



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, RECURSOS NATURALES
Y DEL AMBIENTE
ESCUELA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

TEMA

CARACTERIZACIÓN FÍSICO- QUÍMICA DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L*), NARANJA (*Citrus sinensis*, variedad valenciana,) Y MANDARINA (*Citrus reticulata*) EN LA PROVINCIA BOLÍVAR.

Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente.

AUTORES

Castro Ycaza Katherine Valeria

Ocampo Chávez Jaime Enrique

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Juan Gaibor

GUARANDA - ECUADOR

2015

TEMA:

“CARACTERIZACIÓN FÍSICO- QUÍMICA DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L*), NARANJA (*Citrus sinensis, variedad valenciana,*) Y MANDARINA (*Citrus reticulata*) EN LA PROVINCIA BOLÍVAR.”

REVISADO POR:

ING. JUAN GAIBOR CHÁVEZ Msc.
DIRECTOR DE TESIS

APROBADO POR LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

ING. DANILO MONTERO SILVA Mgs.
BIOMETRISTA

ING. VICENTE DOMÍNGUEZ NARVÁEZ
ÁREA TÉCNICA

ING. MARCELO GARCÍA MUÑOZ Msc.
ÁREA DE REDACCIÓN TÉCNICA

Fecha de defensa.....

DECLARACIÓN

Nosotros: CASTRO YCAZA KATHERINE VALERIA, OCAMPO CHÁVEZ JAIME ENRIQUE, autores de la tesis declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; este documento no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas.

La Universidad Estatal de Bolívar puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad

Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

CASTRO YCAZA KATHERINE

CI. 0202021796

OCAMPO CHÁVEZ JAIME

CI. 1600646184

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar quien estuvo conmigo en todo momento durante el transcurso de mi vida.

A mis queridos Padres Lic. Washington Castro y Lic. Celenia Ycaza quienes me motivan día a día para seguir adelante, gracias a su apoyo y consejos he llegado a realizar la más grande de mis metas, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.

A mis Hermanos Joan y Sebastian por su amor y apoyo incondicional.

Katherine V. Castro Ycaza

AGRADECIMIENTO

Sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su apoyo.

Agradezco a Dios por ser el amigo que me acompaña en cada paso que doy

Agradezco a mis Padres Washington y Celenia por ser quienes con sus consejos y palabras de aliento me han guiado durante el transcurso de mi vida, por su amor y su apoyo incondicional han hecho que alcance una a una mis metas.

A mis hermanos Joan y Sebastian por su infinito amor y cariño han sido un pilar fundamental.

Agradezco a mi tribunal de tesis, Ing. Juan Gaibor, Ing. Danilo Montero, Ing. Vicente Domínguez, Ing. Marcelo García por sus enseñanzas, consejos y por la confianza brindada durante mi formación profesional.

Agradezco a los Doctores Sergio Pérez y Zulay Niño integrantes del programa Prometeo, por su ayuda durante esta investigación

A la Universidad Estatal de Bolívar por acogernos en sus aulas y ser nuestro hogar durante todo este tiempo.

Katherine V. Castro Ycaza

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar quien estuvo conmigo tanto en los momentos más sacrificados como en los de felicidad que he pasado durante mi vida.

Dedico esta tesis, de la cual me siento muy orgulloso, a mi hijo Elián que con su luz ilumina mis días, a mi esposa Grace Ichau por nunca dejarme solo, por su apoyo incondicional y por siempre confiar en mí quien supo brindarme esa energía y entusiasmo en continuar aun cuando estaba por rendirme. A mis padres quienes estuvieron pendientes de mí en cada instante que yo los necesitaba; a mis hermanos que sin ellos no tuviera una mayor satisfacción; a mis amigos que logré hacer en estos años.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

Jaime E. Ocampo Chávez

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por darme las fuerzas necesarias para luchar y ganar esta batalla, a los seres que me dieron la vida mis padres Sr. Holger Ocampo y Sra. Beatriz Chávez porque creyeron en mí y me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, que con su gran esfuerzo y sacrificio hoy puedo ver alcanzada mi meta y porque el orgullo que sienten por mí fue lo que me hizo ir hasta el final.

A mis hermanos, Gladys y Xavier, tíos, primos, abuelos y amigos. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Agradezco a mi tribunal de tesis, Ing. Juan Gaibor, Ing. Danilo Montero, Ing. Vicente Domínguez, Ing. Marcelo García por sus enseñanzas, ayuda y tiempo brindado en el transcurso de esta investigación para mi formación profesional.

Agradezco a los Doctores Sergio Pérez y Zulay Niño integrantes del programa Prometeo, por su ayuda durante esta investigación.

Jaime E. Ocampo Chávez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
I	INTRODUCCIÓN	1
II	MARCO TEÓRICO	4
2. 1	LA BIOMASA	4
2.1.1	Tipos de biomasa	5
2.1.2	Clasificación de la biomasa por tipo de cultivo	6
2.1.3	Clasificación según su origen y sus propiedades	7
2.2	CARACTERÍSTICAS	8
2.2.1	Composición de la biomasa	8
2.2.2	Poder calorífico de la biomasa	9
2.2.3	Composición físico química de la biomasa	11
2.2.4	Situación actual de la biomasa en Ecuador	12
2.2.5	Usos de la biomasa	13
2.3	CULTIVO DE CACAO (<i>Theobroma cacao L</i>)	15
2.4	CULTIVO DE NARANJA (<i>Citrus sinensis, variedad valenciana</i>)	16
2.5	CULTIVO DE MANDARINA (<i>Citrus reticulata</i>)	17
2.6	TIPO DE PODAS	18
2.7	SISTEMAS DE CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA	20
2.8	BIOMASA EN ÁRBOLES FRUTALES	21
2.9	MODELOS MATEMÁTICOS	23

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
2.9.1	Concepto	23
2.9.2	Modelos utilizados	23
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1	LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	25
3.2	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	25
3.3	SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA	25
3.4	ZONA DE VIDA	26
3.5	MATERIALES	27
3.5.1	Material experimental	27
3.5.2	Materiales de campo	27
3.5.3	Material de oficina	27
3.5.4	Materiales de laboratorio	28
3.5.5	Recursos institucionales	28
3.5.6	Fuente de información	28
3.6	FACTOR EN ESTUDIO	29
3.6.1	Tratamientos	29
3.6.2	Diseño experimental	30
3.6.3	Modelo matemático	30
3.7	CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO	30
3.7.1	Análisis de varianza	30
3.8	METODOLOGÍA	31

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
3.8.1	Prospección	31
3.8.2	Metodología cinética de secado	32
3.8.3	Metodología análisis elemental	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
4.1	RESULTADO 1	35
4.1.1	Localización cantón Caluma	35
4.1.2	Datos de ubicación sectores estudiados cantón Caluma	36
4.1.3	Prospección cultivos de cacao, naranja y mandarina cantón Caluma	36
4.1.4	Sectores en estudio y datos meteorológicos cantón Caluma	37
4.1.5	Localización cantón Las Naves	37
4.1.6	Datos de ubicación sectores estudiados cantón Las Naves	38
4.1.7	Prospección cultivos de cacao, naranja y mandarina cantón Las Naves	38
4.1.8	Sectores en estudio y datos meteorológicos cantón Las Naves	39
4.2	RESULTADO 2	39
4.2.1	Variables dendométricas de los árboles de cacao, naranja y mandarina	40
4.2.2	Datos para cuantificar la biomasa residual del cantón Caluma	43

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
4.2.3	Datos para cuantificar la biomasa residual del cantón Las Naves	44
4.2.4	Datos dendométricos de los cultivos del cantón Caluma	44
4.2.5	Datos dendométricos de los cultivos del cantón Las Naves	45
4.2.6	Resumen estadístico	45
4.3	RESULTADO 3	46
4.3.1	Cinética de secado del cultivo de cacao en el cantón Caluma y su modelamiento estadístico	47
4.3.2	Cinética de secado del cultivo de naranja en el cantón Caluma y su modelamiento estadístico	48
4.3.3	Cinética de secado del cultivo de mandarina en el cantón Caluma y su modelamiento estadístico	49
4.3.4	Cinética de secado del cultivo de cacao en el cantón Las Naves y su modelamiento estadístico	50
4.3.5	Cinética de secado del cultivo de naranja en el cantón Las Naves y su modelamiento estadístico	51
4.3.6	Cinética de secado del cultivo de mandarina en el cantón Las Naves y su modelamiento estadístico	52
4.3.7	Discusión de cinética de secado	53
4.3.8	Determinación y modelamiento de curvas de secado	54
4.4	RESULTADO 4	55
4.4.1	Resultados del análisis elemental a los cultivos de cacao, naranja y mandarina	55

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
5.1	CONCLUSIONES	56
5.2	RECOMENDACIONES	57
VI	RESUMEN Y SUMMARY	59
6.1	RESUMEN	59
6.2	SUMMARY	61
VII	BIBLIOGRAFÍA	62

ÍNDICE DE TABLAS

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Tipos de biomasa y su descripción	5
2	Composición de la biomasa	11
3	Sistemas de cuantificación de biomasa residual agrícola	20
4	Ubicación del experimento	25
5	Parámetros climáticos del cantón Guaranda.	25
6	Parámetros climáticos del cantón Caluma.	26
7	Parámetros climáticos del cantón Las Naves.	26
8	Factores para cuantificación de biomasa residual	29
9	Tratamientos para cuantificación de biomasa residual	29
10	Características del experimento y sus cantidades	30
11	Análisis de varianza para el modelo de dos factores	31
12	Modelos matemáticos para obtener las curvas de secado de Productos agrícolas	55
13	Modelo para toma de datos de las plantaciones por tipo de cultivo	76
14	Modelo para toma de datos dendométricos por cada árbol	76
15	Modelo para toma de datos de pesos insitu de ramas.	77
16	Modelo toma de datos con la estación meteorológica portátil	77

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Relación entre el poder calorífico superior (HHV) e inferior (LHV)	10
2	Poda anual del cacao nacional fino de aroma	19
3	Sección tronco de cono	22
4	Mapas georeferenciados de los cantones Caluma y Las Naves	31
5	Localización de las plantaciones cacao, naranja y mandarina en el cantón Caluma	35
6	Localización de las plantaciones cacao, naranja y mandarina en el cantón Las Naves.	37
7	Toma de variables del árbol de cacao	40
8	Toma de variables del árbol de naranja	41
9	Toma de variables del árbol de mandarina	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Porcentaje de producción de grano de cacao fino de aroma a nivel mundial.	16
2	Cinética de secado de cacao, cantón Caluma	47
3	Cinética de secado de naranja, cantón Caluma	48
4	Cinética de secado de mandarina, cantón Caluma	49
5	Cinética de secado de cacao, cantón Las Naves	50
6	Cinética de secado de naranja, cantón Las Naves	51
7	Cinética de secado de mandarina, cantón Las Naves	52

ÍNDICE DE CUADROS

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Georeferenciación Caluma	36
2	Prospección cultivos investigados cantón Caluma	36
3	Ubicación de las muestras y datos meteorológicos	37
4	Georeferenciación Las Naves	38
5	Prospección cultivos investigados cantón Las Naves	38
6	Ubicación de las muestras y datos meteorológicos	39
7	Cuantificación de la biomasa residual, cantón Caluma	43
8	Cuantificación de la biomasa residual, cantón Las Naves	44
9	Variables dendométricas, cantón Caluma	44
10	Variables dendométricas, cantón Las Naves	45
11	Análisis de varianza para biomasa	45
12	Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de cacao, cantón Caluma	47
13	Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de naranja, cantón Caluma	48

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
14	Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de mandarina, cantón Caluma	49
15	Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de cacao, cantón Las Naves	50
16	Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de naranja, cantón Las Naves	51
17	Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de mandarina, cantón Las Naves	52
18	Análisis elemental.	55

ÍNDICE DE ANEXOS

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Ubicación del experimento	68
2	Fotografías del desarrollo de la investigación	69
3	Glosario de términos	74
4	Diseño de tablas para recolección de datos	76
5	Abreviaturas	78

I. INTRODUCCIÓN

La biomasa residual procedente de la agricultura ecuatoriana constituye un recurso potencialmente aprovechable como fuente de biocombustibles y otros subproductos. Sin embargo, no ha sido utilizado hasta ahora, debido a que presenta diferentes dificultades técnicas, así como por la carencia de suficiente información sobre la cantidad y calidad para su transformación. Su gestión energética podría suponer un ingreso adicional para los agricultores, que por un lado comercializarían la cosecha alimentaria, y por otro comercializarían estos residuos como fuente de energía, materia prima, o subproductos elaborados, al tiempo de rentabilizar las operaciones de mantenimiento dentro de una gestión sostenible. Esto fortalecerá los lineamientos del Plan Nacional de Buen Vivir (Rosero, Chilibingua, 2011).

La necesidad del uso de energías alternativas inagotables, sostenibles y respetuosas con el ambiente, agudiza el ingenio de millones de personas en todos los ámbitos de la ciencia. Las investigaciones se centran sobre la energía hidráulica, eólica, geotérmica, solar y biomasa, es decir, las consideradas energías renovables. De todas ellas, se espera que la biomasa ocupe un puesto significativo, sobre todo, en los sistemas agropecuarios, agroindustriales y forestales. La biomasa del sector agrario del Ecuador procedente de restos de cosechas y podas sería el “residuo vegetal” sobrante tras la vida útil de los cultivos. Este, mediante la transformación físico/química, podría destinarse hacia un uso energético como biocombustibles. Entre éstos últimos destacan leñas y astillas; carbón vegetal, pellets y briquetas; bioetanol, biodiesel biometanol, metilester y dimetilester, aceites piroleñosos; biogás, gas obtenido por gasificación y biohidrógeno (INER, 2015).

Así, este residuo agrícola podría ser una fuente de recursos económicos para los habitantes de países en vías de desarrollo (empleo) y desarrollados (menos uso energía fósil), además de mejorar el control de residuos, el reciclaje de nutrientes, el suministro eléctrico de las zonas, la gestión de tierras y la

reducción de contaminación de CO₂. Este último se refiere a que en el proceso de crecimiento de las plantas se absorbe el dióxido de carbono, que posteriormente será emitido en su combustión, siendo este el efecto de carbono neutro. Sin embargo, debido a que su uso presenta diferentes dificultades técnicas, así como también la carencia de suficiente información sobre la cantidad y calidad de los residuos agrícolas que no han sido valorados y utilizados como recursos potenciales de energía en el Ecuador, el estudio de su caracterización dentro de las condiciones propias del territorio sería pertinente y necesario. Los resultados permitirían posteriormente determinar las tecnologías adecuadas de transformación y uso de éste material. De ésta manera se podría implementar en el país un sistema bioenergético sostenible en base a la proyección de la demanda energética y en relación al recurso de biomasa disponible (Mena, 2002).

En la Provincia de Bolívar, no existe un estudio exhaustivo de la biomasa generada por el sector agrícola. El objetivo sería poder caracterizar este tipo de recurso (diferenciado por especies vegetales), obteniendo fichas de cada una de las especies, en donde se detalle sus características físicas, análisis proximal (cenizas, componentes volátiles y carbono fijo), análisis elemental (Carbono (C), Hidrógeno (H), Nitrógeno (N), Azufre (S) y Oxígeno (O), análisis orgánico (lignina, celulosa y hemicelulosa), cantidad de cloro, composición de las cenizas, fusibilidad de las cenizas y poder calorífico. El proyecto de investigación propuesto contribuiría la generación de datos actualizados sobre la composición de la biomasa residual de cacao, mandarina y naranja de los cantones de Las Naves y Caluma, y de esta manera aportar con datos científicos que puedan servir de base para la contribución al proceso de cambio de la matriz productiva, conducente hacia una seguridad energética más sustentable/sostenible, lo que fortalecerá los lineamientos del Plan Nacional de Buen Vivir (Castro/ Ocampo, 2015).

En la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

- Realizar una prospección de Cacao (*Theobroma cacao L*), Naranja (*Citrus sinensis, variedad valenciana,*) y Mandarina (*Citrus reticulata*) en la provincia Bolívar en cuanto a los residuos biomásicos generados.
- Cuantificación de la biomasa residual en cultivos antes mencionados.
- Realizar la cinética de secado de los cultivos de cacao, naranja y mandarina.
- Realizar análisis elemental de los mismos: en C, H, N.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. LA BIOMASA

Concepto

El término biomasa, en sentido amplio, se refiere a la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Más particularmente, este término se suele emplear para hacer referencia a maderas, cultivos energéticos, algas marinas, residuos de actividades agrícolas y procesos forestales, así como a determinados residuos animales, industriales y humanos. Se trata pues, de energía solar retenida en forma química en plantas y animales, lo que le otorga a este recurso notable valía y versatilidad.

Algunos autores distinguen entre biomasa natural y productos técnicos derivados de constituyentes naturales mediante tratamientos físicos o químicos, esto es, biocombustibles. Téngase en cuenta, que la materia orgánica fosilizada no debe ser contemplada dentro de este término, como han hecho bien en indicar algunos investigadores, pues dicha materia orgánica habría dado lugar por transformación a carbón, petróleo y gas natural (Vargas, 2012).

La biomasa es producida por organismos vivos, principalmente a través de la actividad fotosintética de las plantas, pero también es producida por los animales, los insectos, los microorganismos, etc. Está compuesta esencialmente de polímeros complejos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, de azufre en baja proporción y de elementos inorgánicos (Damien, 2010).

2.1.1. Tipos de biomasa

Tabla 1.- Tipos de biomasa y su descripción

TIPOS	DESCRIPCIÓN
Biomasa natural	<p>La biomasa natural es la que se produce en ecosistemas naturales. La explotación intensiva de este recurso no es compatible con la protección del medio ambiente, aunque sea una de las principales fuentes energéticas en los países subdesarrollados.</p> <p>La biomasa natural se produce sin la intervención del hombre para potenciarla o para modificarla. Se trata fundamentalmente de residuos forestales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Derivados de limpieza de bosques y de restos de plantaciones • Leñas y ramas • Coníferas • Frondosas
Biomasa residual	<p>La biomasa residual es la que generada en las actividades humanas que utilizan materia orgánica. Su eliminación en muchos casos supone un problema. Este tipo de biomasa tiene asociadas unas ventajas en su utilización:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduce la contaminación y riesgos de incendios. • Reduce el espacio en vertederos. • Los costes de producción pueden ser bajos. • Los costes de transporte pueden ser bajos. • Evita emisiones de CO₂. • Genera puestos de trabajo. • Contribuye al desarrollo rural. <p>La biomasa residual se divide a su vez en una serie de categorías que se estudian a continuación.</p>
Excedentes agrícolas	<p>Los excedentes agrícolas que no sean empleados en la alimentación humana pueden ser considerados utilizados biomasa con fines energéticos. Este uso de productos agrícolas utilizados en la cadena de alimentación humana ha provocado una mala fama injustificada del uso de la biomasa con fines energéticos, al haberse acusado a este uso de una subida del coste de determinados productos agrícolas que son la base de la alimentación en muchos países del tercer mundo y en vías de desarrollo.</p> <p>Estos excedentes agrícolas pueden ser utilizados tanto como combustible en plantas de generación eléctrica como transformados en biocombustibles.</p>
Cultivos energéticos	<p>Los cultivos energéticos son cultivos específicos dedicados exclusivamente a la producción de energía. A diferencia de los agrícolas tradicionales, tienen como características principales su gran productividad de biomasa y su elevada rusticidad, expresada en características tales como resistencia a la sequía, a las enfermedades, vigor, precocidad de crecimiento, capacidad de rebrote y adaptación a terrenos marginales.</p> <p>Entre los cultivos energéticos se pueden incluir cultivos tradicionales (cereales, caña de azúcar, semillas oleaginosas) y otros no convencionales (cynara, patata, sorgo dulce) que están siendo objeto de numerosos estudios para determinar sus necesidades de cultivo.</p>

Fuente: (Garrido, 2009-2012)

2.1.2. Clasificación de la biomasa por tipo de cultivo

Velázquez-Martí, *et al.* 2009), también ha esquematizado las fuentes de biomasa, estableciendo las siguientes agrupaciones:

1. Cultivos energéticos agrícolas (cardo, sorgo, miscanto, girasol, soja, maíz, trigo, cebada, remolacha, especies C4 agrícolas)
2. Cultivos energéticos forestales (chopos, sauces, eucaliptos, robinas acacias, y especies C4 forestales).
3. Residuos de cultivos agrícolas herbáceos (paja, restos de cereales, restos de cultivos hortícolas).
4. Residuos de cultivos agrícolas leñosos (poda o eliminación de plantaciones de olivo, vid, frutales de hueso y pepita, cítricos).
5. Restos de operaciones silvícolas (cortas finales, podas, claras, clareos, apertura de vías y pistas forestales, limpieza de monte para prevención de incendios, catástrofes forestales).
6. Restos de industrias agroalimentarias (piel de frutos, cáscaras, huesos, pulpas).
7. Restos de industrias forestales (serrines y virutas, polvo de lijado, cortezas, tallos y recortes).
8. Restos de explotaciones ganaderas (purines, cama animal, animales fallecidos).
9. Productos o restos marinos (algas, conchas).

10. Actividades humanas (residuos alimenticios, papel, otros residuos industriales).

2.1.3. Clasificación según su origen y sus propiedades

Más recientemente Khan *et al.* 2009, y considerando avances anteriores, han referido dos nuevos sistemas de clasificación estructurados en atención al origen de la biomasa y a sus propiedades, respectivamente. Estas dos sistemáticas se presentan a continuación, integrando en la segunda de ellas los argumentos aportados por Vassilev *et al.* 2009:

a) En relación con su origen, los combustibles biomásicos se pueden dividir en cuatro categorías:

1. Residuos primarios: Los subproductos de los cultivos alimentarios y productos forestales (madera, paja, cereales, maíz, etc.).
2. Residuos secundarios: Los subproductos del procesamiento de la biomasa para la fabricación de alimentos y otros productos (serrín, residuos de industrias agroalimentarias, etc.).
3. Residuos terciarios: Los subproductos derivados de la biomasa utilizada como materia prima en elementos que han llegado al final de su vida útil (residuos, madera de demolición, etc.).
4. Cultivos energéticos: cultivos herbáceos o leñosos especialmente cultivados para aplicaciones energéticas.

b) La clasificación basada en sus propiedades y en su diversidad biológica, establece las siguientes categorías:

1. Madera y combustibles leñosos (maderas duras y blandas, madera procedente de demolición).
2. Combustibles herbáceos y biomasa agrícola (paja, hierba, tallos, etc.)
3. Biomasa acuática (algas, etc.).
4. Residuos animales y humanos (huesos, estiércol, etc.)
5. Biomasa contaminada y biomasa industrial (residuos sólidos urbanos, lodos de depuradora, combustible derivado de desechos, etc.)
6. Cultivos energéticos.
7. Mezclas de biomasa.

2.2. CARACTERÍSTICAS

2.2.1. Composición de la biomasa

La biomasa incluye celulosa, hemicelulosa, lignina, lípidos, azúcares simples, almidón, agua, hidrocarburos, cenizas y otros componentes (Velásquez *et al.* 2010).

La concentración de cada clase de compuesto varía dependiendo de la especie, el tipo de tejido, la fase de crecimiento y las condiciones de cultivo, aunque en general la celulosa supone un 40-60 % en masa seca, la hemicelulosa un 20-40 % y la lignina un 10-25 %.

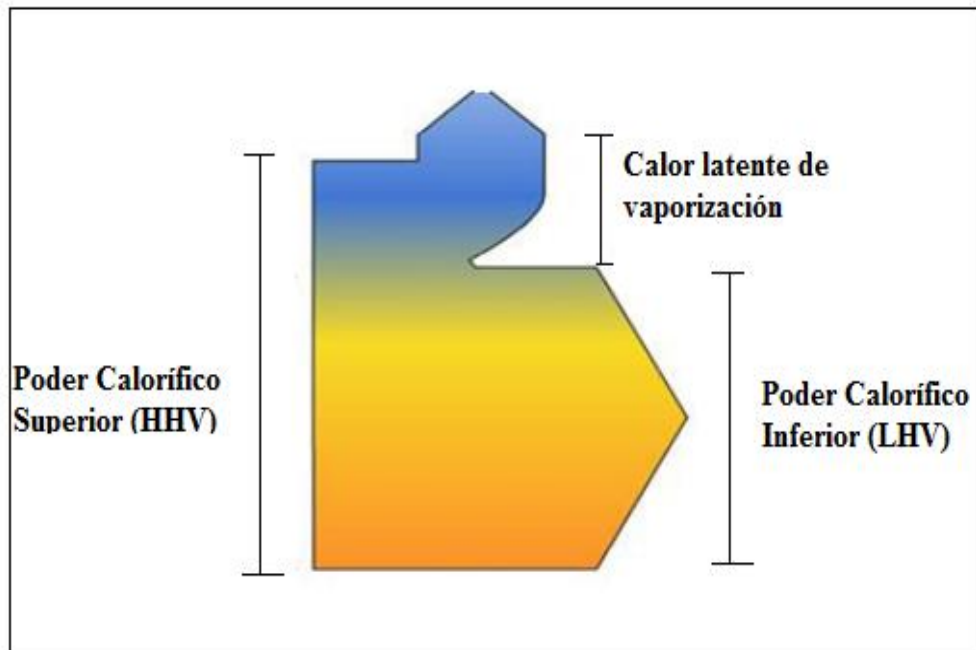
Atendiendo a su composición elemental, y más particularmente en relación con la riqueza en Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (O), la biomasa no presenta diferencias relevantes en función de su origen o tipología. En general, el C alcanza entre un 30 y un 60 % de su peso seco, el H entre un 5 y un 6 % y el O entre un 30 y un 45 %. Debido a su estructura carbohidratada, la biomasa integra mucho más O en su composición que los combustibles fósiles.

Junto con estos tres elementos principales, pueden encontrarse pequeñas cantidades de N, S y Cloro (Cl), en general inferiores a un 1 % en peso seco. En relación con el carbón, la biomasa suele presentar menos C, más O, más silicio (Si), Cl y potasio (K), menos aluminio (Al), hierro (Fe), titanio (Ti) y S, y en ocasiones más calcio (Ca) (Carreño, 2013).

2.2.2. Poder calorífico de la biomasa

Para el estudio de la idoneidad de biomásas en cada tipo de tecnología (por el que se obtendrá un producto final) es necesario el conocimiento del poder calorífico. Éste es la medida estándar de la energía contenida en un combustible y se puede expresar como poder calorífico superior (HHV) o poder calorífico inferior (LHV). El HHV se refiere al calor liberado en a combustión completa de una unidad de volumen de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, es decir, el calor desprendido en este cambio de fase. El LHV no incluye la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión (Vargas, 2012).

Figura 1. Relación entre el poder calorífico superior (HHV) e inferior (LHV)



Fuente: (Vargas, 2012).

Las propiedades de la biomasa son determinantes en la selección de las tecnologías a utilizar para su aprovechamiento. Por ejemplo la relación Carbono/Hidrógeno (C/H) y Oxígeno/Carbono (O/C) influyen en el poder calorífico de la biomasa, es así que las hojas frescas tienen un bajo poder calorífico inferior (LHV) debido a su alta relación C/H y O/C. Otras propiedades relevantes son los contenidos de humedad, de cenizas, y material volátil. Resulta conveniente destacar que no todos los tipos de residuos pueden ser aprovechados con la misma tecnología y que un mismo residuo puede ser utilizado aplicando diferentes procesos tecnológicos (Atlas, 2014).

2.2.3. Composición físico química de la biomasa

Tabla 2. Composición de la biomasa

<p>Análisis Elementales: La composición elemental es uno de los factores más importantes cuando se estudian las propiedades de los combustibles fósiles.</p> <p>La composición elemental de la biomasa es compleja y comprende seis elementos mayores (C, H, N, O, S, Cl).</p>	
<p>Carbono, Hidrógeno y Oxígeno (C, H, O)</p>	<p>Particularmente, el C es el elemento básico de la química orgánica y forma parte de todo los seres vivos conocidos. Su concentración presenta una relación positiva con el HHV, lo que justifica el mayor HHV de la madera de la biomasa herbácea.</p> <p>El H juega un papel fundamental en los sistemas de combustión de combustibles junto con el C, pues el incremento del ratio de la suma de ambos con respecto al O, determina el incremento de HHV.</p>
<p>Nitrógeno (N)</p>	<p>Los más bajos valores de N en biomasa, se encuentran en madera de coníferas y árboles de hoja caduca, siendo más elevados en residuos y cultivos herbáceos. Normalmente, su valor oscila entre un 0,1 y un 12 % en masa</p>
<p>Azufre (S)</p>	<p>El S contenido en los biocombustibles forma dióxido de azufre (SO₂) gaseoso, álcalis y eventualmente trióxido de azufre (SO₃). No obstante, la biomasa es habitualmente pobre en S, y en general dicho parámetro se sitúa entre 0,01 y 2,3% en masa.</p>
<p>Cloro (Cl)</p>	<p>Su concentración es variable para los distintos tipos de biomasa, entre un 0,01 y un 0,9% en masa y en general escaso en la madera, mientras que en la paja en los cereales y en los residuos de grasas y frutas suele ser más abundante, habiéndose detectado niveles elevados en hortícolas.</p>
<p>Análisis proximales: Estos contenidos se expresan generalmente como porcentaje en masa en base seca.</p>	
<p>Cenizas</p>	<p>Las cenizas son la parte inorgánica e incombustible que queda tras la combustión completa, y que se corresponde con la fracción mineral de la biomasa empleada. La concentración de cenizas varía en un amplio rango de valores que se extiende desde aproximadamente un 1% de masa en base seca.</p>
<p>Materia volátil (VM)</p>	<p>La biomasa contiene generalmente un alto contenido en volátiles que se dividen en hidrocarburos ligeros, monóxido de carbono (CO), CO₂, H₂, humedad y alquitranes. El contenido en VM varía habitualmente dentro del intervalo 48- 86% de masa en base seca.</p>
<p>Carbono fijo (FC)</p>	<p>El FC se obtiene por diferencia sobre 100% de la suma en porcentaje en masa en base seca de VM y de cenizas. Generalmente, este parámetro se sitúa entre el 1 y el 38% de masa en base seca.</p>
<p>Análisis estructural</p>	<p>El análisis estructural de la biomasa es particularmente importante en el desarrollo de procesos de producción de otros combustibles y productos químicos, así como en el estudio del fenómeno de la combustión</p>
<p>Celulosa y Hemicelulosa</p>	<p>La celulosa y la Hemicelulosa son en general más abundantes en maderas duras que en blandas. Estas maderas también presentan una mayor proporción de extractivos que contribuyen al aumento del HHV.</p>
<p>Lignina</p>	<p>Al contrario que para el caso de las maderas duras, las blandas presentan una mayor concentración de lignina, y se ha demostrado la existencia de una correlación positiva entre el contenido en lignina y el HHV de materiales lignocelulósicos.</p>

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015) en base a Carreño, 2013.

2.2.4. Situación actual de la biomasa en Ecuador

Según García *et al.* (2013), Ecuador tiene un gran potencial agrícola, 7% del PIB (INEC, 2014) y la BRA obtenida de sus cultivos puede ser utilizada para obtener biocarburantes o para generar energía eléctrica a partir de cogeneración. Por su parte Kahr *et al.* (2013) afirman que si se utilizase toda la BRA generada en los cultivos agroalimentarios para la obtención de bioetanol (2^{da.} generación) podría reemplazar alrededor del 29% del consumo de gasolina a nivel mundial.

En Ecuador, el uso tradicional más importante de la biomasa se da en el sector rural doméstico que, según cálculos, cubre alrededor del 7% de las necesidades de energía primaria, principalmente para cocinar. Se han aplicado nuevas tecnologías de la biomasa en programas rurales (como 65 instalaciones de biogás en el sector ganadero y programas de cocinas eficientes de biomasa). En la actualidad el Ministerio de Energía cuenta con la Dirección de Energías Renovables y Eficiencia Energética (DEREE), la cual entre sus objetivos tiene el desarrollo de Energías Alternas incluyendo Biomasa (Barriga, 2011).

Ecuador es un productor de biomasa debido a que dispone de ingentes recursos agrícolas, forestales y pecuarios de cuyos desechos se puede obtener suficiente materia orgánica para producir energía limpia y renovable. Su óptimo aprovechamiento dependerá, en gran medida, de la información que se disponga respecto a la localización de dichos recursos, la cantidad de residuos orgánicos disponibles, las condiciones de los cultivos (en el caso de la agricultura) y el potencial calórico determinado.

El desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento energético de la biomasa aplicadas en diferentes campos como la energía renovable y procesos industriales, se ha desarrollado desde hace varios años en Europa, Estados Unidos y Latinoamérica, destacándose el caso de Brasil y

Uruguay, países que cuentan con modelos de gestión que merecen particular atención (Atlas, 2014).

2.2.5. Usos de la biomasa

El uso de la biomasa forestal con fines energéticos requiere una transformación previa para conseguir los productos más adecuados para su empleo como combustible.

a) Leña

El término leña incluye a toda la madera obtenida de los bosques o de otro origen con su formato original, es la madera en bruto.

b) Astillas

Las astillas son el resultado de la trituración de la madera, dando lugar a trozos pequeños de forma irregular que presentan un espesor de alrededor de 2cm y tamaños variables que no suelen superar los 10cm de longitud.

c) Pellets

Los pellet son cilindros de biomasa compactada procedente de residuos forestales y desechos de origen vegetal y fabricados a partir de astillas de madera y serrín. Presentan un tamaño entre 5 y 6 mm de diámetro y 2-3 cm de longitud. Estas características permiten utilizar el pellet como una buena alternativa al gasóleo de calefacción.

d) Carbón vegetal

El carbón vegetal es un combustible sólido que presenta un contenido muy elevado de carbono por lo que su poder calorífico es muy superior al de la madera.

e) Briquetas

Al igual que los pellets, las briquetas son cilindros de biomasa compactada, procedente de residuos de madera, aunque pueden estar formadas por otros productos como por ejemplo el carbón vegetal. Es menos manejable que los Pellets ya que presenta un tamaño mayor situándose entre los 5cm y los 10cm de diámetro y 20cm y 50cm de longitud.

f) Aplicaciones Energéticas

El uso energético de la biomasa ha dado lugar a nuevos sectores productivos para la obtención de energía que necesitan mercados cada vez más concretos y especializados. Las tecnologías que utilizan la biomasa se dividen en aplicaciones térmicas y eléctricas, diferenciando el uso térmico doméstico, el uso térmico industrial, la generación eléctrica pura con biomasa y las tecnologías de co-combustión (Enciso, 2006).

El excedente recolectado de los residuos se aprovecha para diferentes propósitos, por ejemplo los residuos de la caña de azúcar se emplean para la generación de vapor, como sustituto de la leña para la cocción de alimentos, para la producción de compost y como alimento animal. Los residuos forestales constituyen una importante fuente de biomasa. Se estima que por cada árbol utilizado para la producción maderera,

sólo se aprovecha comercialmente alrededor del 20%. Un 40% queda en él como ramas y raíces y el restante 40% en el proceso de aserrado, en forma de astillas, corteza y aserrín (Atlas, 2014).

2.3. CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L*)

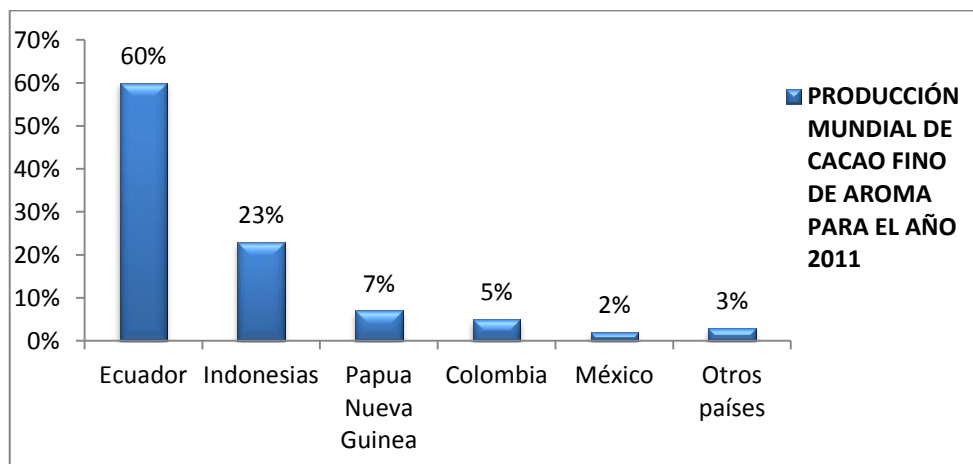
El cacao es una planta perenne, posee 20 cromosomas y su polinización es cruzada (alógama), su reproducción puede ser de forma sexual (semillas) o asexual (ramas). tiene una raíz principal pivotante muy profunda que puede llegar a medir hasta 1m de profundidad, el tallo es erecto el cual puede llegar a medir de 1m a 1,50m de altura, de este emergen las ramas en número de 3 a 5 con un crecimiento horizontal formando el llamado abanico o horqueta, cuando el árbol es adulto, las hojas son de color verde oscuro y delgado, de tamaño mediano y son de textura firme, Las flores salen donde antes habían hojas y siempre brotan en el mismo lugar, el fruto es una baya, tiene diferentes tamaños, colores y formas según la variedad. Tiene un tamaño aproximado de 30cm de largo y 10cm de ancho, por lo general contiene de veinte a cuarenta semillas y están rodeadas por una pulpa que se forma del integumento externo del ovulo (Torres, 2012).

Para el año 2010, de acuerdo a las estimaciones del MAGAP, la superficie sembrada corresponde a 491.221ha, de las cuales se ha proyectado una cosecha de 212.249 TM, con un rendimiento de 0,51 TM/ha. De la superficie sembrada aproximadamente el 80% corresponde a la producción de cacao fino de aroma y la diferencia a la variedad CCN-51, es importante anotar que esta última variedad se está propagando aceleradamente puesto que es altamente productiva lo que atrae a los productores.

En el Ecuador existe un tipo de cacao único en el mundo conocido con el nombre de “Nacional”, se indica datos de producción respecto a esta

variedad. El cacao Nacional se caracteriza por tener una fermentación muy corta y dar un chocolate suave de buen sabor y aroma, por lo que es reconocido internacionalmente con la clasificación de “Cacao fino de aroma” (MAGAP, 2012).

Gráfico 1. Porcentaje de producción de grano de cacao fino de aroma a nivel mundial.



Fuente: ICCO; 2012

Según datos de la Organización Internacional de Cacao, en Ecuador la variedad de cacao nacional, “fino de aroma”, representa el 75% de la producción, la diferencia corresponde a los ordinarios (ICCO, 2012).

El cacao ecuatoriano es reconocido mundialmente por sus características de aroma y color para la preparación de derivados (FLACSO-MIPRO, 2012), por ello el 22 de julio del 2005 el cacao fino y de aroma fue declarado “Producto simbólico del Ecuador” mediante Acuerdo Ministerial N°. 070 del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

2.4. CULTIVO DE NARANJA (*Citrus sinensis*, variedad valenciana)

Según la FAO, en el año 2010 se consumió 66,4 millones de toneladas de naranja, aproximadamente un 14 % más que la obtenida en el período 1997-99. En productos frescos se consumió 36,3 millones de toneladas de

naranja y como productos elaborados fueron consumidos 30,1 millones de toneladas (FAO, 2011).

La naranja (*Citrus sinensis*, variedad valenciana) es una de las frutas más populares y saludables del mundo. Tiene un alto contenido de vitamina C. Su sabor, especialmente de algunas variedades es realmente soberbio por su acidez y dulzura. Como todas las frutas cítricas contienen de un cuarenta a cincuenta por ciento de zumo, veinte a cuarenta por cien de piel y un veinte a treinta por cien de pulpa y semillas. Aproximadamente un 90 % de su contenido es agua con un 5% de azúcares.

La naranja que se produce en Ecuador, variedades común y valenciana se destina exclusivamente al mercado local en fresco. A pesar de que la vocación de la naranja Valenciana es servir como materia prima para la industria, la que se produce en el país no cumple con los requisitos exigidos para el procesamiento industrial ni en calidad ni en precio.

La naranja que compran los consumidores ecuatorianos se utiliza para exprimir y obtener jugo. No existe evidencia clara en el país sobre un consumo directo de la fruta fresca a escala masiva (Moposita/ Núñez, 2012).

2.5. CULTIVO DE MANDARINA (*Citrus reticulata*)

La mandarina es un cultivo antiguo del Ecuador y existen variedades tradicionales dependiendo de la zona de producción, en los valles cálidos de la sierra existe la mandarina pequeña, mientras que la mandarina grande es propia de la zona tropical; en las zonas subtropicales se encuentra la mandarina roja o rosada. Las zonas aptas para la producción de mandarina son las estribaciones de la cordillera, valles secos de la sierra y zonas tropicales húmedas. La superficie sembrada en el Ecuador es de 4.587 ha de manera asociada y 2.077 ha como monocultivo. III Censo Nacional Agropecuario (INEC, 2013).

Son árboles pequeños de 2-4m de altura, hojas unifoliadas, pecíolos con pequeñas alas y articulados con la vaina de la hoja; las flores son de color blanca, simples y ubicadas en las axilas de las hojas, ovario generalmente de 10 a 14 partes; el fruto es un tipo especial de baya (hesperidio), las semillas pueden ser monoembriónicas y poliembriónicas, la raíz pivotante con muchas raíces secundarias (Casaca, 2005).

Su forma se asemeja a una esfera achatada. Tiene entre 10 y 12 segmentos fácilmente separables con pulpa suave de color naranja intenso. Se desarrolla en climas de 18 y 23 grados centígrados (IGAC, 2000).

Cuando se siembra por primera ocasión hay que esperar entre cuatro y cinco años para cosechar. Luego es una vez cada año y se realiza entre mayo y agosto. Sus árboles cargan abundantes frutos y se desarrollan a través del cultivo asociado con árboles de naranjo, cacao y plátano. “Ese sistema ayuda para mejorar nuestros ingresos”.

La mandarina destaca su aporte en agua y calorías y el alto contenido en ácido ascórbico que posee, es el cítrico más parecido a la naranja, aunque de menor tamaño, su piel es gruesa y de color anaranjado fuerte. La pulpa es carnosa y está formada por un considerable número de gajos o celdillas llenos de jugo, los cuales contiene vitamina C, vitamina B, ácido cítrico, azúcar reductora y caroteno (Opara, 2000).

2.6. TIPO DE PODAS

Los tipos de podas más utilizados son:

a) Poda de Formación

Debe realizarse en los primeros años del cultivo y consiste en definir la arquitectura de las ramas principales del árbol, para lograr una buena distribución de sus ramas y follaje.

b) Poda de Limpieza

Consiste en efectuar podas periódicas de ramas rotas o dañadas por plagas y enfermedades. Esta práctica evita que se propague o se desarrolle con más facilidad una plaga o enfermedad.

c) Poda de Rejuvenecimiento

Se debe realizar en árboles envejecidos; la cual consiste en podar severamente el árbol para provocar un crecimiento nuevo y vigoroso; esta poda debe complementarse con fertilización, control de plagas, enfermedades y malezas (Casaca, 2005).

Figura 2. Poda anual del cacao nacional fino de aroma



Fuente:(MAGAP, 2015)

2.7. SISTEMAS DE CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA

A continuación se definen el conjunto de técnicas existentes para la cuantificación de la biomasa teóricamente existente en determinados sistemas de producción.

Tabla 3. Sistemas de cuantificación de biomasa residual agrícola

SISTEMA	DESCRIPCIÓN
I. Cuantificación de la biomasa forestal	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de la muestra • Medición de individuos mediante métodos dendométricos • Inferencia a la población
II. Biomasa de árboles frutales	Para valorar la biomasa leños a de los árboles frutales hay que considerar que estos poseen un tallo relativamente corto y la mayor cantidad de biomasa se concentra en la copa.
III. Biomasa en zonas arbustivas	Para la cuantificación de este tipo de biomasa es necesario establecer modelos dendométricos partir de mediciones sencillas de las plantas, como de la altura y diámetro del tallo.
IV. Biomasa procedente de podas	Existen relativamente pocos estudios que cuantifiquen la masa obtenida en la poda con experimentos específicos. Solo aparecen en la bibliografía estimaciones globales basadas en encuestas. Ello hace necesario la realización de experimentos que tengan en cuenta factores como tamaño de la planta, tipos de formación o tipos de poda.
V. Cuantificación de la biomasa ligada a la producción	La predicción de los rendimientos de los cultivos energéticos, ya sean herbáceos (oleaginosos o azucareros) o leñosos (sauces, eucaliptos). En estas plantaciones el sistema productivo va orientado desde su plantación a la obtención de biomasa energética como único o principal recurso.
VI. Determinación de biomasa mediante teledetección.	Los datos provenientes de la teledetección espacial han permitido estimar un amplio conjunto de variables biofísicas, tales como la clasificación de tipos de bosques, definir inventarios forestales y para la estimación cuantitativa de parámetros como volúmenes de biomasa de las superficies boscosas, humedad y temperatura; Mediante dos grandes grupos de tecnologías aplicadas para estos estudios: <ul style="list-style-type: none"> • Obtención de imágenes multiespectrales • Tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging).

Fuente: (Velásquez, et al. 2010)

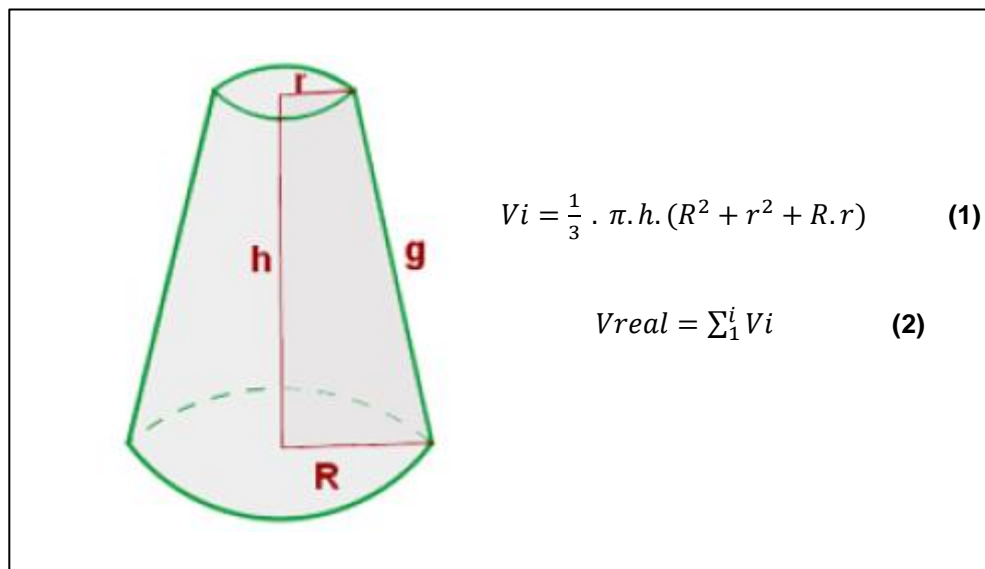
2.8. BIOMASA EN ÁRBOLES FRUTALES

A diferencia de los árboles forestales donde la medida se ha centrado tradicionalmente en la cubicación del tallo que es la parte utilizable por la industria maderera, si se desea valorar la biomasa leñosa de los árboles frutales hay que considerar que estos poseen un tallo relativamente corto y la mayor cantidad de biomasa se concentra en la copa. Es por ello que para cuantificar la biomasa existente en los árboles frutales enteros ha sido necesario desarrollar metodologías específicas basadas en la estimación de la biomasa contenida en la copa. Los árboles frutales poseen una estructura latifoliada distribuyéndose las ramas en estratos. Al primer estrato corresponden las ramas primarias que son las que parten del tallo principal. Según los cultivos su número puede variar entre 2 y 5 ramas. El segundo estrato está formado por las ramificaciones que parten de las ramas primarias que a su vez se ramifican en los sucesivos estratos tercero y cuarto. Generalmente a partir de este las ramificaciones se hacen múltiples con brotaciones del año formando un entramado complejo (Velázquez Martí, *et al.* 2010).

Para cuantificar la biomasa contenida en la copa de los árboles frutales se deben cubicar las ramas del estrato primero, y dependiendo del número de ramas del estrato segundo también estas pueden ser cubicadas en su totalidad. A partir de segundo estrato si el número de ramas es elevado debe contabilizarse el número de ramas del estrato estudiado y posteriormente realizar un muestreo. El conteo de las ramas del estrato puede realizarse mediante estimación contabilizando el número de ramas medio que se desarrollan por cada rama del estrato anterior. A las ramas seleccionadas para ser muestreadas se les determina su volumen real. Para la obtención del volumen real se miden los diámetros en secciones separadas una determinada distancia, por ejemplo cada 5 cm de longitud de rama. El volumen comprendido entre dos secciones forma un tronco cuyo valor viene dado por la ecuación 1. La suma de todos los volúmenes troncocónicos de

cada una de las porciones resultara el volumen real de la rama (ecuación 2). El volumen de biomasa en cada estrato viene dado por el producto de la media de volumen de las ramas medidas y el número total contenido en el estrato. La dispersión existente se determina a través del producto de este número por la desviación típica de las medidas realizadas (Velázquez Martí, *et al.* 2012).

Figura 3. Sección Tronco de Cono



Fuente: (Velázquez Martí, *et al.* 2012).

Dónde:

R: radio mayor.

r: radio menor.

h: longitud del intervalo.

V_i : volumen del tronco de cono comprendido entre dos secciones.

V_{real} : volumen total de la rama.

El volumen total ocupado por las ramas de la copa se puede relacionar con el volumen aparente de la misma, formado por los materiales constituyentes y los huecos existentes entre los mismos. El volumen aparente de las copas vendrá determinado por su diámetro que será un

promedio de dos rectas que se interceptan en el centro de la base de la copa formando un ángulo de 90° y la altura media de las mismas va desde la base al ápice. El diámetro y la altura media de las copas darán diferentes modelos de volumen aparente que se relacionara con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa. La relación entre el volumen aparente de la copa y el volumen real de las ramas que habitan en ella lo denominamos factor de ocupación (FO), que vendrá expresado por la ecuación. Conociendo el factor de ocupación, la altura del árbol junto con el diámetro de la copa se puede determinar el volumen y la biomasa de todas las ramas que forman el árbol analizado

$$FO = \frac{\text{Volumen real de las ramas en la copa}}{\text{Volumen aparente modelo de la copa}}$$

(Velázquez Martí, *et al.* 2012).

2.9. MODELOS MATEMÁTICOS

2.9.1. Concepto

Los modelos matemáticos son herramientas útiles para estimar el tiempo necesario en reducir la cantidad de agua del producto a diferentes condiciones de secado mejorando la eficiencia del proceso. (Andrade, 2003)

2.9.2. Modelos utilizados

De los modelos utilizados en esta investigación el modelo más simple es conocido como modelo exponencial o modelo de *Newton*, luego se presenta el modelo de *Page* que presenta una modificación empírica de la anterior introduciendo el exponente (n) al igual que el modelo de *Henderson-Pabis* que considera otro parámetro “a”.

Estos modelos empíricos derivan de una relación directa entre el contenido de humedad promedio y el tiempo de secado (Vega, 2006).

Normalmente los modelos no poseen una formulación teórica y son generalmente obtenidos a través de analogías matemáticas sencillas basados en datos experimentales y análisis estadísticos (Correa *et al.*, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio General de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar.

3.2. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

Tabla 4. Ubicación del experimento.

UBICACIÓN	LOCALIDAD
Provincia	Bolívar
Cantón	Guaranda
Sector	Laguacoto I

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

3.3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA

Tabla 5.- Parámetros climáticos del cantón Guaranda.

PARÁMETRO	VALOR
Altitud	2445 m.s.n.m.
17M	722867
UTM	9821770
Temperatura mínima	10°C
Temperatura media anual	14°C
Temperatura máxima	18°C
Humedad	74%

Fuente: (Estación Meteorológica. Universidad Estatal de Bolívar. Laguacoto II, 2014).

Tabla 6.- Parámetros climáticos del cantón Caluma.

PARÁMETRO	VALOR
Altitud	874 m.s.n.m.
17M	694023
UTM	9818908
Temperatura mínima	20°C
Temperatura media anual	22,8°C
Temperatura máxima	28°C
Humedad	95%

Fuente: (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2019 Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Caluma)

Tabla 7.- Parámetros climáticos del cantón Las Naves.

PARÁMETRO	VALOR
Altitud	383 m.s.n.m.
17M	685682
UTM	9858961
Temperatura mínima	18°C
Temperatura media anual	20°C
Temperatura máxima	26°C
Humedad	75%

Fuente: (Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Las Naves 2012-2014).

3.4. ZONA DE VIDA

Según la clasificación de las zonas de vida de L. Holdridge, el sitio corresponde al piso Bosque Húmedo Montano bajo o templado se extiende desde los 2.000 hasta los 3.000 m.s.n.m. con una temperatura de 12 a 18 °C. Con 2.000 mm de precipitación, cubre una superficie de 4.588 Km² (14.7 %) de la superficie total.

3.5. MATERIALES

3.5.1. Material experimental

- Poda de Cacao Nacional.
- Poda de Naranja Valenciana.
- Poda de Mandarina Injerta.

3.5.2. Material de campo

- Libreta de apuntes.
- Computadora portátil.
- Cámara fotográfica digital.
- Marcadores.
- Flexómetro.
- Balanza portátil.
- Equipo con sistema de posicionamiento global (GPS).
- Estación meteorológica portátil.
- Sierras.
- Fundas de celofán de 3x4.
- Cuerda.

3.5.3. Material de oficina

- Calculadora.
- Computadora.
- Flash memory.
- Impresora.
- Papel de impresión.
- Libretas de apuntes.
- Bolígrafos.

3.5.4. Material de laboratorio

- Estufa.
- Mufla.
- Balanza analítica.
- Analizador de humedad de lámpara halógena.
- Analizador Elemental.
- Láminas de titanio y zinc.
- Papel aluminio.
- Crisol.
- Materiales de limpieza (jabón, detergente).
- Pinzas.

3.5.5. Recursos institucionales

- Laboratorio General de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar.

3.5.6. Fuente de información

- Biblioteca General Universidad Estatal de Bolívar.
- Biblioteca Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente.
- Internet.
- Tesis.

3.6. FACTOR EN ESTUDIO

Tabla 8. Factores para cuantificación de biomasa residual

FACTOR	CODIGO	NIVELES
Localidad	A	a1 Caluma a2 Las Naves
Cultivo	B	b1 Cacao Nacional b2 Naranja Valencia b3 Mandarina injerta

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

3.6.1. Tratamientos

Tabla 9. Tratamientos para cuantificación de biomasa residual

TRATAMIENTOS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	
T1	a1 b1	Caluma	Cacao
T2	a1 b2	Caluma	Naranja
T3	a1 b3	Caluma	Mandarina
T4	a2 b1	Las Naves	Cacao
T5	a2 b2	Las Naves	Naranja
T6	a2 b3	Las Naves	Mandarina

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

3.6.2. Diseño experimental

Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), con arreglo factorial 2 X 3 con 5 Repeticiones

3.6.3. Modelo matemático

$$Y_{ij} = u + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ijk}$$

u=media

A_i= efecto factor A

B_j= efecto de factor B

AB_{ij} = Interacción AB

E_{ijk}= error

3.7. CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

Tabla10. Características del experimento y sus cantidades

CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
N° tratamiento	6
N° repeticiones	5
N° unidades experimentales	30
Tamaño de unidad experimental	5 Kg.

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015) en base a Montgomery, D y Runger, G. (1996).

3.7.1. Análisis de varianza

Para determinar las diferencias entre tratamientos se utilizara un ANOVA

Tabla 11. Análisis de varianza para el modelo de dos factores

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	Factor de Fisher (F_0)
Factor A	SS_A	a-1	$MS_A \frac{SS_A}{a-1}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Factor B	SS_B	b-1	$MS_B \frac{SS_B}{b-1}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Interacción AB	SS_{AB}	(a-1)*(b-1)	$MS_{AB} \frac{SS_{AB}}{(a-1) * (b-1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	a*b*(n-1)	$MS_E \frac{SS_E}{a * b(n)}$	-----
Total	SS_T	a*b*n-1	-----	-----

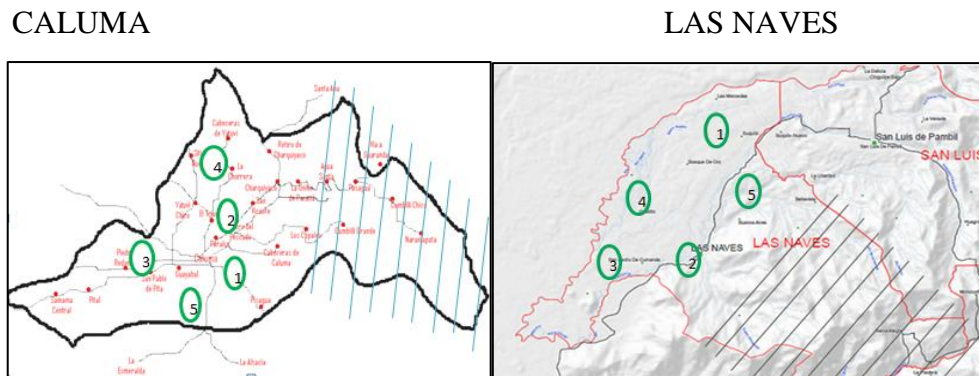
Fuente: Montgomery, D y Runger, G. (1996).

3.8. METODOLOGÍA

3.8.1. Prospección

- Se eligió 2 localidades (Cantones: Las Naves y Caluma)
- En cada localidad se escogió 5 sectores en los cuales se pueda obtener la misma variedad de cultivo y la misma altura, Como se muestra a continuación:

Figura 4. Mapas georeferenciados de los cantones Caluma y Las Naves



Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

- Se realizó la georeferenciación de cada uno de los 5 sectores y de cada sector se medirá un área de estudio de 50 x 50m (2.500 m²) en los cuales se tomaran en cuenta los siguientes datos: Altura (m.s.n.m.), Distancia de siembra, edad de la plantación, Cantidad de plantas por área en estudio y la Ubicación GPS.
- Al realizar el reconocimiento de los lugares estudiados, se logró presentar una perspectiva en cuanto al área de estudio, su magnitud y significancia, estos datos se tomaron tanto del cantón Las Naves y el cantón Caluma
- Se tuvo en cuenta que dentro del área de 50 x 50m se realizó la poda de 10 árboles y se tomaron medidas de altura total (m), altura del tronco (m), altura de la copa (m), diámetro del tronco (m) y diámetro de la copa (m), para posteriormente calcular su biomasa, de estos árboles se usaron las ramas sobrantes de la poda, pues se ocuparan 10 ramas por árbol y se tomaron los siguientes datos in situ, peso total de las ramas, peso de la madera, peso de las hojas y se hicieron montones para realizar el experimento.
- Con ayuda de la estación meteorológica portátil se obtuvo los datos de porcentaje de humedad relativa, temperatura, presión atmosférica, en cada sector a realizarse el muestreo

3.8.2. Metodología cinética de secado

Una vez tomada las muestras y los datos insitu continuamos con el experimento:

- La evaluación del proceso de secado se estudió al aire libre (superficie de concreto), para este caso se utilizó el edificio de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial.

- Las muestras codificadas se colocaron de manera ordenada según su sector y variedad.
- Las muestras se tomaron diariamente con una sierra y colocadas en fundas de celofán de 3X4 previamente codificadas.
- Estas muestras se llevaron al laboratorio para medir su humedad desde el día mismo de la recolección con ayuda de un Analizador de Humedad de luz halógena.
- Las mediciones diarias de ambos tipos se llevaron a cabo hasta que el porcentaje de humedad de las muestras se estabilizó.

3.8.3. Metodología análisis elemental

Una vez obtenida la biomasa seca se realizó el análisis elemental descrito en los siguientes pasos:

- La muestra seca se trituro hasta que se convierta en polvo
- Se pasó la muestra a través de un tamiz de 0.25mm.
- Se preparó las láminas de titanio y zinc en forma de cuenco para la muestra.
- Según el método de análisis a emplear en el analizador se pesó en la balanza una cantidad de biomasa de entre 20mg a 100mg.
- El peso total de la muestra contiene las dos terceras partes de reactivo (óxido de tungsteno) y una tercera parte de biomasa seca.
- Una vez anotado el peso de biomasa, y con el reactivo ya dispuesto en la lámina, se procedió al cierre de la misma con la ayuda de una prensa manual.

- Obteniendo unas pastillas las cuales se colocaron en el Analizador Elemental para su determinación.

4.1.2. Datos de ubicación sectores estudiados cantón Caluma

Cuadro 1.- Georeferenciación Caluma

SECTOR	ALTURA (msnm)	WATPOINTS	
		17M	UTM
TERESITA ALTO	370	694023	9818908
VÍA HUAMAS PUNGO	384	695460	9821179
PIEDRA REDONDA	244	688047	9820357
CHARQUIYACO	553	698252	9825171
YATUVI	233	689622	9821224

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 1 expresa la altura y coordenadas de los sectores del cantón Caluma, en los que se tomaron las muestras

4.1.3. Prospección cultivos de cacao, naranja y mandarina cantón Caluma

Cuadro 2. Prospección Cultivos Investigados

TIPO DE CULTIVO	VARIEDAD	Ubicación		Altura (msnm)	Dist. de siembra (m)	Edad Plant. (Años)	Cant. Plant. x área de 2500m ²
		17M	UTM				
CACAO	Nacional	694023	9818908	370	4,2 x 4,5	50	68
NARANJA	Valencia	694023	9818908	370	5,5 x 5,6	23	83
MANDARINA	Injerta	688038	9820353	232	6,8 x 6,9	19	45

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 2 muestra la variedad de los cultivos, ubicación, altura, distancia de siembra, edad de la plantación, y cantidad de plantas por área de 50x50

4.1.4. Sectores en estudio y datos meteorológicos cantón Caluma

Cuadro 3. Ubicación de las muestras y datos meteorológicos

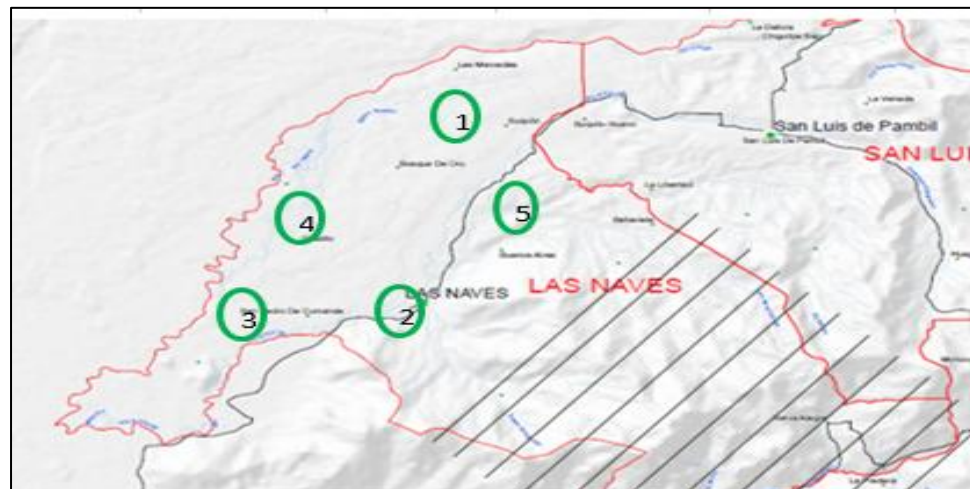
N°	SECTOR	TIPO DE SIEMBRA	Temp °C	HUMEDAD RELATIVA %		mmhg
				MAX.	MIN.	
1	TERESITA ALTO	Cultivos asociados	22.6	73.1	72.6	533.4
2	VÍA HUAMAS PUNGO	Cultivos asociados	23.5	75.4	70.8	
3	PIEDRA REDONDA	Cultivos asociados	23.2	67.4	66.7	
4	CHARQUIYACO	Cultivos asociados	21.6	75.6	71.9	
5	YATUVI	Cultivos asociados	24.2	66.7	66.3	

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 3, muestra los datos meteorológicos de los lugares de estudio, su temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.

4.1.5. Localización cantón Las Naves

Figura 6. Localización de las plantaciones cacao, naranja y mandarina en el cantón Las Naves.



Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

4.1.6. Datos de ubicación sectores estudiados cantón Las Naves

Cuadro 4. Georeferenciación Las Naves

SECTOR	ALTURA (msnm)	WATPOINTS	
		17M	UTM
LAS MERCEDES	89	686047	9858864
LAS NAVES	84	685682	9858961
SAN PEDRO	93	684939	9859999
GUABITO	86	684455	9860589
BUENOS AIRES	88	684909	9860247

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 5 manifiesta los lugares de estudio del cantón Las Naves, su altura y coordenadas.

4.1.7. Prospección cultivos de cacao, naranja y mandarina cantón Las Naves

Cuadro 5. Prospección cultivos investigados

Tipo de cultivo	Variedad	Ubicación		Altura (msnm)	Distancia de siembra (m)	Edad Plant. (años)	Cant. Plantas x área de 50x50m
		17M	UTM				
CACAO	Nacional	686047	9858864	91	4,30 x 4,9	51	68
NARANJA	Valencia	685638	9858922	87	5,7 x 5,6	23	83
MANDARINA	Injerta	684939	9859999	93	7 x 6,7	19	44

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 5 muestra la prospección de los cultivos investigados, es decir el tipo de cultivo, variedad, ubicación, altura, distancia de siembra, edad de la plantación, edad de las plantas y cantidad de plantas por área de 50x50m.

4.1.8. Sectores en estudio y datos meteorológicos cantón Las Naves

Cuadro 6. Ubicación de las muestras y datos meteorológicos

N°	SECTOR	TIPO DE SIEMBRA	Temp. °C	HUMEDAD RELATIVA %		mmhg
				MAX.	MIN.	
1	LAS MERCEDES	cultivos asociados	24.8	64.9	63.4	749.9
2	LAS NAVES	cultivos asociados	24.9	62.0	61.9	
3	SAN PEDRO	cultivos asociados	24.2	57.0	53.4	
4	GUABITO	cultivos asociados	24.6	63.4	62.2	
5	BUENOS AIRES	cultivos asociados	24.2	56.2	54.0	

Experimentales. (Castro V/ Ocampo J, 2015)

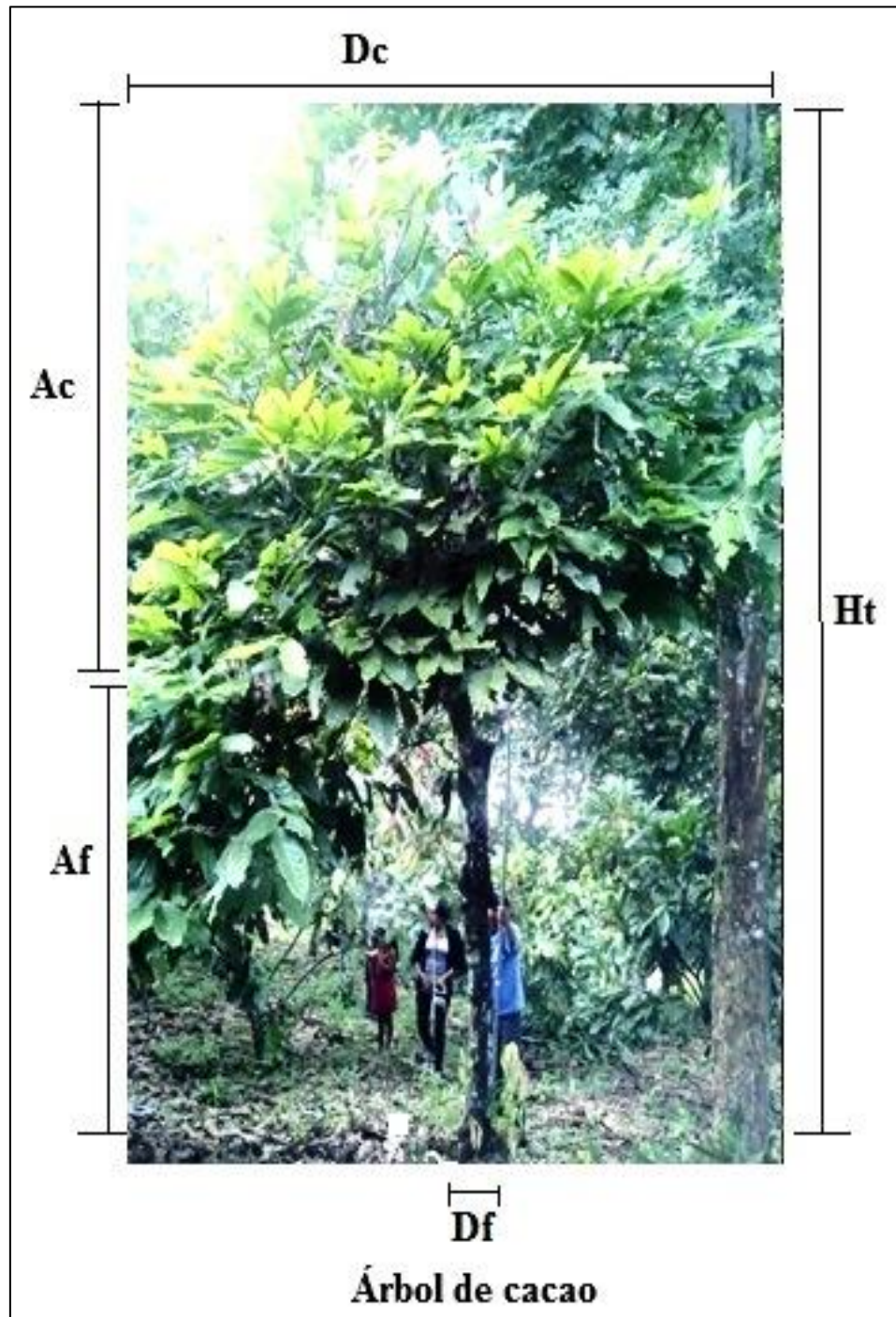
El cuadro 6, expresa los datos meteorológicos de los sectores de estudio del cantón Las Naves, su temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.

4.2. RESULTADO 2

Se cuantificó la Biomasa residual de los cultivos de cacao, naranja y mandarina mediante las variables dendométricas obtenidas in situ.

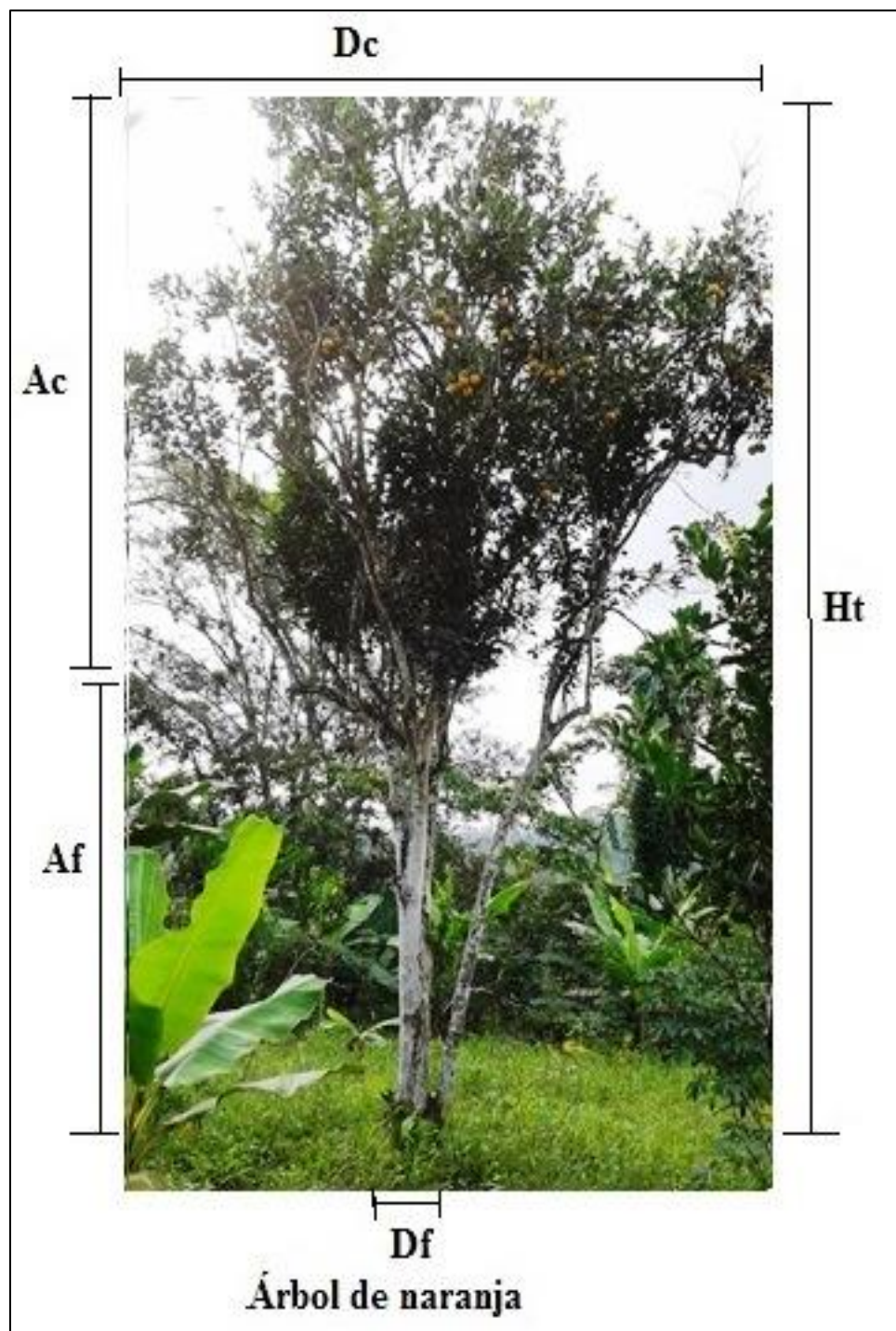
4.2.1. Variables dendométricas de los árboles de cacao, naranja y mandarina

Figura 7. Toma de variables del árbol de cacao



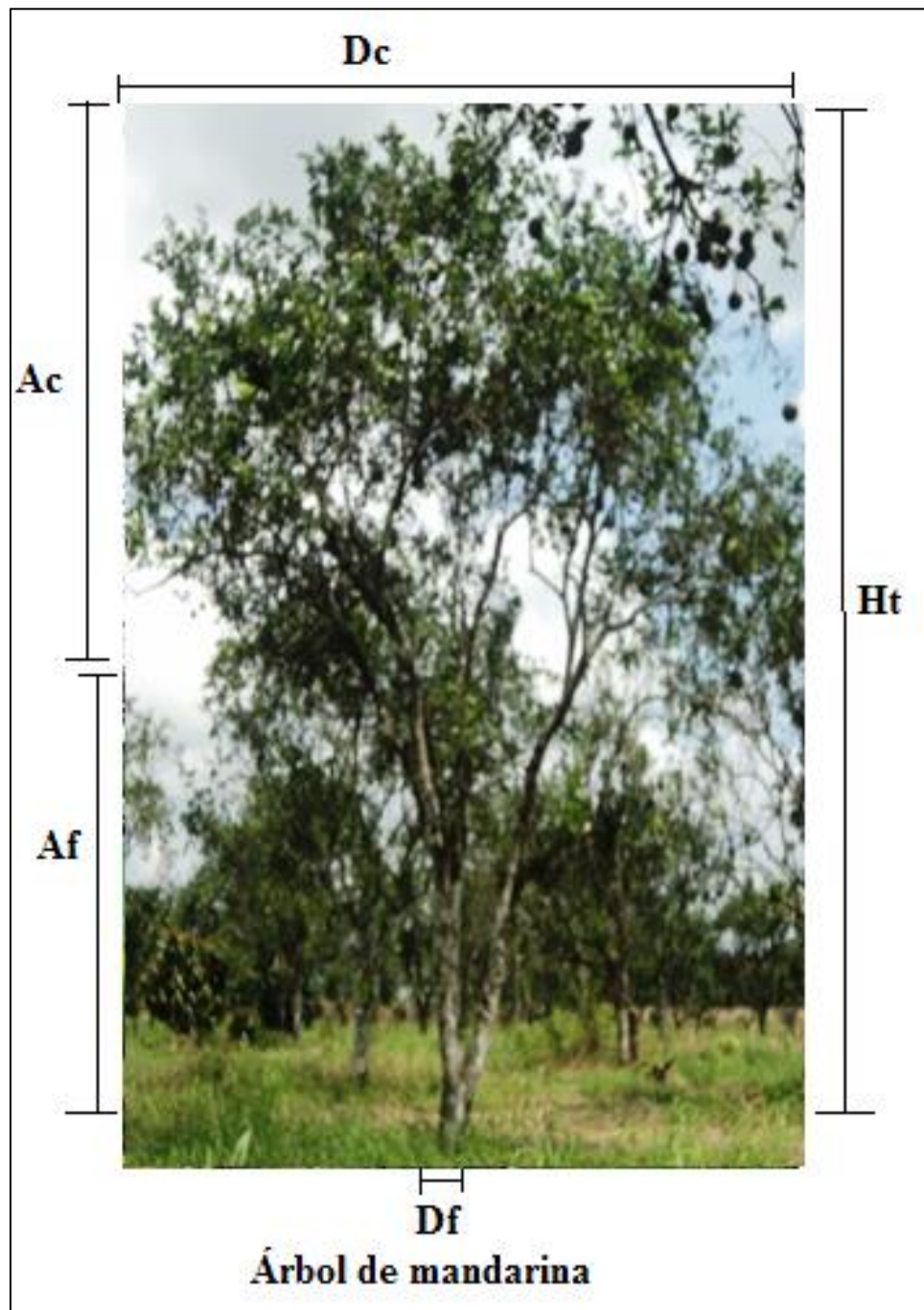
Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

Figura 8. Toma de variables del árbol de naranja



Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

Figura 9. Toma de variables del árbol de mandarina



Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

Diseño de Modelo logístico mediante las variables en estudio.

$$\beta = f(Ht, Hf, Hc, Dc, Pf, Df)$$

Dónde:

β = Biomasa

Ht= Altura total

Hc=Altura de la copa

Hf= Altura del fuste

Dc= Diámetro de la copa

Pf= Perímetro del fuste

Df= Diámetro del fuste

4.2.2. Datos para cuantificar la biomasa residual del cantón Caluma

Cuadro 7. Cuantificación de la biomasa residual, cantón Caluma

TIPO DE CULTIVO	PESO RAMA (Kg)	CANT. PLANT. X ÁREA DE 50X50m	BIOMASA 50X50 (Kg)	BIOMASA x Ha. (Kg)	SUP. COS. CALUMA (Ha.)	BIOMASA CALUMA (Kg)
CACAO	1,89	68	128,52	257,04	4770	1'226.080
NARANJA	4,36	83	361,88	723,76	5803	4'199.979
MANDARINA	1,91	45	85,95	171,90	198	34.036

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 7 nos muestra la cantidad de biomasa residual de los cultivos de cacao, naranja y mandarina en el cantón Caluma el cual fue 1'226.080, 4'199.979 y 34.036 respectivamente.

4.2.3. Datos para cuantificar la biomasa residual del cantón Las Naves

Cuadro 8. Cuantificación de la biomasa residual, cantón Las Naves

TIPO DE CULTIVO	PESO RAMA (Kg)	CANT. PLANT. X ÁREA DE 50X50m	BIOMASA 50X50 (Kg)	BIOMASA X HA. (Kg)	SUP. COS. LAS NAVES (Ha.)	BIOMASA LAS NAVES (Kg)
CACAO	2,88	68	195,84	391,68	6530	2'557.670
NARANJA	3,12	83	258,96	517,92	2932	1'518.541
MANDARINA	2,99	44	131,56	263,12	246	64.727

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 8 manifiesta la Biomasa residual agrícola del cantón Las Naves el cual tiene como resultado 2'557.670 Kg en el cultivo de cacao, 1'518.541 Kg en el de naranja y 64.727 Kg en mandarina.

4.2.4. Dantos dendométricos de los cultivos del cantón Caluma

Cuadro 9. Variables dendométricas, cantón Caluma

CULTIVO	H (m)	Hf (m)	Hc (m)	Dc (m)	Pf (m)
CACAO	6.48	3.32	3.15	5.51	0.37
NARANJA	6.46	2.86	3.60	5.12	0.05
MANDARINA	6.84	2.82	4.02	4.61	0.10

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 9 muestra las variables dendométricas de los cultivos de cacao, naranja y mandarina en el cantón Caluma, es decir su altura total (H),

altura del fuste (Hf), altura de la copa (Hc), diámetro de la copa (Dc) y perímetro del fuste (Pf).

4.2.5. Dantos dendométricos de los cultivos del cantón Las Naves

Cuadro 10. Variables dendométricas, cantón Las Naves

CULTIVO	H (m)	Hf (m)	Hc (m)	Dc (m)	Pf (m)	Df (m)
CACAO	6.99	3.55	3.44	5.24	0.34	0.11
NARANJA	5.61	1.87	3.74	3.97	0.49	0.16
MANDARINA	6.75	2.63	4.12	4.16	0.49	0.16

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 10 describe las variables dendométricas de los cultivos de cacao naranja y mandarina en el canton Las Naves, es decir su altura total (H), altura del fuste (Hf), altura de la copa (Hc), diámetro de la copa (Dc) y perímetro del fuste (Pf).

4.2.6. Resumen estadístico

Cuadro 11. Análisis de varianza para biomasa

<i>F V</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>RF</i>	<i>VP</i>
Efectos principales					
A:Factor A	1	0,06912	0,06912	1,64	0,2124
B:Factor B	2	10,1253	5,06264	120,21	0,0000
Interacciones					
AB	2	0,49734	0,24867	5,90	0,0082
Residuos	24	1,0108	0,042116 7		
Total	29	11,7025			

Experimentales: (Castro V / Ocampo J, 2015)

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual
Los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-p son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre biomasa calculada con un 95,0% de nivel de confianza.

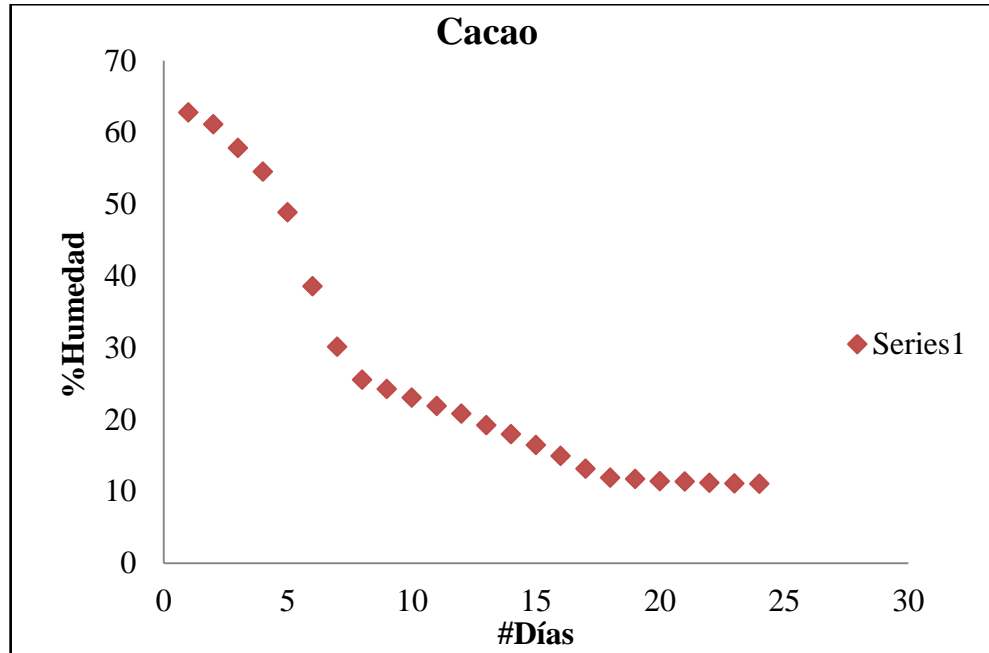
De acuerdo al valor de p-value 0,2124 para el factor localidad, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula al 5% de significancia, por lo que los diferentes tratamientos son iguales estadísticamente; la localidad Las Naves y Caluma presentan características similares en cuanto a producción de biomasa por cultivos.

4.3. RESULTADO 3

Se realizó la cinética de secado de los cultivos de cacao, naranja y mandarina, obteniendo los resultados de tiempo de secado, condiciones meteorológicas, porcentajes de humedad, para lo cual se utilizó un analizador de humedad de lámpara alógena, una estufa, además se llevó a cabo un análisis en el programa estadístico Polymath utilizando una bibliografía amplia de varios autores para comparar y determinar el mejor modelo de cinética de secado en los cultivos antes mencionados en los cantones Caluma y Las Naves.

4.3.1. Cinética de secado del cultivo de cacao en el cantón Caluma y su modelamiento estadístico

Gráfico 2. Cinética de secado del cacao



Experimentales. (Castro V/ Ocampo J, 2015)

Cuadro 12. Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de cacao

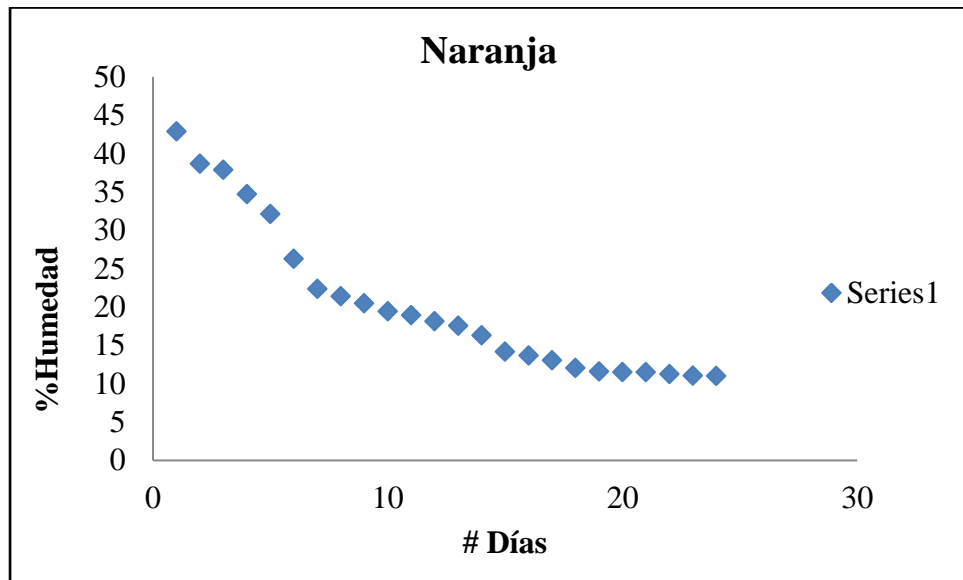
MODELO	ECUACION (MRC)	k	R ²	Rmsd
Verna	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + (1-a) \cdot \exp(-g \cdot T)$	0.2528	0.9866	0.0079
Two term model	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + b \cdot \exp(-g \cdot T)$	0.6717	0.9888	0.0072
Modified Henderson and pabis	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + b \cdot \exp(-g \cdot T) + c \cdot \exp(-h \cdot T)$	1.8301	0.9906	0.0066

Experimentales. (Castro V/ Ocampo J, 2015)

En el gráfico 2 muestra que la cinética de secado del cacao se ajusta a una regresión cuadrática con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9906$, esto está acorde al modelo planteado por *Modified Henderson and pabis* 2011.

4.3.2. Cinética de secado del cultivo de naranja en el cantón Caluma y su modelamiento estadístico

Gráfico 3. Cinética de secado de naranja



Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

Cuadro 13. Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de naranja

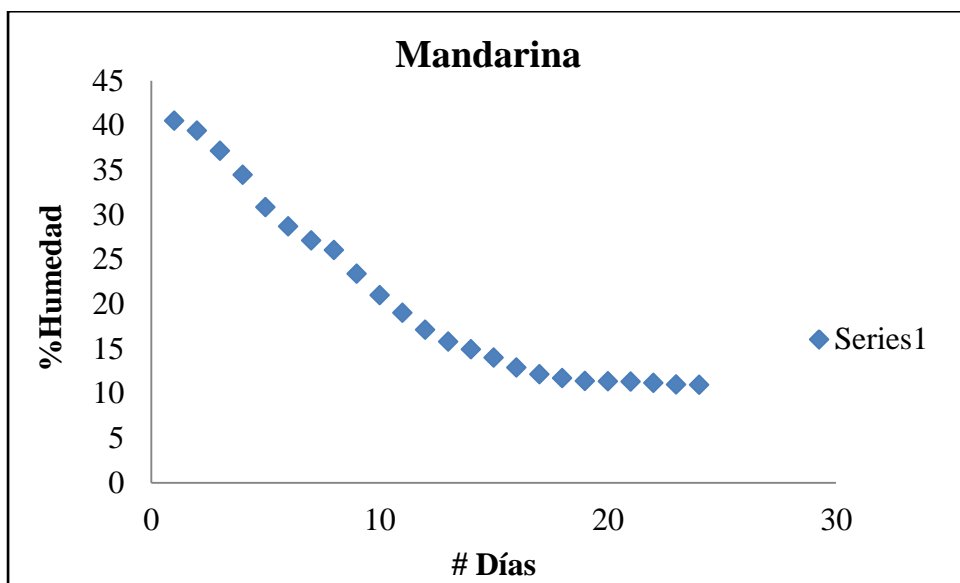
MODELO	ECUACION (MRN)	k	R ²	Rmsd
Henderson	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T)$	0.19698	0.96075	0.0129
Two term model	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + b \cdot \exp(-g \cdot T)$	0.43614	0.98989	0.0066
Modified Henderson and pabis	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + b \cdot \exp(-g \cdot T) + c \cdot \exp(-h \cdot T)$	0.80686	0.99706	0.0036

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

En el gráfico 3 representa que la cinética de secado de naranja se ajusta a una regresión cuadrática con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,997$ dado que la ecuación se acoge al modelo descrito por *Modified Henderson and pabis 2011*.

4.3.3. Cinética de secado del cultivo de mandarina en el cantón Caluma y su modelamiento estadístico

Gráfico 4. Cinética de secado de mandarina



Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

Cuadro 14. Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de mandarina

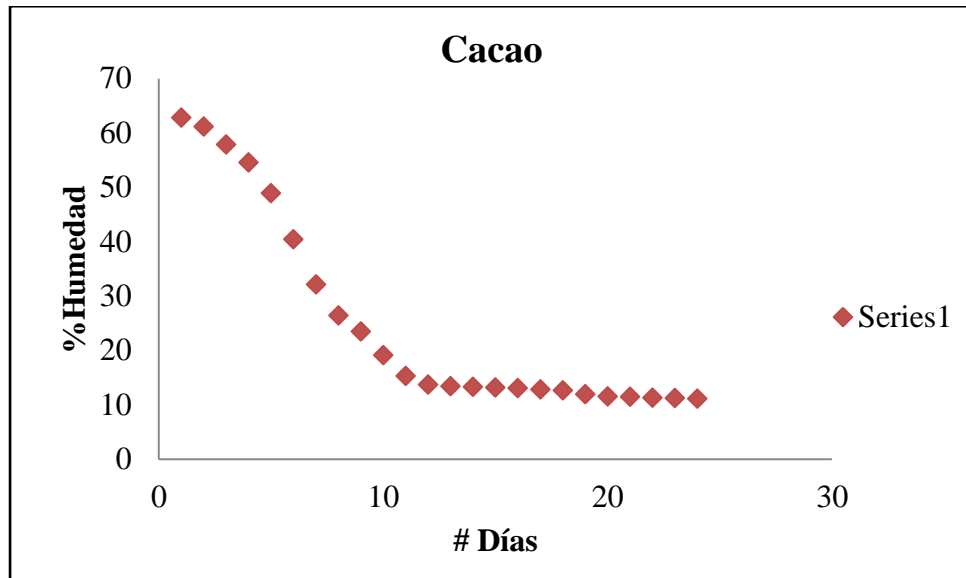
MODELO	ECUACION (MRM)	k	R ²	Rmsd
Logaritmica	MR = a*exp(-k*T)+b	0.09810	0.9890	0.00710
Henderson	MR = a*exp(-k*T)	0.67772	0.9944	0.00508
Page	MR = exp(-k*T^n)	0.01904	0.9969	0.00374

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

En el gráfico 4 indica que la cinética de secado de mandarina concuerda a una regresión cuadrática con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9969$ debido a que la ecuación se acoge de mejor manera al modelo previsto por Page 2011.

4.3.4. Cinética de secado del cultivo de cacao en el cantón Las Naves y su modelamiento estadístico

Gráfico 5. Cinética de secado del cacao



Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

Cuadro 15. Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de cacao

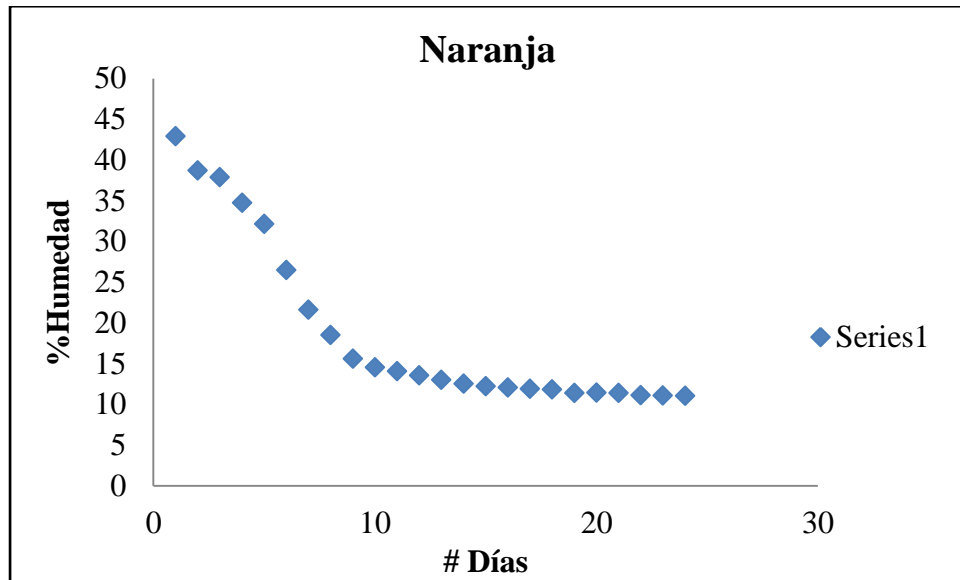
MODELO	ECUACION (MRC)	k	R ²	Rmsd
Henderson	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T)$	0.1843834	0.9476279	0.0163
Logarítmica	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + b$	0.1522855	0.9587349	0.0144
Page	$MR = \exp(-k \cdot T^n)$	0.0067955	0.9963921	0.0043

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

En el gráfico 5 podemos observar que la cinética de secado de cacao se ajusta a una regresión cuadrática con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,996$ debido a que la ecuación se acoge de mejor manera al modelo previsto por Page 2011.

4.3.5. Cinética de secado del cultivo de naranja en el cantón Las Naves y su modelamiento estadístico

Gráfico 6. Cinética de secado de naranja



Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

Cuadro 16. Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de naranja

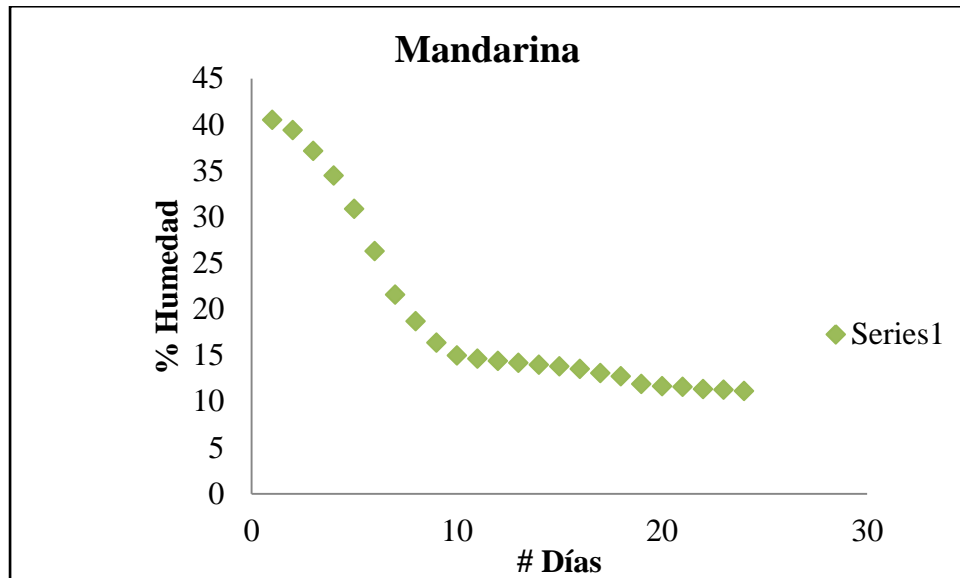
MODELO	ECUACION (MRN)	k	R ²	Rmsd
Two term	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot T)$	0.1969782	0.96075	0.0129
Logarítmica	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + b$	0.1718494	0.96706	0.0119
Henderson	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T)$	0.1969759	0.96075	0.0129

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

En el gráfico 6 observamos que la cinética de secado de naranja se ajusta a una regresión cuadrática con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9607$, dado que la ecuación se acoge mejor en el modelo planteado por Henderson 2011.

4.3.6. Cinética de secado del cultivo de mandarina en el cantón Las Naves y su modelamiento estadístico

Gráfico 7. Cinética de secado de mandarina



Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

Cuadro 17. Modelo estadístico para la cinética de secado en el cultivo de mandarina

MODELO	ECUACION (MRM)	k	R ²	Rmsd
Logarítmica	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + b$	0.1652443	0.96721	0.0121
Page	$MR = \exp(-k \cdot T^n)$	0.0168187	0.98338	0.0086
Two term model	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot T) + b \cdot \exp(-g \cdot T)$	0.2754405	0.99088	0.0063

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

En el gráfico 7 se muestra que la cinética de secado de mandarina se acoge a una regresión cuadrática con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,9908$, dado que la ecuación que mejor se acoge es el modelo *Two term model 2011*.

4.3.7. Discusión de cinética de secado

Podemos observar que durante la cinética de secado no existe diferencia clara entre cultivos por lo que el descenso de la humedad hasta el 30% es rápido dado que es el punto de saturación de la fibra (PSF). Debajo de esta el porcentaje de humedad ya comienza a estabilizarse.

Según los estudios realizados por *Fuentes, 2001*. Estima que las maderas contienen agua libre en sus células, por el cual solo se manifestará una reducción de su peso, sin embargo, cuando se inicia la evaporación del agua que se encuentra saturando las paredes celulares de las mismas células (agua higroscópica) empieza el PSF.

El secado de las muestras de la poda de cacao, naranja y mandarina de dos cantones de la provincia Bolívar (Caluma y Las Naves) se llevó a cabo al aire libre, utilizando una superficie de cemento. Los Gráficos 2-7 muestran las curvas de secado para las diferentes variedades de cultivos estudiadas. Como se puede observar, el contenido de humedad inicial era del 60%, 43% y 40% en cacao, naranja y mandarina respectivamente, alcanzando un valor constante en 24 días al 11%.

Los Cuadros 12-17 manifiestan los modelos de secado para definir la relación de humedad en función del tiempo. Se observa que los datos promedio encajan con diferentes modelos de secado, en el cantón Caluma para el cultivo de cacao se ajusta el modelo de *Modified Henderson and pabis* con un $R^2 = 0,9906$, para el cultivo de naranja el modelo de *Modified Henderson and pabis* con $R^2 = 0,9970$ y para el cultivo de mandarina el modelo de *Page* con un $R^2 = 0,9969$ y en el cantón Las Naves para el cultivo de cacao el modelo que mejor encaja es el descrito por *Page* con un $R^2 = 0,9963$, para el cultivo de naranja el modelo de *Henderson* con $R^2 = 0,9607$ y en la mandarina el modelo q mejor se ajusta es el *Two term*

model con un $R^2 = 0,9908$, se escogió los modelos que se muestran con el mejor ajuste.

4.3.8. Determinación y modelamiento de curvas de secado

Tabla 12. Modelos matemáticos para obtener las curvas de secado de productos agrícolas.

NOMBRE MODELO	MODELO DE ECUACION
<i>Diffusion</i>	$MR = a*exp(-k*T)+(1-a)*exp(-k*b*T)$
<i>Henderson</i>	$MR = a*exp(-k*T)$
<i>Two term</i>	$MR = a*exp(-k*T)+b*exp(-k_1*T)$
<i>Verna</i>	$MR = a*exp(-k*T)+(1-a)*exp(-g*T)$
<i>Midilli</i>	$MR = a*exp(-k*T^n)-b*T$
<i>Page</i>	$MR = exp(-k*T^n)$
<i>Modified Henderson and pabis</i>	$MR = a*exp(-k*T)+b*exp(-g*T)+c*exp(-h*T)$
<i>Newton</i>	$MR = exp(-k*T)$
<i>Two term model</i>	$MR = a*exp(-k*T)+b*exp(-g*T)$
<i>Logarítmica</i>	$MR = a*exp(-k*T)+b$

Fuente: (Corrêa, 2011)

Dónde:

MR = razón de humedad.

T= tiempo de secado.

k, k₀, k₁ = constantes de secado.

a, b, c, n = coeficientes de ajuste.

4.4. RESULTADO 4

Se ejecutó el análisis elemental de C, H, N en los cultivos de cacao naranja y mandarina descritos en el Cuadro 18.

4.4.1. Resultados del análisis elemental a los cultivos de cacao, naranja y mandarina.

Cuadro 18. Análisis elemental.

CULTIVOS	C %	H %	N %	S%
Cacao (Nacional)	43.54	5.544	0.72	0,19
Naranja (Valencia)	43.76	5.846	1.20	0,24
Mandarina (Injerto)	44.51	5.841	0.90	0,18

Experimentales. (Castro V / Ocampo J, 2015)

El cuadro 18, muestra los porcentajes de los análisis elementales de Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno realizados a los cultivos de Cacao, Naranja y Mandarina, estos resultados están acorde a lo presentado por Borja 2012, que realizó Cálculo del volumen de biomasa de los árboles de cítricos donde se obtuvo los análisis elementales de C 43,03%, H 5,73%, N 1,27% y S 0,24%.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Con la realización de este estudio se ha buscado el facilitar la disponibilidad de una información para la provincia de Bolívar, en la que se ha cuantificado el potencial de sus residuos biomásicos agrícolas, considerando como residuos a aquellos materiales generados en las actividades humanas que no tienen valor económico.
- Aprovechar la biomasa residual agrícola de los residuos de poda de cacao, naranja y mandarina para la producción de recursos energéticos renovables.
- Se ha cuantificado la cantidad de biomasa en los Cantones Caluma y Las Naves, cuyos resultados son 5'460.096 Kg y 4'409.390 Kg respectivamente. Lo que significa que existe un alto porcentaje de residuos procedente de podas que pueden ser utilizados como combustibles, y/o fuentes de energía.
- La cinética de secado de los cultivos antes mencionados responden a una regresión cuadrática dado que la ecuación se acoge a la parábola formada del conjunto de datos obtenidos durante este proceso, el descenso de la humedad hasta el 30% es rápido debido que es el punto de saturación de la fibra y debajo de éste el porcentaje de humedad ya comienza a estabilizarse.
- La relación de los elementos (C, H y N), nos permite obtener biomasa de buena calidad la cual sirve de materia prima para obtener energéticos renovables.

- Concluimos que este estudio es importante en lo científico debido a que no existe disponibilidad de datos actualizados publicados en revistas científicas sobre las aplicaciones de metodologías de cuantificación de estos cultivos, en los cantones de Las Naves y Caluma (Subtrópico de la provincia Bolívar); además no sea generado datos sobre la composición físico química, lo que le da un carácter de originalidad al estudio.

5.2. RECOMENDACIONES

- La tecnología seguida en el presente trabajo es muy amplia, pudiéndose aplicar a procesos industriales de carácter complementario en donde se trata de aprovechar los residuos biomásicos procedentes del proceso de poda de cacao, naranja y mandarina como recursos energéticos.
- La metodología aplicada en la cinética de secado se realizó con la ayuda de un analizador de humedad de luz alógena el cual es muy eficaz en cuanto a tiempo pero con respecto a la capacidad es recomendable que se valide el proceso utilizando el método convencional en estufa durante 24 horas a 105°C.
- Para realizar el análisis elemental las muestras deben ser previamente secas y pulverizadas, ya que entre menos presencia de humedad obtendremos mejores resultados.
- Este estudio aborda una línea de investigación novedosa que recomendamos sea ampliado en futuros estudios científicos por parte de la Escuela De Ingeniería Agroindustrial, enfocándose en otros cultivos y otras zonas de estudio como pueden ser cantones, parroquias, comunidades, tanto de la región sierra como de la costa,

convirtiéndose por tanto en una oportunidad ser un referente a nivel local, regional y nacional en la realización de este tipo de estudios.

VI. RESUMEN Y SUMMARY

6.1. RESUMEN

En la ciudad de Guaranda, Sector Laguacoto 1, Universidad Estatal de Bolívar, Escuela de Ingeniería Agroindustrial Matriz se realizó la investigación que tuvo como objetivo la cuantificación de la Biomasa residual agrícola en la provincia Bolívar, el diseño aplicado fue un diseño completamente al azar con tres repeticiones, dicha prueba permitió evaluar la cantidad de biomasa calculada de los cultivos de cacao, naranja y mandarina en los cantones Caluma y Las Naves e identificar qué modelo matemático se acoge de mejor manera para cada tipo de cultivo.

Al realizar el reconocimiento de los lugares estudiados se llevó a cabo una perspectiva en cuanto al área de estudio, su magnitud y significancia, estos datos se hicieron tanto del cantón Las Naves como del cantón Caluma tomando como área de estudio 50 x 50 metros en los cuales se escogieron 10 árboles completamente al azar y de cada uno de estos se podaron 10 ramas.

Se tomaron medidas de las variables dendométricas de altura total, altura del tronco, altura de la copa, diámetro del tronco y diámetro de la copa, para el cálculo de biomasa, los cuales tuvieron como resultados que en el cantón Caluma existe un aproximado de 1'226.080 Kg en el cultivo de cacao, en el de naranja se obtuvo 4'199.979 Kg, y por último en el cultivo de mandarina 34.036 Kg. Por otra parte en el cantón Las Naves se obtuvo 2'557.670 Kg en el cultivo de Cacao, en el de naranja 1'518.541 Kg y en el de mandarina 64.727 Kg.

Una vez ubicadas las muestras en la superficie de secado (cemento), se tomaran pequeñas porciones de las mismas para ser analizadas y determinar su porcentaje de humedad actividad que se realizó diariamente hasta que esta se estabilice, alcanzando un valor constante de 11% en 24 días.

Finalmente se llevó a cabo el proceso de análisis elemental en donde se determinó el porcentaje de Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno en los cultivos antes mencionados.

6.2. SUMMARY

In the city Guaranda, Sector Laguacoto 1, Bolivar University State of, School of Agro industrial Engineering Counterfoil carried out the investigation that took as an aim the quantification of the residual agricultural Biomass in the province Bolivar, the applied design was a design completely at random with three repetitions, the above mentioned test allowed to evaluate the quantity of biomass calculated of the crops of cocoa, orange and mandarin in the cantons Caluma and Las Naves and to identify what mathematical model takes refuge of better way for every type of crop.

On Having realized the Recognition of the studied Places A perspective was carried out as for the area of study, his magnitude and significance, this Information took so much of the Canton Las Naves as of the Canton Caluma taking 50 as an area of study x 50 meters in which 10 trees were chosen completely at random and of each of these they were pruned 10ramas.

They were taken measurements of the variables dendométricas of total height, height of the trunk, height of the glass, diameter of the trunk and diameter of the glass, for the calculation of Biomass, which took as results that in the Canton Caluma exists brought near of 1 ' 226.080 Kg in the crop of cocoa, in that of orange were obtained 4'199.979 Kg, and finally in the crop of mandarin 34.036 kg.

On the other hand in the Canton Las Naves were obtained 2'557.670 Kg in the crop of Cocoa, in that of orange 1 ' 518.541 Kg and in that of mandarin 64.727 kg.

Once located the samples in the surface of dried (cement), were taking small portions of the same ones to be analyzed and to determine his percentage of dampness activity that was realized every day until this one becomes stable, reaching a constant value of 11 % in 24 days.

Finally it carried out the elemental analysis process in which the percentage of carbon, hydrogen and nitrogen in the above cultures was determined

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Andrade, E. T.; Borém, F.M.; Haridoim, P. R. Cinética de secagem de café cereja, bóa e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v.1, 2003.
2. ESIN Consultora S.A. Atlas Bioenergética de la República del Ecuador, 1ª. Edición. Instituto Nacional de Pre inversión. Ecuador, (2014).
3. Barriga, A. (2011), Potencialidades de Uso Energético de la Biomasa (Beneficios Socio Ambientales y Económicos). ESPOL – ECUADOR.
4. Carreño Sánchez, Juan. “Modelos de predicción de poder calorífico basados en parámetros estructurales de biomásas procedentes de los invernaderos de Almería 2013”. Directores: Ángel Jesús Callejón Ferre, María Dolores Suárez Medina. Universidad de Almería, Centro de Estudios de Postgrado, 2013.
5. Casaca, A. D. (2005), Documento Técnico, Guías Tecnológicas De Frutas Y Vegetales, El Cultivo de Mandarina (*Citrus reticulata*). PROMOSTA, 2000 ejemplares.
6. Correa, P. Mendes, F. Modelación matemática del proceso de secado de las mazorcas de maíz. Departamento de Ingeniería Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa. DOI: 10.4025 / actasciagron.v33i4.7079. 2007.
7. Corrêa P, Botelho F. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. *Acta Scientiarum. Agronomy* 2011; DOI: 10.4025 /actasciagron. v33i4.7079.

8. Damien, A. (2010). La Biomasa. Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones. Editorial Mundi-Prensa. España.
9. Enciso Encinas, Enrique. Proyecto Guía Para El Uso Y Aprovechamiento De La Biomasa En El Sector Forestal. España: 2006. 33 p. Asociación Nacional de Empresas Forestales.
10. FLACSO-MIPRO, 2012. Elaboración de cacao y sub elaborados. Disponible en:
<http://www.flacso.org.ec/portal/pnTemp/PageMaster/g3bzawibeka4sqfx4hj8jy9j8dpjkz.pdf> el 23 de junio del 2013.
11. FAO. (2011). Morfología de la naranja. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/fao/006/x6732s/x6732s03.pdf> (2011).
12. Fuentes M. “Estimación del Punto de Saturación de la Fibra (PSF) de las Maderas” División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. México, 2001.
13. García, J., Machimura, T. & Matsui, T. (2013). A Nation-wide Planning of Agro-residue. Utility for Bioethanol Production and Power Generation in Ecuador. Energy Procedia.
14. Garrido, S. (2009-2012). Centrales Termoeléctricas de Biomasa. Renovetec Madrid.
15. Informe Final Producto 1: Línea Base de las Tecnologías Energéticas. [Ecuador]: Observatorio de Energías Renovables en América Latina y el Caribe, 2011.

16. ICCO, 2012. World Cocoa Economy. Descargado de: http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/doc_download/442-the-world-cocoa-economy-past-and-present-26-july-2012.html el 22 de junio del 2013.
17. IGAC. 2000. Estudio general de suelos de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta. Subdirección de Agrología. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.
18. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Catálogo [en línea]. <<http://www.iner.gob.ec/biomasa/>> [Consulta: 16 de marzo de 2015].
19. Kahr, H., Wimberger, J., Schürz, D., & Jäger, A. (2013). Evaluation of the Biomass Potential for the Production of Lignocellulosic Bioethanol from Various Agricultural Residues in Austria and Worldwide. *Energy Procedia*, 40, 146–155. Retrieved from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213016123>.
20. Khan AA, Jonga WD, Jansens PJ, Spliethoff H. Biomass combustión in fluidized bed boilers: potential problems and remedies. *Fuel Process Technol* 2009; 90; 21–50, doi:10.1016/j.fuproc.2008.07.012.
21. MAGAP, 2012. Proyecto de reactivación del café y cacao nacional fino de aroma. Viceministerio de Desarrollo Rural, Ecuador.
22. MAGAP, 2015. Poda de árboles de cacao nacional. Proyecto de Reactivación de Cacao Fino Nacional de Aroma. Disponible en: <http://www.agricultura.gob.ec/poda-de-plantas-de-cacao-reactivan-la-produccion-en-el-oro/>.

23. Mena, Alfredo, et al. “La investigación y desarrollo de energías renovables en el Ecuador. Análisis crítico”. Corporación para la Investigación Energética, CIE. 2002.
24. Moposita, D. Núñez D. (2012). “Obtención De Aceites Esenciales De La Cáscara De Naranja (*Citrus sinensis*, *Variedad valenciana*) A Través Del Método De Destilación Por Arrastre De Vapor, Utilizando Tres Concentraciones De Bicarbonato De Sodio Para Incrementar Su Rendimiento”, Tesis de grado previa a la obtención de título de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Estatal De Bolívar.
25. Opara, L.U. 2000. Fruit growth measurement and analysis. Hort. Rev. 24, 373-531.
26. PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2012-2019. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal De Caluma. Fundación Santiago de Guayaquil. Directora: Arq. María Eloísa Velázquez Pezo.
27. PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL GADM LAS NAVES, 2012-2014. Director: Arq. Harol Verdezoto Alarcón.
28. Torres Gutiérrez, Luis Andrés. “Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico”. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2012.
29. Yu, S. S., Wu, C. Y., Wang, S. Z., Hu, M. J. 2011. The Actualities and Prospects of Ultrasound-based Pattern Recognition in Crop Feature Extraction. Mechanical, Industrial, and Manufacturing Engineering.

30. Vargas Moreno, José Manuel. "Revisión de modelos matemáticos de predicción de poder calorífico de materiales biomásicos. Propuesta de nueva metodología 2012". Director: Ángel Jesús Callejón Ferre. Universidad de Almería, Centro de Estudios de Postgrado, 2012.
31. Vassilev SV, Baxter D, Andersen LK, Vassileva CG. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel* 2010; 89: 913-33, doi:10.1016/j.fuel.2009.10.022.
32. Vega, A. Tello, C. (2006). Simulación Matemática Del Proceso De Secado De La Gracilaria Chilena (*Gracilaria chilensis*). *Revista chilena de ingeniería*, vol. 15 N° 2007.
33. Velázquez-Martí B, Annevelink E. GIS application to define biomass collection points as sources for linear programming of delivery networks. *T ASABE* 2009; 52:1069-78.
34. Velázquez-Martí B, Fernández-González E, López-Cortés I, Salazar-Hernández DM. Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean almond groves. *Renew Energy* 2010; 36:621-6, doi:10.1016/j.renene.2010.08.008.
35. Velázquez-Martí B, Calculation of biomass volume of citrus trees from an adapted dendrometry. 2012; doi:10.1016/j.biosystemseng.2012.04.011.

ANEXOS

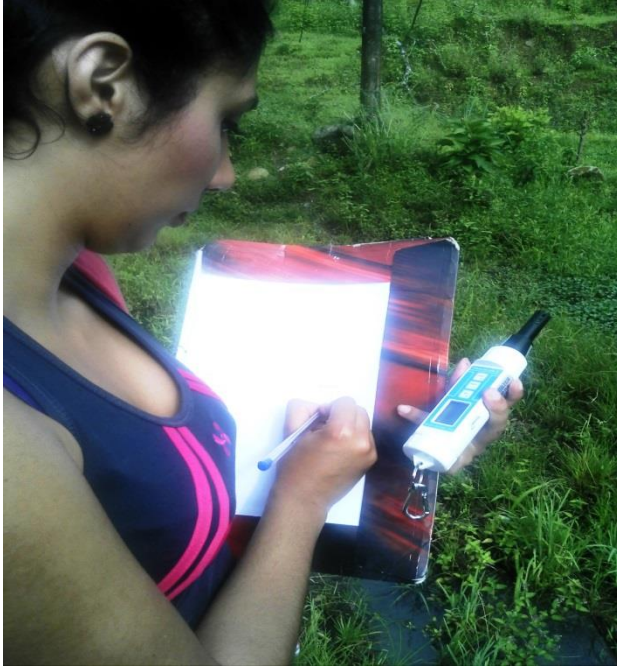
ANEXO 1

UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

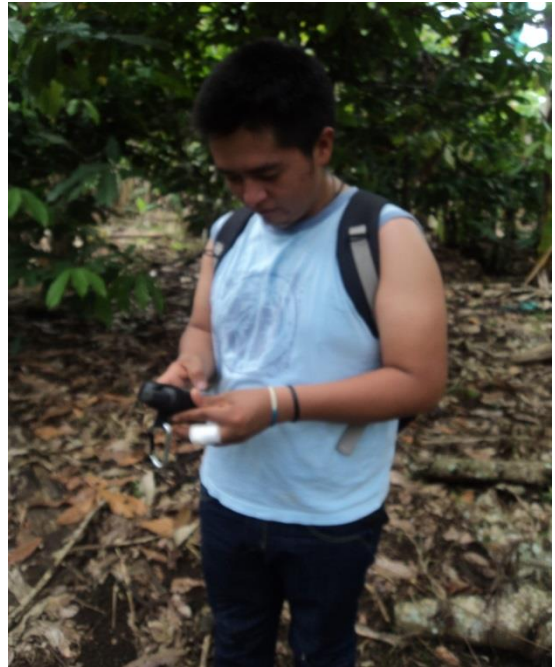


ANEXO 2

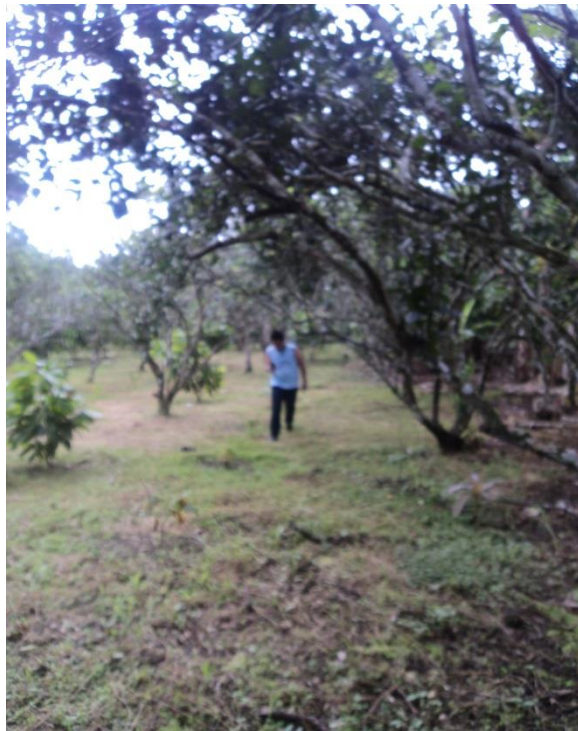
FOTOS DEL PROCEDIMIENTO.



Datos meteorológicos



Georeferenciación



Recorriendo el perímetro de estudio 50 x 50m.



Medición distancia de siembra entre plantas



Poda de árboles de Mandarina



Poda de árboles de Naranja



Poda de árboles de Cacao



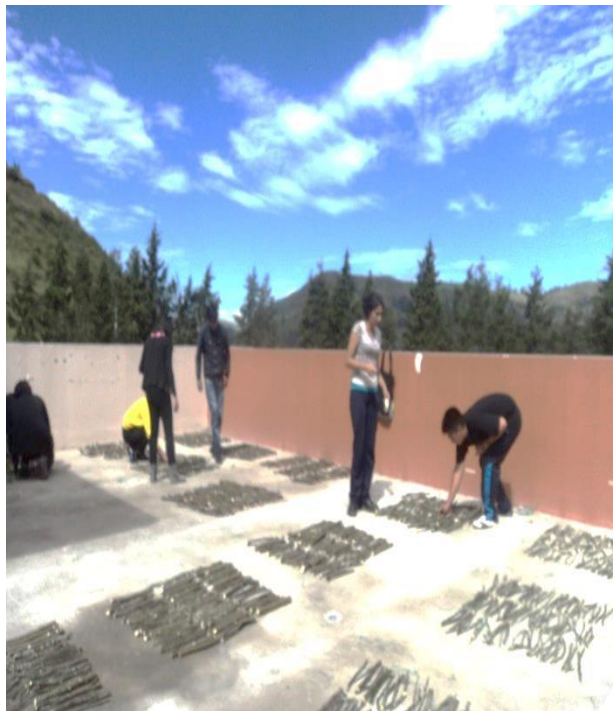
Peso ramas



Peso Hojas



Muestras para el Experimento



Distribución de las muestras en la superficie de secado



Toma de muestras



Determinación de humedad (Analizador de luz halógena)



Pesado de la muestra



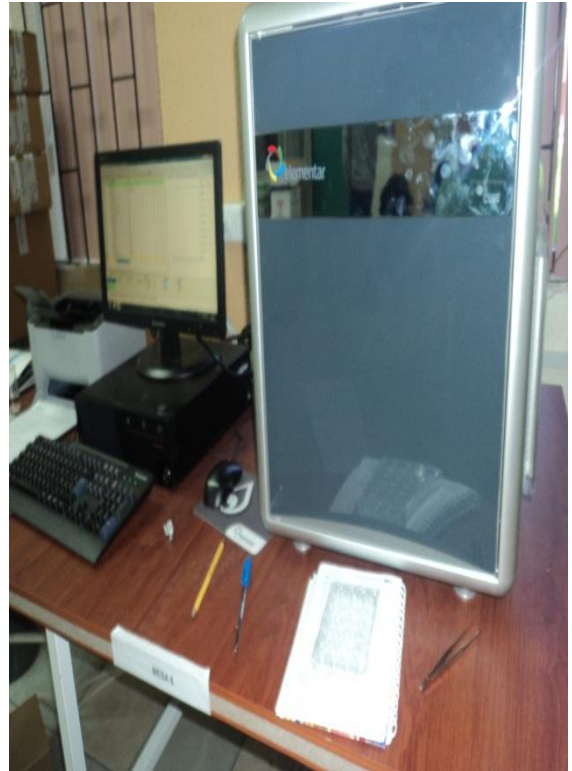
Contraste de la humedad por el metodo de Estufa a 105°C



Preparación de las muestras para el Analizador Elemental



Colocación de las muestras



Proceso y resultados del análisis elemental

ANEXO 3

GLOSARIO DE TERMINOS

1. **Cultivos Energéticos:** Están integrados por una serie especies vegetales cuya cosecha (biomasa), a diferencia de los cultivos agrícolas tradicionales, se dedica a la producción de energía. Pueden ser de tipo herbáceo (girasol, soja, palma) o leñoso (sauce, eucalipto).
2. **Especies C4:** Se llama C4 porque el CO₂ primero es incorporado a un compuesto de carbono- 4; se lleva a cabo en las células internas y mantiene las estomas abiertas durante el día, requiere de una anatomía especializada llamada "Anatomía de Kranz". Es más rápida que la C3 bajo altas condiciones de luz y temperatura ya que el CO₂ es transportado directamente al rubisco impidiendo que tome oxígeno y por lo tanto que pase por la foto respiración.
3. **Prospección:** Exploración de posibilidades futuras basadas en indicios presentes.
4. **Cogeneración:** Producir una cosa al mismo tiempo que otra.
5. **Licuefacción:** Se basa en hidrogenación indirecta. Las moléculas complejas de celulosa y lignina son rotas, el oxígeno es removido, y se adicionan átomos de hidrogeno. El producto de esa reacción química es una mezcla de hidrocarburos que al enfriarse se condensan en un líquido.
6. **Pirólisis:** Combustión incompleta de a biomasa en ausencia de oxígeno, a unos 500 °C, se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal.

7. **Lignina:** Sustancia que aparece en los tejidos (polímero) leñosos de los vegetales y que mantienen unidas las fibras de celulosa que lo componen. La lignina lo constituye el 25% de la madera.
8. **Celulosa:** Hidrato de carbono que es el componente básico de la membrana de las células vegetales.
9. **Hemicelulosa:** Forma parte de las paredes de las células vegetales, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina, aunque son más solubles y se extraen y descomponen con más facilidad.
10. **Dendroenergía:** La FAO define dendroenergía como toda la energía obtenida a partir de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos primarios y secundarios derivados de los bosques, árboles y otra vegetación existente en terrenos forestales

ANEXO 4

DISEÑO DE TABLAS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 13. Modelo para toma de datos de las plantaciones por tipo de cultivo

Tipo de cultivo	Ubicación		Altura (msnm)	Distancia de siembra	Edad Plantación	Cant. Plantas x área de 50x50m
	17M	UTM				
CACAO	686047	9858864	91	4,30x4,90	51	68
NARANJA	685638	9858922	87	5,7 X 5,6	23	83
MANDARINA	685638	9859999	93	7 X 6,7	19	44

Experimentales: (Castro V / Ocampo J, 2015)

Tabla 14. Modelo para toma de datos dendométricos por cada árbol

Datos/ árbol	LOCALIDAD: 2		SECTOR N°: 4		
	cultivo:	CACAO			
N° de Árbol	Altura total (m)	Altura de tronco (m)	Altura de copa (m)	Diámetro del tronco (m)	Diámetro de la copa (m)
1	6,48	3,32	3,15	0,37	5,51
2	6,46	2,86	3,60	0,05	5,12
3	6,84	2,82	4,02	0,10	4,61
4	6,58	3,32	3,25	0,37	5,50

Experimentales: (Castro V / Ocampo J, 2015)

Tabla 15. Modelo para toma de datos de pesos insitu de ramas.

Datos/ ramas		LOCALIDAD: 2		
		cultivo: Cacao		
Nº de Rama	Peso total (Kg)	Peso madera(Kg)	Peso hojas(Kg)	Cant. Hojas
1	2,58	1,55	1,03	—
2	3,30	2,19	1,11	—
3	2,36	1,37	0,99	—
4	2,78	1,98	0,80	—

Experimentales: (Castro V / Ocampo J, 2015)

Tabla 16. Modelo toma de datos con la Estación Meteorológica Portátil

Estación Meteorológica Portátil.			
Día/Hora	Presión(mmHg)	%HR	°T
1 / 9:00	749,9	61,0	13,3
2 / 10:00	749,9	59,9	11,1
3 / 9:00	749,9	64,3	1,10
4 / 9:45	749,9	59,0	12,2

Experimentales: (Castro V / Ocampo J, 2015)

ANEXO 5

ABREVIATURAS

- **ANOVA.** Análisis de Varianza.
- **Dc.** Diámetro de la copa.
- **DCA.** Diseño completamente aleatorizado.
- **Df.** Diámetro del fuste.
- **FAO.** Food and Agriculture Organization (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).
- **FLACSO.** Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- **GPS.** Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global).
- **Hc.** Altura de la copa.
- **Hf.** Altura de fuste.
- **HHV.** High Heat Value (Poder calorífico superior).
- **Ht.** Altura total.
- **ICCO.** International Cocoa Organization (Organización Internacional del Cacao).
- **IGAC.** Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

- **INEC.** Instituto Nacional de Estadística y Censo.
- **INER.** Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.
- **LHV.** Lower Heating Value (Poder calorífico inferior).
- **m.s.n.m.** Metros sobre el nivel del mar.
- **MAGAP.** Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca.
- **Pf.** Perímetro del fuste.
- **PSF.** Punto de Saturación de la Fibra.
- **TM/ha.** Tonelada métrica/hectárea.
- **UTM.** Universal Transverse Mercator (Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator).
- **CCN-51.** Colección Castro Naranjal-51.
- **17M.** Mercator 17