



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS

CARRERA INGENIERÍA AGROPECUARIA

Proyecto de Investigación
previo a la obtención del
título de Ingeniero
Agropecuario.

Título del Proyecto de Investigación:

**Establecimiento de relaciones alométricas para estimar la producción de biomasa en
cultivares de cacao (*theobroma cacao* l.) tipo nacional desarrollados por la UTEQ**

Autor:

Adib Carlos Chagerben Vallejo

Director de Proyecto de Investigación:

Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montufar

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2017

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Chagerben Vallejo Adib Carlos**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Chagerben Vallejo Adib Carlos

C.C: # 0917208126

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montufar, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante Chagerben Vallejo Adib Carlos, realizo el Proyecto de Investigación de grado titulado “ESTABLECIMIENTO DE RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN CULTIVARES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) TIPO NACIONAL DESARROLLADOS POR LA UTEQ”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montufar
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.

Dando cumplimiento al Reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y a las normativas y directrices establecidas por el SENESCYT, el suscrito Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montufar, en calidad de Director del Proyecto de Investigación titulado **“ESTABLECIMIENTO DE RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN CULTIVARES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) TIPO NACIONAL DESARROLLADOS POR LA UTEQ”** de autoría del estudiante **CHAGERBEN VALLEJO ADIB CARLOS**, certifica que el porcentaje de similitud reportado por el Sistema URKUND es de 5%, el mismo que es permitido por el mencionado software y los requerimientos académicos establecidos.

Atentamente

Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montufar
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS

INGENIERÍA AGROPECUARIA

Título:

“ESTABLECIMIENTO DE RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN CULTIVARES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) TIPO NACIONAL DESARROLLADOS POR LA UTEQ”

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Wilfrido Escobar Pavón MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Jaime Vera Chang MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Gerardo Segovia Freire MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2017

AGRADECIMIENTO

Detrás de esta meta existen muchas personas, quienes con su ayuda, apoyo y cooperación constante hacen posible la realización de este proyecto investigativo. Para todos ellos mis más sinceros agradecimientos.

En general a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y dentro de esta a la Facultad de Ciencias Pecuarias a las autoridades que la conforman, por la preparación profesional que he recibido por una trayectoria de años, por lo cual hoy me siento preparado para el desempeño competitivo en campo agropecuario.

A mi Director Dr. Gregorio Vásquez Montufar, Presidente del tribunal Ing. Wilfrido Escobar Pavón y miembros del tribunal Ing. Jaime Vera Chang e Ing. Gerardo Segovia Freire; quienes dedicaron su tiempo y compartieron sus conocimientos con la mejor predisposición, lo que me motivó a culminar con éxito la presente investigación.

A mis amigos que con un granito de arena cooperaron con este proyecto en especial a la Srta. Gabriela Risco.

DEDICATORIA

En primer lugar este triunfo es de Dios, que me ha brindado salud, sabiduría e inteligencia y una mente positiva y ganadora necesaria, para así haber alcanzado esta meta propuesta hace varios años atrás.

Con la mayor gratitud y esmero dedico esta investigación a mi madre Sra. María Isabel Vallejo Game quien ha sido mi muralla de hierro que jamás me dejó decaer y que a su vez con su apoyo incondicional e interminable ha sabido guiarme y formado como una persona de bien y alcanzar en un futuro el éxito en la vida.

A mis hermanos Ariana Chagerbén, Iván V, Andrés V, por su apoyo incondicional, a mi sobrina Danna F. Chagerbén y a mi papá Sr. Franklin Chagerbén que son los que me han dado fuerzas para seguir adelante.

A mis abuelitas Sra. Alicia Game Castro y Sra. Amada Barcos Soriano, Quienes con sus oraciones no me dejaron desmayar durante el transcurso de mi carrera Universitaria, la cual he culminado con éxito.

RESUMEN

Ecuador es reconocido como uno de los mejores productores de cacao en el mundo porque tiene un tipo único de cacao que es el "Nacional". 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". El cacao nacional desde hace dos siglos era cultivado en las zonas de la cuenca alta de los ríos Daule y Babahoyo, los cuales forman el Río Guayas en las riveras del cual se encuentra la ciudad de Guayaquil, principal puerto de Ecuador y desde donde se realizan hasta la actualidad todas las exportaciones de cacao hacia el mundo. Con el presente trabajo investigativo se pudo evaluar la relación funcional entre las medidas de longitud de las estructuras vegetativas y la biomasa en cultivares de cacao tipo Nacional; además se evaluó la relación funcional entre las medidas de superficie de las estructuras y la relación funcional entre las medidas de volumen con lo que se obtuvieron los contenidos de biomasa de las diferentes estructuras vegetativas de cada árbol evaluados, donde se determinó que no existieron diferencias muy marcadas entre el contenido de biomasa del tronco de los árboles estudiados. La variable biomasa total del árbol presentó una desviación estándar de 5,68 mientras que la biomasa contenida en los troncos se presentó de manera más uniforme, obteniendo una desviación estándar de 0,48. Las magnitudes o variables dasométricas se puede observar que existió significancia estadística ($p < 0,05$) demostrándose diferencias estadísticas entre los clones evaluados. El diámetro normal (d_n) obtenido refleja que el clon de cacao de origen nacional L40H49 obtuvo el mayor d_n con 16,69 cm, mientras que el d_n menor fue obtenido por el clon L30H07; el coeficiente de variación fue de 7,34. La variable d_n^2 guarda relación con d_n , donde se observa que el clon L40H49 obtuvo 278,68 cm^2 mientras que el clon L30H07 logró 78 cm^2 . Las relaciones entre las variables dasométricas y el contenido de biomasa se demuestra la relación entre d_n y la biomasa total, se puede observar la ecuación ajustada a $Y = 2,1723x - 19,62$ y el coeficiente de determinación fue de 0,75; además se muestra en cambio la relación entre d_n^2 y el contenido de biomasa, donde se observa la ecuación ajustada a $Y = 0,0851x - 6,25$ y el coeficiente de determinación alcanzó un valor de 0,78.

ABSTRACT

Ecuador is recognized as one of the best cocoa producers in the world because it has a unique type of cocoa that is the "National". The national cocoa is characterized to obtain its fermentation in a very short time and therefore when processed, it provides a chocolate with a delicious flavor and aroma, the same one that is internationally recognized and classified as "Fine Cocoa of Aroma". The national cacao for two centuries is cultivated in the areas of the upper basin of the Daule and Babahoyo Rivers, which form the Guayas River on the banks of which is the city of Guayaquil, the main port of Ecuador and from where they are made to date all exports of cocoa. The present study evaluated the functional relationship between length measures of vegetative structures and biomass in cacao cultivars National Type; In addition, the functional relationship between the surface measurements of the structures and the functional relationship between the volume measurements was evaluated, thus obtaining the biomass contents of the different vegetative structures of each tree evaluated, where it was determined that there were very few differences marked between the biomass content of the trunk of the studied trees. The total biomass of the tree presented a standard deviation of 5,68 while the biomass contained in the trunks was presented in a more uniform way, obtaining a standard deviation of 0,48. The statistical variables ($p < 0,05$) showed statistically significant differences among the clones evaluated. The normal diameter (d_n) obtained reflects that the cocoa clone of national origin L40H49 obtained the highest d_n with 16,69 cm, while the lowest d_n was obtained by the clone L30H07; the coefficient of variation was 7,34. The variable d_n^2 is related to d_n , where it is observed that clone L40H49 obtained 278,68 cm^2 while clone L30H07 achieved 78 cm^2 . The relationship between the dasometric variables and the biomass content shows the relationship between d_n and the total biomass, the equation adjusted to $Y=2,1723x-19,62$ can be observed and the coefficient of determination was 0,75; the relationship between d_n^2 and the biomass content is also shown, where the equation adjusted to $Y=0,0851x-6,25$ is shown and the coefficient of determination reaches a value of 0,78.

Keywords: cultivares, fermentación, chocolate, biomasa, medidas.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página.
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CÓDIGO DUBLIN	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Problema de la investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema.	4
1.1.2. Formulación del problema.....	4
1.1.3. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos.	5
1.2.1. Objetivo general.	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Justificación.....	6
CAPÍTULO II	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1. Marco conceptual.	8
2.2. Marco referencial.	9
2.2.1. Antecedentes investigativos.	9
2.2.2. Captura de carbono.....	10
2.2.3. Modelos alométricos para estimar biomasa.	11
2.2.3.1. Metodología para la estimación alométrica de biomasa.....	12
2.2.4. Biomasa y producción de sistemas agroforestales.	13
2.2.4.1. Sistema agroforestal de cacao.	13
2.2.5. Modelos alométricos de biomasa o carbono de especies leñosas.....	15
2.2.5.1. Aplicaciones agronómicas de los modelos alométricos.	16
2.2.5.2. Aplicaciones forestales de los modelos alométricos.	16

2.2.5.3. Aplicaciones ambientales de los modelos alométricos.....	17
CAPÍTULO III.....	18
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
3.1. Localización.....	19
3.2. Tipo de investigación.....	19
3.3. Métodos de investigación.....	20
3.3.1. Método inductivo.....	20
3.3.2. Método deductivo.....	20
3.3.3. Método analítico.....	20
3.4. Fuentes de recopilación de información.....	21
3.4.1. Fuentes primarias.....	21
3.4.2. Fuentes secundarias.....	21
3.5. Diseño de la investigación.....	21
3.6. Instrumentos de investigación.....	22
3.6.1. Variables a medir.....	22
3.6.1.1. Medida de las estructuras vegetativas.....	22
3.6.1.2. Medida de la biomasa contenida en las estructuras vegetales.....	23
3.7. Tratamiento de los datos.....	23
3.8. Recursos humanos y materiales.....	23
3.8.1. Recursos humanos.....	23
3.8.2. Materiales.....	24
CAPITULO IV.....	25
RESULTADOS ESPERADOS.....	25
4.1. Resultados.....	26
4.2. Discusión.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO V.....	33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
5.1. Conclusiones.....	34
5.2. Recomendaciones.....	35
CAPÍTULO VI.....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	36
5.1. Referencias bibliográficas.....	37
CAPÍTULO VII.....	42
ANEXOS.....	42
7.1. Anexos.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página.
Tabla 1.	Modelos alométricos desarrollados para especies maderables, frutales.....	15
Tabla 2.	Características climáticas y ecológicas del sitio en donde se realizó la investigación.	19
Tabla 3.	Esquema del análisis de varianza del estudio de la producción de biomasa en cultivares de cacao Tipo Nacional según sus estructuras vegetativas.....	22
Tabla 4.	Biomasa (Kg MS / árbol) a nivel de estructuras vegetativas de los árboles de cacao tipo Nacional y de origen trinitario (CCN-51).....	27
Tabla 5.	Variables dasométricas.....	28
Tabla 6.	Modelos evaluados.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página.
Cuadro 1.	Esquema de obtención de las medidas de (a) superficie y (b) volumen de las estructuras de los clones de cacao Tipo Nacional y Trinitario (CCN 51).	22
Cuadro 2.	Relación entre el diámetro normal (dn) (A), diámetro normal al cuadrado (dn ²) (B), volumen (C) y dn*volumen (D) con respecto a la biomasa total.	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página.
Anexo 1		43
Anexo 2	¡Error! Marcador no definido.	
Anexo 3	¡Error! Marcador no definido.	
Anexo 4	¡Error! Marcador no definido.	

CÓDIGO DUBLIN

Título:	“ESTABLECIMIENTO DE RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN CULTIVARES DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i> L.) TIPO NACIONAL DESARROLLADOS POR LA UTEQ”
Autor:	<u>Chagerbén Vallejo Adib Carlos</u>
Palabras clave:	Relaciones Alométricas, Producción, Biomasa, Cultivares De Cacao, Tipo Nacional
Fecha publicación:	
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2017
Resumen:	<p>Resumen.- Ecuador es reconocido como uno de los mejores productores de cacao en el mundo porque tiene un tipo único de cacao que es el "Nacional". 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”. Con el presente trabajo investigativo se pudo evaluar la relación funcional entre las medidas de longitud de las estructuras vegetativas y la biomasa en cultivares de cacao Tipo Nacional; además se evaluó la relación funcional entre las medidas de superficie de las estructuras y la relación funcional entre las medidas de volumen con lo que se obtuvieron los contenidos de biomasa de las diferentes estructuras vegetativas de cada árbol evaluados, donde se determinó que no existieron diferencias muy marcadas entre el contenido de biomasa del tronco de los árboles estudiados.</p> <p>Abstract.- Ecuador is recognized as one of the best cocoa producers in the world because it has a unique type of cocoa that is the "National". The national cocoa is characterized to obtain its fermentation in a very short time and therefore when processed, it provides a chocolate with a delicious flavor and aroma, the same one that is internationally recognized and classified as "Fine Cocoa of Aroma". The national cacao for two centuries is cultivated in the areas of the upper basin of the Daule and Babahoyo Rivers, which form the Guayas River on the banks of which is the city of Guayaquil, the main port of Ecuador and from where they are made to date all exports of cocoa. The present study evaluated the functional relationship between length measures of vegetative structures and biomass in cacao cultivars National Type; In addition, the functional relationship between the surface measurements of the structures and the functional relationship between the volume measurements was evaluated, thus obtaining the biomass contents of the different vegetative structures of each tree evaluated, where it was determined that there were very few differences marked between the biomass content of the trunk of the studied trees.</p>
Descripción	
URI	

INTRODUCCIÓN

Durante las etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo de cacao se pueden identificar dos fases fenológicas: vegetativa y reproductiva (1), en la etapa de crecimiento vegetativo, la biomasa, la cual es producida por la intercepción y conversión de la radiación solar a productos de fotosíntesis (fotoasimilados) (2) (3), se encuentra localizada predominantemente en estructuras permanentes (raíces leñosas, tallo, ramas), mientras que durante la etapa reproductiva se halla formando parte de las estructuras temporales (cojinetes florales, flores, mazorcas, brotes) (4).

Los sistemas de uso del suelo acumulan carbono en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, biomasa abajo del suelo (sistema radicular), necromasa y carbono orgánico del suelo. Existen investigaciones que lograron estimar tasas de fijación de carbono en la biomasa total en sistemas agroforestales con café en un rango de 5,9 a 13,8 t de CO₂/ha/año, sin embargo, se ha reportado que los árboles maderables de sombrío en cacaotales, almacenan 32 TM/ha, en la biomasa arriba del suelo cuando las estimaciones del carbono almacenado en sistemas arbóreos asumen que, en su mayoría, se observa un valor de 0,5; no obstante, la fracción de carbono puede variar típicamente entre 0,42 y 0,47, en el fuste de árboles (5).

En árboles maduros de cacao, estos fotoasimilados de tipo no estructural, que representa una fracción de la biomasa total, cumplen tres funciones principales: 1) suplir los costos energéticos de todos los procesos metabólicos a nivel celular, absorción de nutrientes (desde el exterior al interior de la planta) y transporte interno de nutrientes y asimilados, 2) restablecimiento de estructuras permanentes y temporales, y 3) crecimiento de las estructuras permanentes y temporales ya existentes. La cantidad de asimilados asignados a la producción de mazorcas depende de la cantidad de reservas acumuladas en la etapa de crecimiento vegetativo (4).

Los asimilados no estructurales, acumulados en las estructuras permanentes, conjuntamente con los asimilados producidos en las hojas son traslocados a puntos específicos y posteriormente utilizados para la floración, cuajado y llenado de frutos (6), lo que sugiere un balance diferente para cada etapa de crecimiento del cultivo entre los

órganos fuente (hojas) y órganos sumidero (frutos), tal como ha sido demostrado en cereales y leguminosas de grano.

En algunas especies frutales de alto valor comercial se han llegado a establecer cuanta biomasa en hoja, leña y raíces se requiere por cada unidad de cosecha (frutos), además del efecto de un desbalance en las estructuras (hojas, leña y raíces) sobre el rendimiento de la próxima temporada, sin embargo, en cacao no ha sido posible determinar que fracción de la biomasa total producida es destinada a la producción de mazorcas, principalmente debido a la falta de un método adecuado de tipo no destructivo que permita establecer la producción de biomasa.

Sobre esta base se plantea establecer relaciones alométricas para estimar la producción de biomasa en cultivares de cacao tipo Nacional, a fin de desarrollar un método efectivo orientado a cuantificar la biomasa producida de un año a otro en plantaciones de cacao.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de la investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

En el Ecuador el cacao representa un cultivo de alto valor comercial por lo que en la actualidad las instituciones públicas y privadas se encuentran desarrollando tecnología que permita incrementar la productividad de este cultivo. Sin embargo, muchas veces la efectividad de una práctica agronómica (podas, riego, fertilización, control de enfermedades y malezas) no puede ser evaluada eficientemente debido a que únicamente la producción de mazorcas no es indicador de eficiencia, lo que pone de relevancia el desarrollo de un método adecuado de tipo no destructivo que permita establecer la producción total de biomasa, y es por esta razón, en este trabajo se plantea establecer relaciones alométricas que permitan hacer una estimación de la biomasa total en cultivares de cacao Nacional.

En la actualidad se ha prestado considerable atención a la estimación de biomasa de árboles individuales y rodales forestales, mediante el desarrollo de ecuaciones en relación a la biomasa o sus componentes (raíces, hojas, ramas y fuste) con las características dasométricas de los árboles. El problema fundamental radica en entender la productividad de la especie y en comparar la productividad con modelos convencionales de rendimiento e incremento.

1.1.2. Formulación del problema.

En la actualidad no se cuenta con un método de tipo no destructivo que permita establecer la producción total de biomasa en el cacao, y menos aún para cultivares específicos, lo que hace difícil evaluar la eficiencia de nuevas tecnologías de producción agrícola (por ejemplo, el nivel de intensidad de poda).

La dificultad en el cacao radica principalmente por la limitante, inherente de los frutales perennes, de medir el incremento de biomasa de una temporada a otra. Para medir la biomasa en cacao hay que sacrificar un árbol que tarda tres años para llegar a una plena etapa reproductiva, a esto se le suma que luego de sacrificar el árbol queda un espacio en la

plantación que no puede ser ocupado en una próxima temporada, ya que una plantación de cacao, luego de iniciar la etapa reproductiva, mantiene una producción de mazorcas rentable en promedio 20 años. Si la acción de medir el incremento de biomasa en cacao, es poco práctico e incluso inviable, lo segundo mejor que se puede hacer es estimarla, y el establecimiento de relaciones alométricas entre medidas de las estructuras del árbol y la biomasa se presenta como una buena alternativa.

Se plantea entonces la interrogante: ¿El empleo de este tipo de ecuaciones alométricas permitirá estimar la cantidad de biomasa capturada por cultivares de cacao tipo nacional desarrollados por la UTEQ?

1.1.3. Sistematización del problema.

¿Qué relación hay entre la longitud de las estructuras (tallo principal, ramas primarias, secundarias, terciarias) del árbol de cacao y el total de biomasa acumulada?

¿Qué relación hay entre la superficie de las estructuras (tallo principal, ramas primarias, secundarias, terciarias) del árbol de cacao y el total de biomasa acumulada?

¿Qué relación hay entre el volumen de las estructuras (tallo principal, ramas primarias, secundarias, terciarias) del árbol de cacao y el total de biomasa acumulada?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

Establecer relaciones alométricas para estimar la producción de biomasa en clones experimentales de cacao tipo Nacional desarrollados por la UTEQ.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Evaluar la relación funcional entre las medidas de longitud de las estructuras vegetativas y la biomasa en clones experimentales de cacao Tipo Nacional.

- Evaluar la relación funcional entre las medidas de superficie de las estructuras vegetativas y la biomasa en clones experimentales de cacao Tipo Nacional.
- Evaluar la relación funcional entre las medidas de volumen de las estructuras vegetativas en clones experimentales de cacao Tipo Nacional.

1.3. Justificación.

El cultivo de cacao es una de las especies arbustivas más cultivada en el litoral ecuatoriano, atributo que le otorga al país el título de mayor productor de cacao fino de aroma representando únicamente el 5% de la producción mundial de cacao. “Ecuador, por sus condiciones geográficas y su riqueza en recursos biológicos, es el productor por excelencia de Cacao fino y de aroma (63% de la producción mundial) proveniente de la variedad Nacional cuyo sabor ha sido reconocido durante siglos en el mercado internacional.

Los Ríos es la principal provincia productora de cacao en el país, que durante el 2014 tuvo una producción total de 36000 TM representando el 22% del total nacional, seguido por Guayas con el 20% y en tercer lugar Manabí con el 18%. Estas 3 provincias sumaron una producción de 99000 t anuales. En la actualidad existen más de 400000 ha que beneficia a más 150000 personas de manera directa, con potenciales de rendimiento de hasta 2500 kg cacao seco por hectárea año, sin embargo, el promedio anual es de apenas 300 kg cacao seco por hectárea año (7).

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

Se presentan a continuación algunos de los términos de mayor relevancia empleados en el desarrollo de la presente investigación, con la finalidad de conocer su significado y que sean comprendidos con mayor facilidad.

- **Alometría.** – El concepto de alometría se ha utilizado para relacionar componentes o variables de difícil medición (biomasa y área foliar), con variables más fáciles de medir (altura, diámetro, área basal, área de altura) con el objeto de estimar las primeras variables en función de las segundas (8).
- **Biomasa.** – Biomasa se define como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía, siendo la única fuente renovable disponible de forma masiva para la producción de productos, materiales y combustibles basados en carbono (9).
- **Cultivares.** – Un cultivar es un grupo de plantas seleccionadas artificialmente por diversos métodos a partir de un cultivo más variable, con el propósito de fijar en ellas características de importancia para el obtentor, de manera que se mantengan tras la reproducción. Según define el Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas, estos caracteres deben cumplir con los requisitos de ser distintivos (que caractericen al cultivar, que lo diferencien de los demás), homogéneos (que se encuentren en todas las plantas del cultivar) y estables (que sean heredables), por el método de propagación indicado (10).
- **Tronco principal.** – Conocido como tallo, es el eje de la parte aérea de las cormófitas y es el órgano que sostiene a las hojas, flores y frutos. Sus funciones principales son las de sostén y de transporte de fotosintatos (carbohidratos y otros compuestos que se producen durante la fotosíntesis) entre las raíces y las hojas. Se diferencia de la raíz por la presencia de nudos en los que se insertan las yemas axilares y las hojas y por su geotropismo negativo, es decir, que crecen en contra de la fuerza de gravedad. Entre los cormófitos existen especies con un solo tallo cuyo vástago no se ramifica y plantas con

muchos tallos (pluricaules) cuyo vástago se ramifica de diversos modos de acuerdo a la actividad de los meristemas (11).

➤ **Ramas primarias, secundarias, terciarias y super numerarias**

Una planta propagada por semilla desarrolla en forma natural forma un arquetipo muy bien definido; primero se inicia un crecimiento ortotrópico (crecimiento vertical) con dominancia apical propio del tallo principal, que luego se detiene y da paso a un crecimiento plagiotrópico (crecimiento lateral) con la formación de 4 o 5 yemas axilares que originan igual número de ramas distribuidas en forma de abanico, conocida como horqueta, mesa, piso, molinillo o candelero (12).

Esta estructura diferenciada constituye el conjunto de ramas primarias, de las que luego surgirán las ramillas secundarias y a partir de éstas las terciarias (plumillas) que tomarán diferentes direcciones formando de esa manera la copa del árbol (12).

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Antecedentes investigativos.

Existen resultados previamente desarrollados que fundamentan la presente investigación, de las cuales se presentan a continuación las más relevantes.

En una investigación se elaboró un modelo alométrico para estimar la biomasa aérea total a partir de la variable altura en dos especies de frutales de dos años de edad: *Theobroma cacao* L. (cacao) y *Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng. K.Schum. (copoazú) se utilizó un método destructivo con 18 individuos por especie, de los cuales se extrajeron submuestras del fuste, hojas, ramas y ramillas que fueron sometidas a un proceso de secado en hornos para obtener su peso seco y finalmente ordenar, tabular y analizar los datos para generar los modelos por especie. A partir de los resultados obtenidos de la biomasa total y por cada componente, se formaron modelos alométricos para cada una de las especies en función de la variable altura total (13).

Son varias las especies de las cuales puede obtenerse un secuestro de carbono, producto de ello se han desarrollado investigaciones donde se resaltan que los sistemas agroforestales de producción de café también poseen un alto potencial de secuestro de carbono debido a la diversidad de especies leñosas que son usadas como sombra, donde el objetivo de estudio fue evaluar el potencial de captura de carbono en la biomasa leñosa aérea de *Inga jinicuil* en los sistemas agroforestales de café, estudiándose la relación entre el carbono secuestrado y las variables fisiográficas (pendiente y altitud) y edáficas (conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y calcio). Las variables de mayor influencia en el contenido de carbono fueron la pendiente y altitud del sitio, la edad del cafetal, la conductividad eléctrica y profundidad del suelo (14).

En otros estudios se realizó la estimación de la biomasa de *Eucalyptus nitens* Deane & Maiden mediante el desarrollo de modelos a nivel de árbol y de masa para la determinación de la biomasa de copa, fuste y la biomasa aérea total. Además de ecuaciones de biomasa, fueron estimados factores de expansión de la biomasa (BEFs) y ecuaciones de BEF así como ecuaciones predictivas del volumen del fuste. Los resultados mostraron que la ecuación de biomasa fue el método más preciso para estimar la fracción del fuste, aunque cualquiera de las metodologías estudiadas podría ser aplicada con buenos resultados (15).

Para la fracción de copa el modelo de BEF y la ecuación de biomasa proporcionaron las mejores predicciones mientras que esta última fue, a su vez, la mejor herramienta de predicción para la biomasa aérea. En ambas fracciones, copa y biomasa aérea, el BEF constante subestimó la producción, llevando a recomendar la determinación de ecuaciones BEF para un cálculo más preciso de la biomasa. Sin embargo, la selección de una herramienta u otra para predecir la producción va venir determinada por las variables disponibles y el nivel de precisión requerido en cada caso (15).

2.2.2. Captura de carbono.

El carbono es un componente esencial de todos los seres vivos, ya que existe en su mayor parte como dióxido de carbono en la atmósfera, los océanos y los combustibles fósiles (carbón, petróleo y otros hidrocarburos), este compuesto volátil presente en la atmósfera es

absorbido por las plantas y convertido en carbohidratos y tejidos a través del proceso de fotosíntesis, como parte del ciclo del carbono. Los bosques tropicales desempeñan un papel vital en el ciclo global del carbono, ya que al cubrir un área extensa y ser ecosistemas extremadamente dinámicos, regulan la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera mediante la fijación del mismo y su reincorporación al ciclo normal (16).

El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera de la tierra es una preocupación mundial, y se considera como uno de los 6 principales gases que intervienen en el efecto invernadero (GEI), el cual está contribuyendo en mayor proporción al cambio climático, ya que en los últimos 200 años los incrementos del CO₂ en la atmósfera han sido de 280 a 375 ppm, y continúa aumentando a una tasa promedio superior a 1,5 ppm por año (17).

Entre las principales fuentes de carbono yacen la quema de los combustibles fósiles, cambio de uso de la tierra, incendios forestales, etc., por las acciones naturales y humanas, lo que han provocado el aumento de las concentraciones de CO₂ y el aumento de la temperatura atmosférica, produciendo impactos a largo plazo en la salud, la agricultura, los recursos hídricos, las zonas costeras, los humedales, entre otros, por el incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero (18)

2.2.3. Modelos alométricos para estimar biomasa.

Las ecuaciones matemáticas son modelos alométricos que permiten relacionar la masa seca de algún componente o del árbol completo, con variables del tamaño del árbol (diámetro, altura, área basal y volumen), siendo el procedimiento más recomendado para estimar la biomasa en bosques tropicales, y consiste en relacionar estas variables en una regresión lineal bajo las escalas logarítmicas, lo cual simplifica los cálculos e incrementa la validación estadística al homogeneizar la varianza sobre el rango de los datos, construyendo gráficos de puntos entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes, para probar cuales modelos o ecuaciones de regresión explican mejor esta relación, posteriormente se debe aplicar un análisis de varianza y escoger el o los modelos de mejor ajuste con la ayuda de algunos estadígrafos, siendo estos modelos construidos usando como mínimo una muestra representativa de 30 árboles (19).

Existen varios modelos para la determinación de la biomasa de las especies, una de ellos es la metodología basada en la varianza de los caracteres morfológicos de la especie, es decir, cuanto menos variable sea el material, la muestra estará compuesta de menos individuos (20).

2.2.3.1. Metodología para la estimación alométrica de biomasa.

Existen varias metodologías, así como modelos para determinar la biomasa de las especies dentro de un sistema agroforestal, entre ellas existen métodos directos e indirectos.

El método directo consiste en cortar un árbol y pesar la biomasa directamente determinando luego su peso seco, mientras que una manera indirecta de establecer la biomasa es mediante una serie de ecuaciones y modelos matemáticos calculados mediante análisis de regresión entre algunas variables recolectadas en campo y mediante inventarios, sin embargo, también puede ser posible estimar la biomasa de una especie mediante el cálculo del volumen del fuste y empleando la densidad básica para estimar el peso seco y un factor de expansión para establecer el peso seco total (21).

Otra forma de determinar la biomasa de las especies agroforestales pretende establecer la relación peso seco/peso fresco (ps/pf) del fuste, ramas y hojas, tomando para el tallo rodajas de 5 cm de grosor en seis secciones de la longitud del mismo, mientras que para las ramas de la misma manera en número de secciones; para las hojas se toma un muestreo y en laboratorio se secan en una estufa de aire controlado a 105°C hasta que seque (22).

De la misma manera se debe promediar la relación ps/pf de la rodaja inferior y superior de cada troza y a este valor multiplicarle el peso fresco de la troza para obtener la biomasa de la troza, y con la suma de todas las trozas se obtiene el peso seco del fuste (biomasa); para las ramas se debe promediar la relación ps/pf de las tres muestras y multiplicar por el peso fresco de las ramas y así obtener su biomasa, de la misma manera se debe hacer con las hojas y así por sumatoria se obtiene la biomasa del árbol (22).

Otros investigadores establecieron que para estimar la biomasa en cada árbol seleccionado se debe medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) antes de ser derribado, contando que en los árboles pequeños ($2,5 \text{ cm} < \text{DAP} < 10 \text{ cm}$) se deben cortar al nivel del suelo y

transportar completos al laboratorio para obtener su biomasa, mientras que los árboles más grandes (DAP > 10 cm), deben ser cortados en secciones para obtener submuestras, tanto del fuste principal como de las ramas (23).

2.2.4. Biomasa y producción de sistemas agroforestales.

El fin de los sistemas agroforestales del cacao, o de su monocultivo, más allá del beneficio económico de su producción, también engloba la posibilidad de optimizar los efectos benéficos de las interacciones entre el componente arbóreo y no arbóreo propio de un sistema, dándose las condiciones económicas, ecológicas y sociales predominantes, ya que estas interacciones múltiples generan procesos biológicos y productivos relacionados con el reciclaje de nutrientes, el flujo de energía, el desarrollo de cultivos y su nivel de producción; así como efectos derivados de las condiciones ambientales y del entorno socio económico dentro de la región donde se desarrolle (24).

La determinación de la biomasa y la acumulación de materia orgánica y elementos nutritivos por parte de las plantas es la parte básica del estudio de los ecosistemas naturales y también de los sistemas de producción agrícolas, ya que un agro ecosistema está constituido por medios vivientes que intercambian flujos de energía entre sí, debido a que la energía que entra y sale de un sistema aporta la energía necesaria para el ciclaje de elementos nutritivos como Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, elementos conocidos como Biogeoquímicos (25).

El carbono es el principal elemento involucrado en este proceso, ya que las plantas lo toman en forma de CO₂ y liberan oxígeno en forma de O₂ durante el proceso de la fotosíntesis; así mismo, almacenan componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono (17).

2.2.4.1. Sistema agroforestal de cacao.

En la actualidad existen diferentes usos de la tierra dedicados a la producción de varias especies vegetales de interés económico para cada región entre las que destacan los cultivos de plátano, banano, cacao y granos básicos, sin embargo, el sistema agroforestal (SAF) del cultivo de cacao marca una gran diferencia con respecto a los demás, dado que además de producir cacao generan otros bienes como madera, en ocasiones frutas, fibra y proveen servicios ambientales como la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad (26).

Por otro lado, es conocido que la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos como la densidad de población de cada estrato y por comunidad vegetal, ya que para la medición de la cantidad de biomasa aérea en cualquier sistema de uso de la tierra, se requiere primero realizar inicialmente un análisis destructivo directo o estimaciones indirectas del material vegetal y realizar las inferencias respectivas y segundo las estimaciones de la biomasa total, determinándose el tamaño y diámetro de los árboles, a fin de poder encontrar funciones matemáticas basadas en las relaciones alométricas que ocurren entre los órganos de un individuo (17).

Los cacaotales, además de ofrecer ventajas comparativas en relación con otros usos del suelo, constituyen uno de los más importantes sistemas productivos en las fincas, ya que se cultiva conjuntamente con otras especies vegetales, sobre todo, café, plátano, frutales y maderables, los cuales al mismo tiempo que producen sombra, permiten al agricultor tener otras alternativas de ingresos (27).

Los SAF pueden fijar y almacenar entre 12 y 228 tc/ha, incluyendo el carbono orgánico del suelo, lo cual representa entre el 20 y 46% del carbono secuestrado en bosques primarios, mientras que un SAF de cacao con maderables, en este caso del laurel (*Cordia alliodora*) en 25 años pudo almacenar entre 43 y 62 tc/ha, siendo la especie maderable la que en proporción más carbono capturó, entre el 80 a 85% del total de carbono (28).

2.2.5. Modelos alométricos de biomasa o carbono de especies leñosas.

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar la biomasa de especies leñosas en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho (*dap*) y/o la altura total entre otras. Algunos de los modelos de biomasa desarrollados se detallan en la Tabla 1 (29).

Tabla 1. Modelos alométricos desarrollados para especies maderables, frutales.

Especie	Modelo	R ² ajustado
<i>Acacia mangium</i>	$B=3,4+0,064*dap^2+1,0*h$	0,99
<i>Eucalyptus deglupta</i>	$B=4,2+0,052*dap^2+1,1*h$	0,99
<i>Theobroma cacao</i>	$B=10^{-1,625+2,63*log(d30)}$	0,98
<i>Coffea arabica</i>	$B=10^{-1,0+2*log(d15)+0,54*log(h)}$	0,94

R² ajustado: coeficiente de determinación ajustado; *B*: biomasa total (kg/árbol); *dap*: diámetro a la altura del pecho; *h*: altura total (m); *log*: logaritmo base 10; *d30*: diámetro a 30 cm de altura; *d15*: diámetro a 15 cm de altura.

Se debe medir con la mayor precisión posible el *dap* o a otra altura de referencia (por ejemplo 15 ó 30 cm) la altura total (*h*), la altura comercial (*hc*) y el diámetro de copa (m) de cada árbol. Estas variables se utilizan para construir ecuaciones de regresión que estiman la biomasa por árbol. En el análisis de regresión $y = f(x)$, y se llama variable dependiente (biomasa) y a *x* se llama variable independiente (*dap*, *h*) (29).

El *dap* se mide con cinta diamétrica, forcípula o cinta métrica; en este último caso, se transforman los valores de circunferencia a diámetro dividiendo entre la constante $\pi = 3,1416$. Las alturas se pueden medir con vara telescópica (árboles con $h \leq 15$ m) o con clinómetro y cinta métrica. El diámetro de copa se mide con cinta métrica, promediando dos mediciones perpendiculares de la proyección vertical de las copas sobre el suelo. El área de copa es estimada como el área de un círculo cuyo diámetro (*D*) es el diámetro promedio de copa. El área del círculo (*Ac*) se calcula mediante la fórmula $Ac = \pi*D^2 = 0,7854*D^2$ (29). En muchos estudios se ha empleado la biomasa de los árboles para estimar

su contenido de carbono, a través de la multiplicación de la cantidad disponible en una determinada superficie por un factor que va desde 0,40 hasta el 0,55, ya que varios autores han encontrado que es la proporción de carbono contenido en cualquier especie vegetal (8).

Para la estimación de la biomasa el procedimiento más común es el método de estimación por regresión. Este consiste en el muestreo destructivo de unos cuantos árboles para relacionar alguna de sus variables fáciles de medir con el contenido de biomasa, utilizando para ello métodos de regresión; por ejemplo, el diámetro normal (DN, diámetro a 1,30 m). Esta técnica es conocida como de análisis dimensional o alometría, lo cual consiste en el estudio del cambio de proporción de varias partes de un organismo como resultado de su crecimiento. El concepto de alometría se ha utilizado para relacionar componentes o variables de difícil medición (biomasa y área foliar), con variables más fáciles de medir (altura, diámetro, área basal y área de altura), con el objeto de estimar las primeras variables en función de las segundas; normalmente el parámetro del árbol que más se ha utilizado es el DN (8).

2.2.5.1. Aplicaciones agronómicas de los modelos alométricos.

Los métodos indirectos, como los modelos alométricos, son métodos rápidos y económicos que consisten en desarrollar ecuaciones a partir de información directa de plantas extraídas o individuos cosechados en las que se establece un análisis de regresión que permite relacionar diferentes variables morfológicas con su peso seco, para luego, en otros individuos, aplicar estas regresiones y estimar su biomasa de forma indirecta (30).

2.2.5.2. Aplicaciones forestales de los modelos alométricos.

En especies forestales la aplicación de un modelo alométrico se realiza directamente en la cantidad de biomasa que esta posee siendo así, se debe contar con modelos que estimen la biomasa total con base en el tamaño y dimensiones de los árboles; es decir, modelos matemáticos basados en las relaciones alométricas que ocurren entre los órganos de un individuo (31).

Estos modelos tienen mucha aplicación en el campo forestal, porque presentan mucha flexibilidad en su uso; las variables más usadas son: el diámetro a la altura del pecho (dap),

diámetro a la altura del tocón (dat), altura comercial (hc), altura total (ht) y combinaciones de ellas (30).

2.2.5.3. Aplicaciones ambientales de los modelos alométricos.

En la determinación directa del volumen mediante la cubicación de secciones hace conveniente contar con expresiones matemáticas que basadas en una muestra objetivamente seleccionada y cuidadosamente medida, que permite estimar el volumen de los árboles sobre la base de mediciones simples (32), Los modelos alométricos de biomasa y/o carbono son una herramienta útil para obtener estimados de la biomasa aérea total y del carbono almacenado en sistemas forestales y agroforestales (32).

Este autor, describe detalladamente como construir un modelo alométrico desde la selección del sitio y de las especies; estimación del tamaño de la muestra; selección de los individuos por muestrear; corte, medición y pesaje de los individuos; ajuste de los modelos genéricos hasta los criterios para la selección del modelo alométrico de mejor ajuste (32).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

La presente investigación se desarrolló en la Finca Experimental “La Represa” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicada en el Km 7 ½ de la vía Quevedo – San Carlos, recinto Faita, situada entre las coordenadas geográficas 1°03′18″ de latitud Sur y 79°25′24″ de longitud Oeste, a una altura de 73 msnm. El promedio anual de las características climáticas y zona ecológica del sitio en donde se realizará la investigación se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. *Características climáticas y ecológicas del sitio en donde se realizó la investigación.*

Parámetro climático/ecológico	Promedio anual
Temperatura (°C)	24,2
Humedad relativa (%)	77,5
Heliofanía (horas luz / año)	883,0
Precipitación (mm / año)	1537,0
Zona ecológica	Bosque húmedo tropical.

Elaboración: (33).

3.2. Tipo de investigación.

Esta investigación fue planteada tipo descriptiva ya que se planteó estudiar las relaciones entre medidas de longitud, superficie y volumen de las estructuras del árbol y la biomasa, permitiendo que la información derivada sirva de base para otros estudios, principalmente relacionados con el uso eficiente de recursos (radiación solar, agua y nutrientes), puesto que, para los investigadores agrícolas un tema relevante es la cuantificación del efecto de los tratamientos que aplica a un determinado cultivo, ya que generalmente, en cultivos de interés agronómicos, el efecto de los tratamientos se lo valora a través del incremento de biomasa que el cultivo expresa de una temporada a otra y medir este efecto en cacao no ha sido completamente posible por lo poco práctico que resulta pesar un árbol de cacao.

La presente investigación fue de tipo descriptivo, ya que nos permitió obtener información precisa sobre el flujo del carbono y el papel que cumple en la producción del cultivo de cacao el ciclo de este elemento, considerando que pueda servir de base para proyectos

productivos. Fue enmarcada dentro de la línea de investigación de la UTEQ Desarrollo y manejo de variedades e híbridos en cultivo de interés estratégico para el Ecuador.

3.3. Métodos de investigación.

3.3.1. Método inductivo.

Se empleó el método inductivo en el estudio orientado a establecer relaciones alométricas para estimar la producción de biomasa en cultivares de cacao Tipo Nacional, a partir de la exploración de las relaciones entre las medidas (longitud, superficie y volumen) de las estructuras del árbol y la biomasa de los cultivares específicos de cacao Tipo Nacional desarrollados por la UTEQ se espera generalizar que al menos un tipo de medida de las estructuras del cacao es un buen estimador de la biomasa.

Se estableció las ideas principales y teorías resultantes de este ensayo, mediante la construcción de las conclusiones generales del tema, con la ayuda de los datos registrados que permiten establecer la biomasa de la planta, su capacidad de captura de carbono por parte de este agro sistema y su relación con la producción.

3.3.2. Método deductivo.

Este método permitió el establecimiento de un planeamiento experimental fundamentado en experiencias de otros investigadores empleando las ecuaciones obtenidas en sus respectivos ensayos, con la finalidad de establecer criterios que den paso a la construcción de modelos lineales alométricos que permitan determinar la biomasa de los árboles de cacao.

3.3.3. Método analítico.

Este método analítico permitió determinar las ecuaciones alométricas y el posterior registro de los sucesos obtenidos y análisis estadístico de las variables, permitió establecer los resultados esperados.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

3.4.1. Fuentes primarias.

La información utilizada para la investigación fue predominantemente primaria. En primer lugar, los datos obtenidos de la evaluación directa de las medidas (superficie y volumen) de las estructuras del árbol y la biomasa de los cultivares de cacao experimentales Tipo Nacional desarrollados por la UTEQ consistieron en la información primaria de esta investigación.

3.4.2. Fuentes secundarias.

La información secundaria, permitió que los resultados derivados de la investigación sean discutidos con la información divulgada únicamente a través de documentos científicos (artículos y tesis de grado) con fecha de publicación actual.

3.5. Diseño de la investigación.

El estudio se lo realizó considerando los clones experimentales de cacao Tipo Nacional: L12H08, L12H27, L12H29, L13H27, L29H48, L30H07, L33H65 y L40H49 y un clon de cacao trinitario CCN-51, todos ellos injertados sobre el forastero amazónico IMC-67 cultivados en la finca La Represa. Para establecer las diferencias de contenido de biomasa de las diferentes estructuras del árbol entre los materiales de cacao se empleó la prueba de Tukey al nivel de probabilidad del 0.05.

Para el establecimiento de las relaciones alométricas se empleó un análisis de regresión entre las variables dasométricas obtenidas, teniendo como única variable dependiente a la biomasa contenida en cada una de las estructuras vegetativas de los clones de cacao evaluados. La significancia del modelo de regresión hallado fue valorada a partir del coeficiente de determinación de Pearson (R^2).

El efecto de las diferentes fuentes de variación del experimento se evaluó a través de un

análisis de varianza. El esquema del análisis de varianza se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Esquema del análisis de varianza del estudio de la producción de biomasa en cultivares de cacao Tipo Nacional según sus estructuras vegetativas.

Fuentes de variación	Grados de libertad	
	Fórmula	Valor
Tratamientos	$t - 1$	8
Error experimental	$t(r - 1)$	18
Total	$tr - 1$	26

Elaboración: Autor, 2017

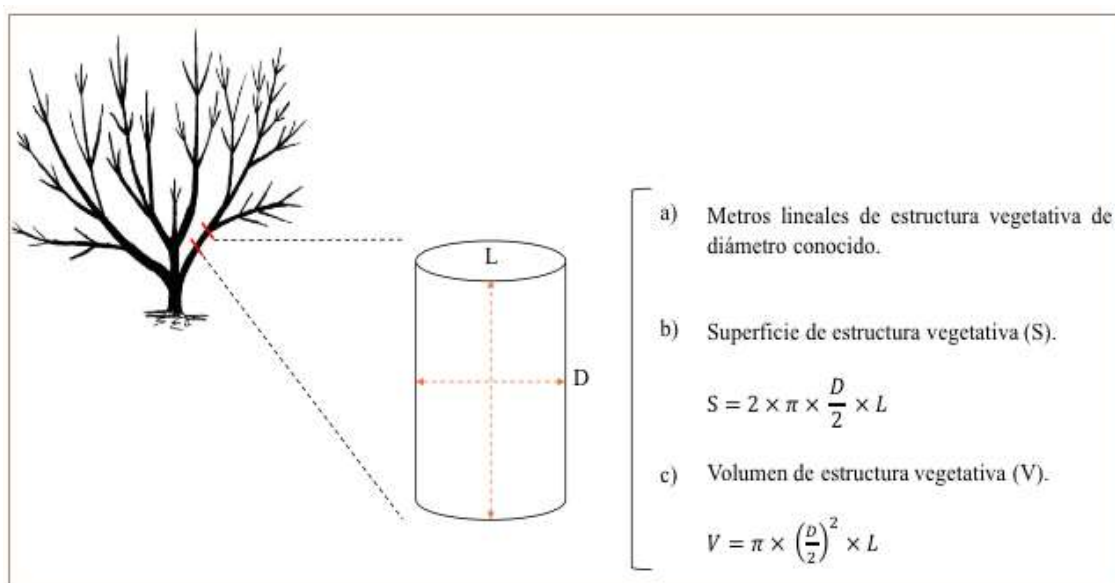
3.6. Instrumentos de investigación.

3.6.1. Variables a medir.

3.6.1.1. Medida de las estructuras vegetativas.

Cada clon de cacao experimental fue separado en sus estructuras vegetativas básicas: tronco, ramas primarias, secundarias, terciarias, cuaternaria, ramas supernumerosas, posteriormente a cada una de las estructuras vegetativas básicas fue sujeta a medidas de superficie y de volumen. Las medidas fueron obtenidas de acuerdo al diagrama presentado en el siguiente gráfico:

Grafico 1. Esquema de obtención de las medidas de (a) superficie y (b) volumen de las estructuras de los clones de cacao Tipo Nacional y Trinitario (CCN 51).



3.6.1.2. Medida de la biomasa contenida en las estructuras vegetales.

La medición de la biomasa contenida en cada una de las estructuras vegetativas se lo hizo en base seca. Cada una de las estructuras vegetativas se pesó inmediatamente después de haber sido obtenida en campo. Seguidamente, se procedió a tomar una muestra de la estructura con el objeto de determinar su contenido de humedad. Para esto, previo al registro del peso, la muestra se colocó en una estufa de aire forzado a una temperatura de 70 °C en donde permaneció hasta peso constante (34).

El contenido de humedad es dado por la diferencia entre el peso de la muestra antes del proceso de desecación y el peso de la muestra posterior al proceso de desecación, la diferencia de peso así obtenida es relacionada para el peso de la muestra previo al proceso de desecación.

3.7. Tratamiento de los datos.

Los datos se registraron en hojas de campo y seguidamente en el paquete estadístico de Excel. Los datos fueron ordenados en sentido vertical y clasificadas de acuerdo al clon de cacao. Luego se registraron las medidas de superficie y volumen de las estructuras vegetativas de cacao considerando la clasificación ya descrita.

El análisis de varianza, el establecimiento de diferencias entre los materiales de cacao se realizó a través de la prueba de Tukey al nivel de probabilidad del 0,05, mientras que el análisis de regresión entre las variables evaluadas para el establecimiento de las relaciones alométricas, se realizó mediante el empleo del software estadístico de versión libre (35).

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Recursos humanos.

Para este estudio se contó con la experiencia científica de los profesores Jaime Vera y Rommel Ramos, quienes han estado al frente de las investigaciones en el cultivo de cacao

desarrolladas en la UTEQ en los últimos diez años. Además, se contó con el auspicio académico del profesor Gregorio Vásconez, quien estuvo a cargo de la orientación metodológica tanto en campo como en el laboratorio.

3.8.2. Materiales.

Los clones de cacao tipo Nacional, L12H8, L12H27, L12H29, L13H37, L29H48, L30H07, L33H65 y L40H49, y un clon de cacao trinitario CCN 51, que alcanzan rendimientos de cacao seco de 1820, 1154 y 1092 kg/ha/año respectivamente (36), fueron seleccionados de una colección de 152 genotipos de 10 años de edad. Además de los clones de cacao, se emplearon instrumentos de medición de longitud (cinta métrica) y masa (báscula y balanza de precisión), y una estufa de aire forzado, además de materiales de oficina y computador.

Tabla4. Descripción de los clones experimentales utilizados.

N°	Código	DIRCYT-C	Origen	Genotipo	N° de plantas
1	L12H08	107	Tenguel	Tipo Nacional	1
2	L12H27	114	Tenguel	Tipo Nacional	1
3	L12H29	112	Tenguel	Tipo Nacional	1
4	L13H37	118	Tenguel	Tipo Nacional	1
5	L29H48	189	Tenguel	Tipo Nacional	1
6	L30H07	193	Tenguel	Tipo Nacional	1
7	L33H65	221	Tenguel	Tipo Nacional	1
8	L40H49	225	Tenguel	Tipo Nacional	1
9	CCN-51	Testigo	Tenguel	Tipo Nacional	1

3.8.3. Coeficiente de determinación de Pearson.

El coeficiente de determinación de Pearson es un índice de fácil ejecución e, igualmente, de fácil interpretación. Las más comunes se refieren a la regresión lineal. Digamos, si existen varios resultados para una única variable, es decir para una X existe una Y,Z el coeficiente de determinación resulta del cuadrado del coeficiente de determinación múltiple. En ambos casos el R² adquiere valores entre 0 y 1.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados y Discusión.

Se obtuvieron los contenidos de biomasa de las diferentes estructuras vegetativas de cada árbol evaluado, donde se determinó que existieron diferencias marcadas entre el contenido de biomasa del tronco de los arboles estudiados, obteniendo que el árbol identificado como CCN-51 (testigo) alcanzó un mayor contenido de biomasa en todas sus estructuras. De los clones experimentales de cacao nacionales el identificado como (225) fue quien demostró un mejor comportamiento en el contenido de biomasa de sus estructuras. Los clones (112) y (193) fueron los árboles que registraron el más bajo contenido de biomasa con 1,94 y 1,53 Kg MS / árbol respectivamente. Estos resultados fueron inferiores a los de *Martínez et al.* El cual obtuvieron promedios en producción de biomasa de 2,24kg MS/ árbol indicando que un buen manejo de la plantación influye directamente en la producción de Biomasa (37). Los resultados demuestran que la mayor cantidad de biomasa de los árboles de cacao se almacena en las ramas primarias, con un promedio de 3,29 kg, estos valores difieren con los obtenidos por *Corral et al.*, quien determinó que la mayor concentración de la biomasa en el árbol de cacao se encuentra en el follaje y tronco con el 37,0 y 37,7% de la biomasa total respectivamente (38).

La variable biomasa total del árbol presentó una desviación estándar de 5,68 mientras que la biomasa contenida en los troncos se presentó de manera más uniforme, obteniendo una desviación estándar de 0,48. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 4

Las magnitudes o variables dasométricas obtenidas directamente de los árboles se presentan en la Tabla 5, donde se puede observar que existió significancia estadística ($p < 0,05$) demostrándose diferencias estadísticas entre los clones evaluados. El diámetro normal (dn) obtenido refleja que el clon de cacao de origen nacional (225) obtuvo el mayor dn con 16,69 cm, mientras que el menor fue obtenido por el clon (193); el coeficiente de variación fue de 7,34. La variable dn^2 guarda relación con dn, donde se observa que el clon (225) obtuvo 278,68 cm^2 mientras que el clon (193) logró 78 cm^2 . Zarate, R. indica que la producción de Biomasa y desarrollo de los componentes del árbol se ven influenciados por las características ambientales del lugar donde se desarrollan (39).

Tabla 4. Biomasa (Kg MS / árbol) a nivel de estructuras vegetativas de los árboles de cacao experimental tipo Nacional y de origen trinitario (CCN-51). En la finca experimental “La María”. 2017.

Kg MS/árbol																
DYRCYT-C	Tronco		Ramas primarias		Ramas secundarias			Ramas terciarias			Súper numerosas		Biomasa Total			
107	1,51	a	4,67	b	1,77	c	d	e	1,37	b	c	2,29	b	c	11,61	c
114	1,25	a	2,23	b	1,89	c	d	e	3,43	a		1,67	c	d	10,46	c
112	0,09	b	0,34	c	0,87			e	0,44		c	0,2		e	1,94	f
118	0,58	a	2,32	b	1,09		d	e	2,3	a	b	1,09	c	d	7,38	e
189	0,81	a	3,96	b	2,81	a	b	c	0,93		c	1,26	c	d	9,77	d
193	0,34	a	0,42	b	0,27			f	0,27		c	0,23		e	1,53	
221	0,88	a	1,84	b	2,31	b	c	d	0,58		c	3,02	b		8,62	d
225	1,58	a	4,71	a	3,76	a			2,48	a	b	3,28	a	b	15,81	b
Testigo	1,42	a	9,08	a	3,48	a	b		3,17	a	b	4,7	a		21,86	a
Promedio	0,94		3,29		2,03				1,66			1,97			9,89	
Des. Est	0,48		2,56		1,12				1,14			1,41			5,68	

Letras iguales no difieren estadísticamente al nivel $P < 0.05$ según tukey.

NS= No significativo

*= significativo al $P < 0.05$

**=significativo al $P < 0.01$

EEM= Error estándar de la media

Tabla 5. Variables dasométricas de los árboles de cacao experimental tipo Nacional y de origen trinitario (CCN-51). En la finca experimental “La María”. 2017.

Árbol	dn (cm)	dn ² (cm ²)	KgMS/árbol		Volumen (m ³)	dn*V		
107	15,09	a b c	227,66	c	0,14	b	2,15	c
114	14,55	a b c d	211,84	d	0,13	b c	1,85	d
112	11,83	d	139,90	g	0,05	f	0,58	f
118	13,64	b c d	186,10	e	0,13	b c	1,79	d
189	12,86	c d	165,48	f	0,09	d e	1,19	e
193	8,83	e	78,00	i	0,01	g	0,12	f
221	11,68	d e	136,52	h	0,07	e f	0,87	f
225	16,69	a	278,68	a	0,14	b	2,30	b
Testigo	16,39	a b c d	268,64	b d	0,18	c d	2,89	a
Promedio	13,51		188,09		0,10		1,53	
Des. Est	2,25		58,69		0,05		0,80	

Letras iguales no difieren estadísticamente al nivel $P < 0.05$ según Tukey.

*Volumen del árbol expresado en metros cúbicos; dn= diámetro normal.

El desarrollo de modelos de biomasa locales es una herramienta valiosa para proyectos de mitigación de gases efecto invernadero y para investigadores de especies leñosas perennes. Se plantearon cuatro ecuaciones de relación entre la biomasa y mediciones alométricas como del diámetro normal (dn), y volumen (v) en clones de cacao, cuyo coeficiente de determinación varió de 0,75 a 0,83, siendo esta última regresión aceptada por tener el coeficiente de determinación más alto. Los parámetros del modelo se plantean en la Tabla 6.

Tabla 6. Modelos evaluados de los árboles de cacao experimental tipo Nacional y de origen trinitario (CCN-51). En la finca experimental “La María”. 2017.

Modelo*	Ecuación	CME	R ²
$\beta = b(dn) - a$	$\beta = 2,17(dn) - 19,62$	10,04	0,75*
$\beta = b(dn^2) - a$	$\beta = 0,85(dn^2) - 6,25$	8,77	0,78*
$\beta = b(v) - a$	$\beta = 108,2(v) - 1,51$	9,41	0,77**
$\beta = b(dn * v) - a$	$\beta = 6,46(dn * v) - 0,0024$	6,7	0,83**

β = Biomasa total; dn = Diámetro normal; v = Volumen; CME = Cuadrado medio del error; R² = Coeficiente de determinación de Pearson.

NS= No significativo

*= significativo al P<0.05

**=significativo al P<0.01

Las relaciones entre las variables alométricas y el contenido de biomasa se pueden observar en el gráfico 2 (A), donde se demuestra la relación entre dn y la biomasa total, se puede observar la ecuación ajustada a $Y=2,1723x-19,62$ y el coeficiente de determinación fue de 0,75; en el gráfico 2 (B) se muestra en cambio la relación entre dn^2 y el contenido de biomasa, donde se observa la ecuación ajustada a $Y=0,0851x-6,25$ y el coeficiente de determinación alcanzó un valor de 0,78.

La ecuación que presenta mejor ajuste fue $Y= 6,46X-0,0024$, siendo X el producto del diámetro normal por el volumen del árbol, resultados que discrepan con los obtenidos por Martínez., en su investigación, quienes establecieron en total 11 modelos alométricos para estimar la biomasa aérea total a partir de una variable dasométricas como la altura, en dos especies de frutales de dos años de edad: Cacao (*Theobroma cacao* L) y Copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng. K. Schum), obteniendo que las ecuaciones con el coeficiente de determinación (R²) mayor a 0,80 fueron las cúbicas: $Y = 0,16 + (-2,74X) + 1,52X$, y $Y = 0,62 + 4,04X - 230,49X + 2,062X$ para *T. cacao* y *T. grandiflorum* donde Y es la biomasa aérea (t) y X es la altura total (m). En las dos ecuaciones el coeficiente de determinación (R²) fue mayor a 0,80 (13).

El gráfico 2 (C) demuestra la relación entre el volumen de la biomasa y la biomasa total de los clones evaluados, obteniendo una ecuación ajustada a $Y = 108,2x - 1,5063$ y un coeficiente de determinación de 0,75; mientras que en la figura 2 (D) se establece la relación del producto entre dn con el volumen de la biomasa y la biomasa total del árbol, obteniéndose una ecuación ajustada a $Y = 6,4625x - 0,0024$ y un coeficiente de determinación de 0,83, siendo este el de mejor ajuste para la selección del mejor modelo alométrico para estimación de biomasa en la zona.

La ecuación que presenta mejor ajuste fue $Y = 6,46X - 0,0024$, siendo X el producto del diámetro normal por el volumen del árbol, resultados que discrepan con los obtenidos por Martínez., en su investigación, quienes establecieron en total 11 modelos alométricos para estimar la biomasa aérea total a partir de una variable dasométricas como la altura, en dos especies de frutales de dos años de edad: Cacao (*Theobroma cacao* L) y Copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng. K. Schum), obteniendo que las ecuaciones con el coeficiente de determinación (R^2) mayor a 0,80 fueron las cúbicas: $Y = 0,16 + (-2,74X) + 1,52X$, y $Y = 0,62 + 4,04X - 230,49X + 2,062X$ para *T. cacao* y *T. grandiflorum* donde Y es la biomasa aérea (t) y X es la altura total (m). En las dos ecuaciones el coeficiente de determinación (R^2) fue mayor a 0,80 (13).

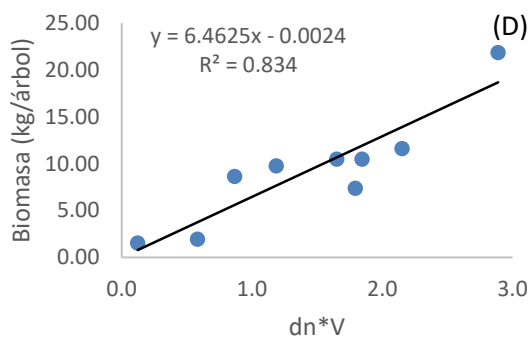
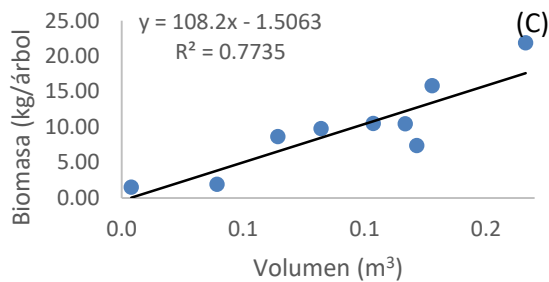
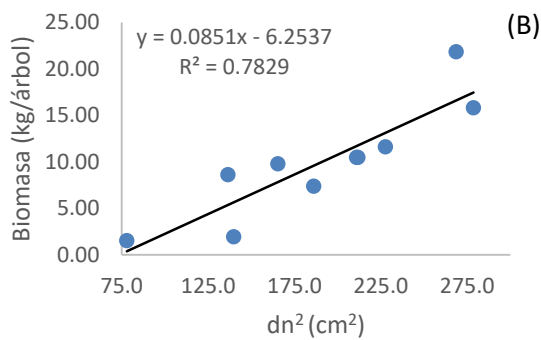
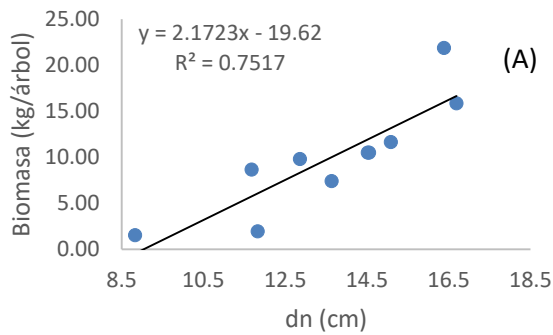
Los resultados obtenidos por Segura y Andrade (29) en sus investigaciones determinaron que las mejores relaciones alométricas se logran al emplear como variables predictoras el diámetro a la altura del pecho (DAP), sin embargo en la presente investigación se logró determinar la biomasa de clones de cacao de origen nacional y trinitario (CCN-51) mediante el empleo del diámetro normal (dn), obteniendo relaciones alométricas con un coeficiente de determinación que va desde el 0,75 a 0,83.

El contenido de carbono almacenado en promedio por los clones de cacao fue de 4,97 Kg/árbol, tomando en cuenta que el contenido de carbono de la biomasa es del 50% de acuerdo a lo establecido por Gayoso y Guerra (40); el contenido de carbono almacenado en otros sistemas agrícolas de la Amazonía ecuatoriana con cacao propagado mediante semilla fue de 1,41 kg/árbol, estos datos fueron obtenidos por Jadán, Torres y Gunter (41), siendo inferiores al obtenido en el presente ensayo, sin embargo este resultado puede corroborarse puesto que al estar bajo sombra dentro de un bosque primario su captura de

carbono puede verse reducida en comparación con árboles cultivados bajo un sistema agrícola convencional.

Los gráficos de dispersión se pueden ver a continuación.

Grafico 2. Relación entre el diámetro normal (dn) (A), diámetro normal al cuadrado (dn^2) (B), volumen (C) y $dn \cdot volumen$ (D) con respecto a la biomasa total.



Se puede observar además en los gráficos de dispersión que existió una relación positiva entre las variables, puesto que mientras aumenta el valor de las variables dasométricas en el eje x, también lo hace la biomasa ubicado en el eje y.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Los modelos alométricos obtenidos permiten estimar la biomasa de clones de cacao en un momento determinado, estas relaciones alométricas permiten estimar la biomasa con un nivel de confianza alto y que pueden ser empleados en otros estudios bajo condiciones climáticas similares.

Las medidas de longitud permitieron establecer el diámetro normal, además del volumen las cuales fueron empleadas como variables dasométricas para la construcción de los modelos alométricos, quienes en función al producto de las dos se obtuvieron la ecuación con el mayor coeficiente de determinación.

Los clones de cacao de origen trinitario almacenan una mayor cantidad de carbono mediante su biomasa aérea, esto responde en su mayoría al hábito de crecimiento normal de la especie, puesto que al ser un clon más productivo necesita mayores sustancias de reserva en su composición, la cual está mayormente concentrada en sus ramas primarias.

5.2. Recomendaciones.

Se recomienda evaluar en conjunto la biomasa subterránea y hojarasca presente del suelo, con el fin de estimar con mayor precisión el carbono capturado del ambiente.

Se recomienda evaluar el uso de otras variables dasométricas que permitan tener un mayor coeficiente de determinación, de esta forma tener una mayor exactitud en la respuesta.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Referencias bibliográficas.

1. Niemenak N, Cilas C, Rohsius C, Bleiholder H, Meier U, Lieberei R. Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*. 2010 Septiembre; 156(1): p. 13-24.
2. van Ittersum MK, Leffelaar PA, van Keulen H, Kropff MJ, Bastiaans L, Goudriaan J. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*. 2003 Enero; 18(3-4): p. 201-234.
3. Ceotto E, Di Candilo M, Castelli F, Badeck F, Rizza F, Soave C, et al. Comparing solar radiation interception and use efficiency for the energy crops giant reed (*Arundo donax* L.) and sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Field Crops Research*. 2013 Agosto; 149(1): p. 159-166.
4. Zuidema P, Leffelaar PA, Gerritsma W, Mommer L, Anten N. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*. 2005 Mayo; 84(2): p. 195-225.
5. Marin MP, Andrade HJ, Sandoval A. Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. 2016 Julio-Diciembre; 19(2): p. 351-360.
6. Fischer G, Almanza P, Ramirez F. Relación fuente-vertedero en especies frutales. Una revisión. *rev.colomb.cienc.hortic*. 2012 Julio; 6(2): p. 238-253.
7. Casanova M. Estadísticas de exportación. [Online].; 2016 [cited 2017 Enero 5]. Available from: <http://www.anecacao.com/index.php/es/revista.html>.
8. Díaz R, Acosta M, Carrillo F, Buendía E, Flores E, Etchevers JD. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar Biomasa en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques*. 2007; 13(1): p. 25-34.
9. Arauzo J, Bimbela F, Abrego J, Sanchez JL, Gonzalo A. Introducción a las tecnologías de aprovechamiento de biomasa. *Grupo Español Carbon*. 2014 Septiembre; 1(33): p. 1-

- 5.
10. Brickell CD, Alexander C, David JC, Hetterscheid W, Leslie A, Malecot V, et al. International code of nomenclature for cultivated plants. Octava ed. Viena: ISHS; 2009.
 11. Valla JJ. Botánica: Morfología de las plantas superiores. Primera ed. Buenos Aires: Hemisferio Sur; 2005.
 12. PROCACAO. Poda de formación en el cultivo de cacao. Ciencia y tecnología al servicio del sector cacaotero. 2015 Octubre; 1(3).
 13. Martínez P, Solignac J, Zarate R, Fachin L, Maco JT, Jarama A. Estimación de la biomasa con relaciones alométricas en dos especies de frutales: *Theobroma cacao* L. (Cacao) y *Theobroma grandiflorum* (WILLD. EX SPRENG.) K.SCHUM. (COPOAZÚ). *Folia Amazonica*. 2013; 22(1): p. 67-75.
 14. Hernández E, Campos G, Enriquez J, Rodríguez G, Velasco V. Captura de carbono por Inga jinicuil Schldtl en un sistema agroforestal de café bajo sombra. *Rev. Mex. Cien. For.* 2012 Enero; 3(9): p. 11-21.
 15. Gonzales M. Modelización de la producción de biomasa de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden en corta rotación. *Ecosistemas*. 2016 Diciembre; 25(1): p. 99-104.
 16. Lapeyre T, Alegre J, Arevalo L. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecol. apl.* 2004 Diciembre; 3(1-2): p. 35-44.
 17. Concha J, Alegre J, Pocomucha V. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *theobroma cacao* l. En el Departamento de San Martín, Perú. *Ecol. apl.* 2007 Diciembre; 6(1-2): p. 75-82.
 18. Palomino D, Cabrera C. Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *FIGMMG*. 2007; 10(20): p. 49-59.
 19. Vasquez A, Arellano H. Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los

- bosques del sur y noroccidente de Cordova. *Arxiv*. 2012; 1(1): p. 923-961.
20. García D, Abanto C, Del Castillo D. Determinación de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa aérea de guadua sarcocarpa londoño & P. M. Peterson de la comunidad nativa Bufeo Pozo, Ucayali, Perú. *Folia Amazonica*. 2015; 24(2): p. 139-144.
 21. Ramirez C, Panduro G, Miranda E. Captura de carbono en un sistema agroforestal con *Theobroma cacao* en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali-Pucallpa, Perú. *Tzhoeoen*. 2014 Septiembre; 6(2): p. 165-181.
 22. Rodriguez R, Jimenez J, Aguirre O, Jurado E. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en especies de encino y pino en Iturbide, N.L. *Revista Ciencia Forestal en México*. 2007; 32(101): p. 39-56.
 23. Larrea G. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L. & determinación de la ecuación alométrica para el cacao Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2007.
 24. Pocomucha V, Alegre J. La interacción de carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao(*Theobroma cacao* L.) en Huánuco, Perú. *Investigacion y Amazonía*. 2013 Enero; 3(1): p. 36-43.
 25. Alpizar L, Fassbender H, Heuveltop J. Estudios de sistemas agroforestales en el Experimento central de CATIE. Primera ed. Turrialba: CATIE; 1983.
 26. Cerda R, Espin T, Cifuentes M. Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribi de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Americas*. 2013; 49(1): p. 33-42.
 27. Andrade H, Figueroa J, Silva D. Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). *Scientia Agroalimentaria*. 2013 Enero; 1(1): p. 6-10.
 28. Ortiz A, Riascos L, Somarriba E. Almacenamiento y tasas de fijacion de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia*

- alliadora). Agroforestería de las Américas. 2008; 46(1): p. 26-29.
29. Segura M, Andrade H. ¿Como construir modelos alometricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? Agroforestería de las Américas. 2008; 1(46): p. 89-96.
30. Garcia K. Estimacion de la acumulacion de biomasa y extraccion estacional de nitrogeno, fosforo, potasio, calcio y magnesio en plantas de granado. Tesis ed. Berger N, editor. Snatiago de Chile: Universida de Chile; 2011.
31. Alvarez G. Modelos alometricos para la estimacion de biomasa aerea de dos especies nativas en plantaciones forestales del tropico de Cochabamba, Bolivia enseñanza Catdiy, editor. Turrialba- Costa Rica : CATIE; 2008.
32. Segura M. Modelos alometrico para la estimacion de la biomasa aerea total en el paamo de anaime, departamento de tolima, Colombia. Tesis ed. Bermudez J, editor. Ibague: Universidad de Tolima; 2014.
33. INAMHI. Promedios de temperaturas en Los Rios Quevedo : INIAP; 2005-2017.
34. Hartley J, Marchant J. Methods of determining the moisture content of wood. Tercera Revision ed. Sydney: Research Division State Forests of New South Wales; 1995.
35. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzales L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat; 2016.
36. Sanchez F, Zambrano J, Vera J, Ramos R, Garces F, Vasconez G. Productividad de clones de cacao tipo Nacional en una zona del bosque húmedo Tropical de la provincia de Los Ríos, Ecuador. Ciencia y Tecnología. 2014 Enero; 7(1): p. 33-41.
37. Martinez P. Estimacion de la Biomasa con relaciones alometricas en dos especies de Furtales: Theobroma cacao L y Theoborma Grandiflorum. Folia Amazonica. 2013 Febrero ; 22(1-2).
38. Corral R, Duicela LA, Maza H. Fijacion y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con cafe arábigo y cacao, en dos zonas agroecologicas del litoral

- ecuatoriano. Tecnico. Quito: X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo; 2010.
39. Zarate R. Estimacion de la biomasa con relaciones alometricas en el estudio del cacao *Theobroma Cacao L.* Instituto de investigaciones de la amazonia peruana. 2017 Diciembre; 12(3).
 40. Gayoso J, Guerra J. Contenido de carbono en la biomasa aérea de los bosques nativos en Chile. *Bosque.* 2005; 26(2): p. 33-38.
 41. Jadán O, Torres B, Gunter S. Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología.* 2012; 1(3): p. 173-186.
 42. Espín C. Caracterización física-química y sensorial de 13 clones de cacao (*Theobroma cacao L.*) tipo nacional establecidos en la finca “La Represa” para obtención de pasta. Quevedo: Universidad Tecnica Estatal de Quevedo; 2013.
 43. Carrillo F, Acosta M, Flores E, Juarez J, Bonilla E. Estimacion de biomasa y carbono en dos especies arboreas en la Sierra Nevada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 2014 Junio-Agosto; 5(5): p. 779-793.
 44. Arce N, Ortiz E, Villalobos M, Cordero S. Existencia de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano de fincas indígenas bribi y cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería de las Américas.* 2008; 1(46): p. 30-34.
 45. Soto C. Recopilacion de ecuaciones para estimar biomasa. *Crecimiento y Rendimiento Forestal.* 2012; 11(52): p. 25.

CAPÍTULO VII
ANEXOS

7.1. Anexos

Anexo 1. *Análisis de la varianza en la variable diámetro normal del tallo en el estudio de establecimiento de relaciones alométricas para estimar la producción de biomasa en cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) tipo nacional desarrollados por la UTEQ.*

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
DN	242,61	8	242,61	24,16	0,0012**
Error	80,34	18	10,04		
Total	322,95	26			

Anexo 2. *Análisis de la varianza en la variable diámetro normal al cuadrado (dn2) en el estudio de establecimiento de relaciones alométricas para estimar la producción de biomasa en cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) tipo nacional desarrollados por la UTEQ.*

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
DN2	252,81	8	252,81	28,83	0,0007**
Error	70,14	18	8,77		
Total	322,95	26			

Anexo 3. *Análisis de la varianza en la variable volumen en el estudio de establecimiento de relaciones alométricas para estimar la producción de biomasa en cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) tipo nacional desarrollados por la UTEQ.*

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
V	249,79	8	249,79	27,31	0,0008**
Error	73,16	18	9,14		
Total	322,95	26			

Anexo 4. *Análisis de la varianza en la variable dn*volumen en el estudio de establecimiento de relaciones alométricas para estimar la producción de biomasa en cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) tipo nacional desarrollados por la UTEQ.*

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
DN*V	269,31	8	269,31	40,17	0,0002**
Error	53,63	18	6,7		
Total	322,95	26			



Corte de Ramas super
numerosas, cuaternarias y
terciarias.



Corte de Ramas secundarias y
primarias.



Estructuras del árbol, listas para la
medición.



Estufa



Ingreso del clon DIRCYT-C 107 para obtener M. Seca.



Ingreso del clon DIRCYT-C 114 para obtener M. Seca.



Toma de peso del clon CCN-51 Testigo.