 6 | 12,18 | 4,89 | 17,1 | 10,5 |
| 7 | 8,46 | 3,75 | 12,2 | 7,5 |
| 8 | 14,10 | 6,32 | 20,4 | 12,6 |
| 9 | 10,39 | 5,24 | 15,6 | 9,6 |
| 10 | 9,66 | 4,18 | 13,8 | 8,5 |
| 11 | 9,78 | 4,48 | 14,3 | 8,8 |
| 12 | 11,64 | 5,35 | 17,0 | 10,5 |
| 13 | 8,30 | 3,10 | 11,4 | 7,0 |
| 14 | 8,17 | 3,16 | 11,3 | 7,0 |
| 15 | 9,45 | 5,15 | 14,6 | 9,0 |
| 16 | 7,93 | 3,10 | 11,0 | 6,8 |
| 17 | 10,86 | 5,39 | 16,3 | 10,0 |
| 18 | 9,82 | 4,60 | 14,4 | 8,9 |
| 19 | 8,88 | 3,95 | 12,8 | 7,9 |
| 20 | 10,59 | 4,92 | 15,5 | 9,6 |
| 21 | 8,82 | 4,12 | 12,9 | 8,0 |
| 22 | 11,40 | 6,11 | 17,5 | 10,8 |
| 23 | 9,21 | 3,93 | 13,1 | 8,1 |
| 24 | 10,25 | 4,18 | 14,4 | 8,9 |
| 25 | 7,70 | 3,21 | 10,9 | 6,7 |
| 26 | 12,30 | 6,37 | 18,7 | 11,5 |
| 27 | 9,67 | 4,22 | 13,9 | 8,6 |
| 28 | 8,55 | 3,34 | 11,9 | 7,3 |
| 29 | 10,19 | 4,15 | 14,3 | 8,9 |
| 30 | 9,70 | 3,22 | 12,9 | 8,0 |
| total kg | 296,63 | 135,85 | 432,5 | 267,0 |
| media | 9,89 | 4,53 | 14,4 | 8,9 |

Anexo 12.- Archivo Fotográfico

Foto 1. Identificación del cultivo de guayaba.



Foto 2. Presencia abundante de cercas vivas con guayaba.



Foto 3.- Toma de datos altura total con ayuda de una pértiga.



Foto 4. Medición del diámetro de tronco con la ayuda de un calibrador digital.



Foto 5. Medición de la altura del suelo a la copa del árbol.



Foto 6. Medición de la copa del árbol.



Foto 7. Poda central de arboles



Foto 8. Despunte de ramas



Foto 9. Deshoje de ramas



Foto 10. Pesaje del residuo con una balanza digital



Foto 11. Preparación de la biomasa (cortes) para él envió al laboratorio con la ayuda de una sierra.



Foto 12. Biomasa troceada.



Foto 13. Pesaje de la muestra del material troceado con ayuda de una balanza.

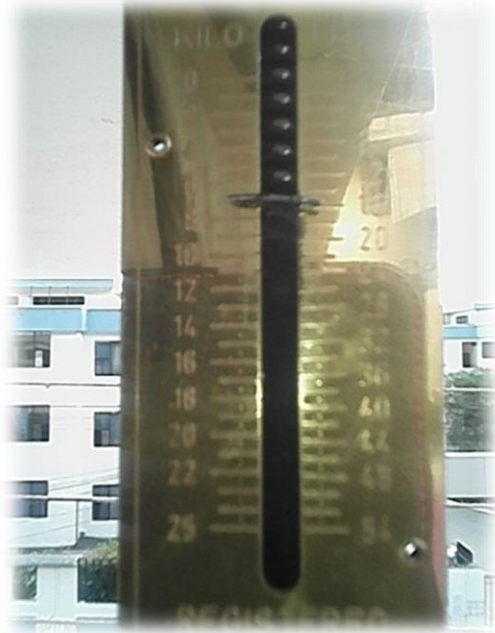


Foto 14. Empaquetado de la muestra para su envío.

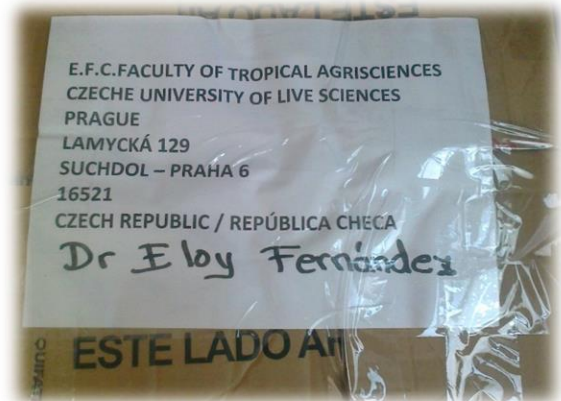


Foto 15. Preparación de muestras para determinar la humedad (muestra triturada)



Foto 16. Determinación del contenido de humedad en el laboratorio de la FICAYA



Foto 17. Secado de muestra en estufa a 105 °C.



Foto 18. Registro del peso seco.

