



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
CARRERA INGENIERÍA AGROPECUARIA

Unidad de integración curricular
previo a la obtención del título
de Ingeniería Agropecuaria

Título De La Investigación:

**“RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA EN
CULTIVARES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) DE ORIGEN TRINITARIO (CCN-
51) Y DE TIPO NACIONAL EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS”**

Autora:

Digna Jael Nivelá Andrade

Tutor De La Unidad De Titulación:

Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montufar

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.

Yo, **Nivela Andrade Digna Jael**, 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.

Nivela Andrade Digna Jael

C.C: # 1311270621

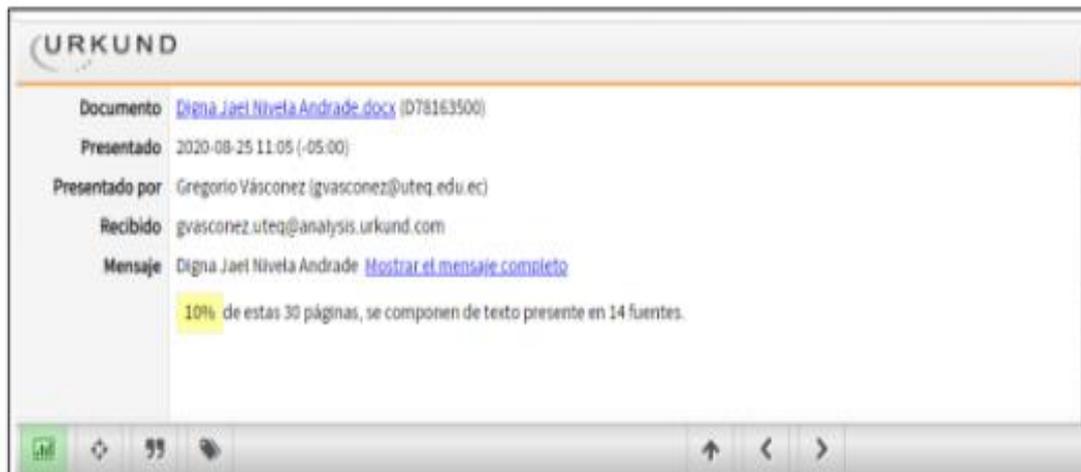
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

El suscrito, Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montufar, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante Nivelá Andrade Digna Jael. Realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA EN CULTIVARES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) DE ORIGEN TRINITARIO (CCN-51) Y DE TIPO NACIONAL EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS”. 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 **“RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA EN CULTIVARES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) DE ORIGEN TRINITARIO (CCN-51) Y DE TIPO NACIONAL EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS”** de autoría del estudiante, **NIVELA ANDRADE DIGNA JAEL**, certifica que el porcentaje de similitud reportado por el Sistema URKUND es de 10%, 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

CARRERA INGENIERÍA AGROPECUARIA

Título De La Investigación:

“RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA EN CULTIVARES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) DE ORIGEN TRINITARIO (CCN-51) Y DE TIPO NACIONAL EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS”

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

Aprobado Por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
Gerardo Segovia Freire MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Rommel Ramos Remache MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Jaime Vera Chang MSc.

QUEVEDO - LOS RÍOS - ECUADOR
2020

AGRADECIMIENTO

Esta investigación es el resultado, esfuerzo y constancia de muchos años dentro de la Universidad Técnica Estatal Quevedo, ha llegado a su final, por ende, le doy gracias a mi padre celestial “JEHOVA” por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Digno Nivelá y Eugenia Andrade, por su apoyo incondicional, económico y emocional, a mis hermanos por sus consejos y confianza en mí.

A mi compañero de vida, Luis Alejandro Bautista Palma, por haberme apoyado y brindarme su comprensión, paciencia y seguir incentivándome a que siga adelante cuando he querido dejar todo, por estar presente siempre para mí, muchas gracias por ayudarme a concluir mi carrera.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Gregorio Vásquez Montufar, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y contribución permitió el desarrollo de este trabajo de investigación.

Digna Jael Nivelá Andrade

DEDICATORIA

Esta investigación es dedicada a mi padre celestial “JEHOVA” y en especial a mis padres y hermanos, a mi esposo y a mi hija Jael Alejandra Bautista Nivelá quien ha sido el motor fundamental para este logro, ellos son quienes me dieron grandes enseñanzas y los principales protagonistas de este sueño alcanzado.

Digna Jael Nivelá Andrade

RESUMEN

El proyecto de investigación se estableció con la finalidad de estimar la cantidad de ramas, volumen, longitud y biomasa total (seca y fresca) de las variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 y de tipo Nacional (EET-103), a 0.5 cm; 0.50 a 1.00 cm; 1.00 a 1.50 cm; 1.50 a 2.00 cm de diámetros, debido a la importancia de mantener o mejorar el área foliar.

El objetivo fue estimar la cantidad de biomasa área foliar mediante las variables establecidas de los clones de cacao CCN-51 y EET-103 para su posterior conversión por medio de modelos alométricos que muestran la biomasa total de acuerdo al diámetro, longitud y biomasa seca obtenidas de diferentes diámetros de ramas (0.5; 0.5 a 1; 1 a 1.5 y 1.5 a 2 cm). La cual se realizó en la parroquia Patricia Pilar del cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos. Se empleó el diseño DCA con arreglo factorial, evaluando 4 diámetros de ramas en dos tipos de cacao, contando con 6 repeticiones, con un total de 48 unidades experimentales.

Se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad, los resultados mostraron interacciones significativas en la cantidad y volumen de ramas de acuerdo a las variedades, el CCN-51 registra mayor cantidad de ramas con el 57%, divergente al EET-103, sin embargo, la longitud no presentó discrepancia en las variables estudiadas. La biomasa total fue significativamente diferente en los clones, demostrando que el CCN-51 cuenta con el 49% más de área foliar que el EET-103.

Palabras claves: Volumen, longitud, área foliar, biomasa, alometría.

ABSTRACT

The research project was established in order to estimate the number of branches, volume, length and total biomass (dry and fresh) of the varieties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 and National type (EET-103) , at 0.5 cm; 0.50 to 1.00 cm; 1.00 to 1.50 cm; 1.50 to 2.00 cm in diameters, drunk to the importance of maintaining or improving the foliar area.

The objective was to estimate the amount of leaf area through the established variables of the cocoa clones CCN-51 and EET-103 for subsequent conversion by means of allometric models that show the total biomass according to the diameter, length and dry biomass obtained from different diameters of branches (0.5; 0.5 to 1; 1 to 1.5 and 1.5 to 2 cm). Which was held in the Patricia Pilar parish of the Buena Fe canton, Los Ríos province. The DCA design with factorial arrangement was used, evaluating 4 diameters of branches in two types of cocoa, with 6 repetitions, with a total of 48 experimental units.

The Tukey test was used at 5% probability, the results showed significant interactions in the number and volume of branches according to the varieties, the CCN-51 registers a greater number of branches with 57%, divergent from the EET-103, However, the length did not present a discrepancy in the variables studied. The total biomass was significantly different in the clones, showing that CCN-51 has 49% more leaf area than EET-103.

Keywords: Volume, length, leaf area, biomass, allometry.

Tabla de contenido

| | |
|---|----------|
| PORTADA | i |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS. | ii |
| CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO | iii |
| 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 |
| INTRODUCCIÒN..... | 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. Diagnóstico..... | 5 |
| 1.1.3. Pronóstico..... | 5 |
| 1.1.4. Formulación del problema..... | 5 |
| 1.1.5. Sistematización del problema..... | 5 |
| 1.1.6. Objetivos..... | 6 |
| 1.1.6.1. Objetivo General..... | 6 |
| 1.1.6.2. Objetivos Específicos. | 6 |
| 1.2. Justificación. | 7 |
| | |
| CAPÍTULO II..... | 8 |
| FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN | 8 |
| | |
| 2.1. Marco conceptual..... | 9 |
| 2.2. Investigaciones relacionadas al tema..... | 11 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 2.2.1. | Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)..... | 11 |
| 2.2.2. | Cacao CCN-51..... | 11 |
| 2.2.2.1. | Tallo..... | 12 |
| 2.2.2.2. | Ramas. | 12 |
| 2.2.2.3. | Hojas..... | 12 |
| 2.2.2.4. | Poda. | 13 |
| 2.2.3. | Cacao CCN-51..... | 13 |
| 2.2.4. | Cacao EET-103..... | 14 |
| 2.2.5. | Importancia del cultivo de cacao. | 14 |
| 2.2.6. | Sistema agroforestal. | 15 |
| 2.2.7. | Biomasa. | 15 |
| 2.2.8. | Nutrientes en las plantas de cacao. | 16 |
| 2.2.9. | Modelos alométricos para la estimación de biomasa. | 16 |
| 2.2.10. | Modelos alométricos para la estimación de biomasa en otras especies. | 17 |
| 2.2.10.1. | Método directo..... | 17 |
| 2.2.10.2. | Método indirecto. | 18 |
| 2.2.11. | Alometría..... | 18 |
| 2.2. | Marco referencial. | 19 |

CAPÍTULO III9

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN9

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1. | Localización..... | 22 |
| 3.2. | Condiciones meteorológicas. | 22 |
| 3.3. | Tipo de investigación..... | 22 |
| 3.4. | Métodos de investigación. | 23 |
| 3.5. | Fuentes de recopilación de información. | 23 |
| 3.6. | Diseño de la investigación. | 23 |
| 3.6.1. | Diseño experimental..... | 23 |
| 3.6.2. | Análisis de regresión. | 23 |
| 3.6.3. | Análisis de varianza..... | 24 |
| 3.6.4. | Tratamiento bajo estudio. | 24 |
| 3.6.5. | Modelo matemático de la investigación..... | 24 |
| 3.6.6. | Prueba de Comparación de medias..... | 25 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 3.7. | Variables a evaluar. | 25 |
| 3.7.1.1. | Cantidad de ramas supernumerarias. | 25 |
| 3.7.1.2. | Longitud de ramas. | 26 |
| 3.7.1.3. | Volumen de ramas. | 26 |
| 3.7.1.4. | Peso de ramas y hojas. | 26 |
| 3.7.2. | Procedimiento experimental. | 27 |
| 3.7.3. | Método de secado con microondas. | 27 |
| 3.8. | Recursos humanos y materiales. | 27 |
| 3.8.1. | Talento humano. | 27 |
| 3.8.2. | Material Vegetal. | 28 |
| 3.8.3. | Otros Materiales. | 28 |
| CAPÍTULO IV | | 29 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | 29 |
| 4.1. | Resultados. | 30 |
| CAPÍTULO V | | 34 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 34 |
| 5.1. | Conclusiones | 38 |
| 5.2. | Recomendaciones | 39 |
| CAPÍTULO VI | | 40 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 40 |
| 6.1. | Literatura citada. | 41 |
| CAPÍTULO VII..... | | 48 |
| ANEXOS | | 48 |
| 7.1. | Análisis de varianza de las variables evaluadas..... | 49 |
| 7.2. | Fotos..... | 51 |

INDICE DE TABLAS.

| Ecuación | | Página |
|-----------------|--|---------------|
| 1 | Condiciones meteorológicas del cantón Buena Fe..... | 22 |
| 2 | Análisis de varianza (ANDEVA) del diseño experimental de la producción de biomasa en cultivares de cacao de origen Trinitario(CCN-51) y EET-103..... | 23 |
| 3 | Cantidad, longitud y volumen de ramas en dos clones de cacao y en ramas diferentes diámetros..... | 31 |
| 4 | Biomasa fresca y seca en ramas, hojas y total de dos clones de cacao y en ramas con diferentes diámetros..... | 33 |
| 5 | Nutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Ca, Mg, S) contenido en ramas y hojas de cacao (clon CCN-51)..... | 35 |
| 6 | Nutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Ca, Mg, S) contenido en ramas y hojas de cacao (clon EET-103)..... | 36 |

INDICE DE GRAFICOS.

| Ecuación | | Pagina |
|-----------------|--|---------------|
| 1 | Interacción entre los factores, clones de cacao y diámetro de ramas supernumerarias, y su efecto en la cantidad (a), longitud (b) y volumen de ramas (c), biomasa de ramas (d), hojas (e) y total (f). | 34 |

INDICE DE ECUACIONES.

| Ecuación | | Pagina |
|-----------------|--|---------------|
| 1 | Modelo matemático de la investigación..... | 24 |
| 2 | Prueba de comparación de medias..... | 25 |
| 3 | Volumen de ramas..... | 26 |

INDICE DE ANEXOS.

| Ecuación | | Pagina |
|-----------------|--|---------------|
| 1 | Análisis de varianza de cantidad de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103..... | 49 |
| 2 | Análisis de varianza de longitud de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103..... | 49 |
| 3 | Análisis de varianza del volumen de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103..... | 49 |
| 4 | Análisis de varianza de la biomasa de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103..... | 49 |
| 5 | Análisis de varianza de la biomasa seca de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103..... | 50 |
| 6 | Análisis de varianza de la biomasa fresca de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103..... | 50 |
| 7 | Análisis de varianza de la biomasa total fresca de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103..... | 50 |
| 8 | Análisis de varianza de la biomasa total seca fresca de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103..... | 50 |
| 9 | Fotos..... | 51-53 |
| 10 | Análisis de suelo, tejidos vegetales y agua de las plantas de cacao evaluadas, de acuerdo, a los diámetros establecidos..... | 54 |
| 11 | Análisis foliar de las plantas de cacao evaluadas, de acuerdo, a los diámetros establecidos..... | 55 |

CÓDIGO DUBLIN

| | | | | |
|------------------------------|---|-----------|-------------|---------|
| Título: | RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA EN CULTIVARES DE CACAO (<i>Theobroma cacao L.</i>) DE ORIGEN TRINITARIO CCN-51) Y DE TIPO NACIONAL EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS” | | | |
| Autor: | NIVELA ANDRADE DIGNA JAEL | | | |
| Palabras clave: | VOLUMEN | ALOMETRÍA | AREA FOLIAR | BIOMASA |
| Fecha de Publicación: | | | | |
| Editorial: | UTEQ, 2020. | | | |
| Resumen: | <p>Resumen.- El proyecto de investigación se estableció con la finalidad de estimar la cantidad de ramas, volumen, longitud y biomasa total (seca y fresca) de las variedades de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>) CCN-51 y de tipo Nacional (EET-103), a 0.5 cm; 0.50 a 1.00 cm; 1.00 a 1.50 cm; 1.50 a 2.00 cm de diámetros, debido a la importancia de mantener o mejorar el área foliar. El objetivo fue estimar la cantidad de área foliar mediante las variables establecidas de los clones de cacao CCN-51 y EET-103 para su posterior conversión por medio de modelos alométricos que muestran la biomasa total de acuerdo al diámetro, longitud y biomasa seca obtenidas de diferentes diámetros de ramas (0.5; 0.5 a 1; 1 a 1.5 y 1.5 a 2 cm). La cual se realizó en la parroquia Patricia Pilar del cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos. Se empleó el diseño DCA con arreglo factorial, evaluando 4 diámetros de ramas en dos tipos de cacao, contando con 6 repeticiones, con un total de 48 unidades experimentales. Se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad, los resultados mostraron interacciones significativas en la cantidad y volumen de ramas de acuerdo a las variedades, el CCN-51 registra mayor cantidad de ramas con el 57%, divergente al EET-103, sin embargo, la longitud no presentó discrepancia en las variables estudiadas. La biomasa total fue significativamente diferente en los clones, demostrando que el CCN-51 cuenta con el 49% más de área foliar que el EET-103.</p> <p>Abstract.-The research project was established in order to estimate the number of branches, volume, length and total biomass (dry and fresh) of the varieties of cocoa</p> | | | |

(Theobroma cacao L.) CCN-51 and National type (EET-103) , at 0.5 cm; 0.50 to 1.00 cm; 1.00 to 1.50 cm; 1.50 to 2.00 cm in diameters, drunk to the importance of maintaining or improving the foliar area. The objective was to estimate the amount of leaf area through the established variables of the cocoa clones CCN-51 and EET-103 for subsequent conversion by means of allometric models that show the total biomass according to the diameter, length and dry biomass obtained from different diameters of branches (0.5; 0.5 to 1; 1 to 1.5 and 1.5 to 2 cm). Which was held in the Patricia Pilar parish of the Buena Fe canton, Los Ríos province. The DCA design with factorial arrangement was used, evaluating 4 diameters of branches in two types of cocoa, with 6 repetitions, with a total of 48 experimental units. The Tukey test was used at 5% probability, the results showed significant interactions in the number and volume of branches according to the varieties, the CCN-51 registers a greater number of branches with 57%, divergent from the EET-103, However, the length did not present a discrepancy in the variables studied. The total biomass was significantly different in the clones, showing that CCN-51 has 49% more leaf area than EET-103.

| | |
|-------------|--|
| Descripción | |
| URI: | 73 hojas: dimensiones, 29,7 x 21 cm + CD-ROM |

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao (*Thebroma cacao* L.) es uno de los productos agrícolas más importantes del Ecuador, debido a su gran demanda internacional, se estima que más del 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma procede de tierras ecuatorianas (1). Por ende, es importante realizar estudios orientados a determinar la producción de biomasa vegetativa de una temporada a otra y establecer la relación con el rendimiento.

Se ha determinado que las plantas proporcionan diferentes nutrientes, de acuerdo a la etapa vegetativa en la que se encuentre. Por lo consiguiente, es transcendental investigar la estructura y funciones de las ramas, ya que pueden modificarse para almacenar compuestos nutritivos producidos por las plantas, transportados por los vasos conductores (xilema y floema) a diferentes partes de la misma, de acuerdo a la etapa fenológica. (2).

Los nutrientes asociados al metabolismo de la planta se encuentran en mayor concentración en hojas u otros órganos, en estados iniciales de formación (3). La demanda de nutrientes en plantas jóvenes se direcciona al desarrollo del área foliar, mientras que en la fase reproductiva utilizan sus recursos para la formación de frutos y semillas (3).

Es importante cuantificar la producción de biomasa en todos los sistemas de producción vegetal, sea en bosques naturales o plantaciones forestales. En los sistemas de producción anuales como el cacao, la cuantificación de biomasa no es una práctica común, principalmente por ser una variable de naturaleza destructiva lo que ha motivado la búsqueda de métodos indirectos para estimar la biomasa. (4).

Las actuales investigaciones tienen como finalidad entender los ciclos de energía y nutrientes presentes en la biomasa (5). Para lo cual, se requiere medir la cantidad de biomasa aérea iniciando por un análisis destructivo directo o estimaciones indirectas del material vegetal y valorar las relaciones respectivas, luego se evalúa la biomasa total, determinando 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 (6).

Una de las alternativas más efectivas es el establecimiento de relaciones o modelos alométricos, desarrollados inicialmente para determinar la producción de madera en bosques naturales o plantación forestales, con el objetivo de analizar medidas alométricas en estructuras vegetales dando validez a las ecuaciones de regresión entre las variables registradas del cultivo (4) (5).

Existe muy poca información sobre la estimación de biomasa aérea en arboles de producción. El objetivo de esta investigación es establecer la analogía que existe entre las ramas súpernumerarias y la biomasa aérea, aplicando relaciones alométricas en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de origen Trinitario CCN-51 y de tipo Nacional en la provincia de Los Ríos.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de la investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

La producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es de considerable importancia dentro del sector agrícola del país, por ende, se desarrollan métodos y/o protocolos que permitan estudiar la biomasa aérea para incrementar la productividad del cultivo.

La distribución de la biomasa aérea varía en cada componente estructural del árbol y de acuerdo a la etapa que se encuentre, sea vegetativa o reproductiva. Los cambios en el almacenamiento y distribución de la biomasa pueden estar relacionados a factores como: poda, desarrollo, edad, calidad del sitio, composición de especies y variables ambientales (7).

Los estudios de la biomasa aérea son insuficientes para conocer su asignación en los diversos componentes estructurales de los árboles, sin embargo, la mayoría de ellos se han realizado a nivel de individuo y han estado encaminados a la generación de funciones matemáticas para la estimación de biomasa total y de carbono (7). Para predecir el incremento de la biomasa de una planta, se utilizan métodos indirectos de estimación, como el uso de modelos alométricos que permitan manipular las prácticas agrícolas de manera positiva para el cultivo (8).

El desconocer las relaciones alométricas que permitan estimar la biomasa aérea en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) constituyen importantes afectaciones en la producción agrícola de las variedades de cacao CCN-51 y de tipo Nacional en la provincia de Los Ríos.

1.1.2. Diagnóstico.

Debido a la falta de información sobre la estimación de biomasa aérea de cultivo de cacao, en sus componentes estructurales como: hojas, ramillas, ramas, entre otras, conlleva a malas prácticas agrícolas, y al desconocimiento de las funciones de las mismas.

1.1.3. Pronóstico.

La investigación cuantificativa sobre los componentes estructurales del árbol de cacao y sus funciones, permitirán estimar la modificación y almacenamiento de compuestos nutritivos, teniendo como finalidad entender los ciclos de energía y nutrientes presentes en la biomasa aérea. Por ende, se requiere realizar respectivas estimaciones y análisis del material vegetal, evaluando las relaciones alométricas que ocurren entre los órganos de las plantas.

1.1.4. Formulación del problema.

¿Evaluar las relaciones alométricas permitirá estimar la biomasa aérea en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de origen trinitario CCN-51 y de tipo Nacional en la provincia de Los Ríos?

1.1.5. Sistematización del problema.

- ¿Qué relación existe entre la cantidad de ramas supernumerarias y la biomasa aérea de cacao de las variedades CCN-51 y de tipo Nacional?
- ¿Cuál es la longitud y volumen de las ramas supernumerarias de las variedades de cacao CCN-51 y de tipo Nacional?
- ¿Cuál es la cantidad de nutrientes acumulados por unidad de biomasa en la copa de los árboles de cacao CCN-51 y de tipo Nacional?

1.1.6. Objetivos.

1.1.6.1. Objetivo General.

Determinar las relaciones alométricas para estimar biomasa aérea en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de origen Trinitario CCN-51 y de tipo Nacional en la provincia de Los Ríos.

1.1.6.2. Objetivos Específicos.

- Evaluar la relación entre la cantidad de ramas súper numerosas y la biomasa aérea de las variedades de origen Trinitario CCN-51 y tipo Nacional.
- Evaluar la longitud y volumen de las ramas supernumerarias y la biomasa aérea de las variedades de cacao de origen Trinitario CCN-51 y tipo Nacional.
- Determinar la cantidad de nutrientes acumulados por unidad de biomasa aérea de los árboles de cacao de origen Trinitario CCN-51 y tipo Nacional.

1.2. Justificación.

Los árboles de cacao son especies arbustivas, por ende, es fundamental investigar y conocer la biomasa aérea de los mismos. La recolección de datos, permiten estimar las relaciones entre los componentes estructurales del árbol, derivados de muestreos indirectos, estimando las relaciones entre la biomasa total con la que cuenta la planta y algunas de las variables cuantificativas tomadas (9). Las ecuaciones de biomasa mejoran su predicción cuando se consideran al mismo tiempo las variables diámetro y la altura (9) (10).

Aunque existen metodologías, protocolos y sistemas de gestión que se han desarrollado, es necesario estandarizar los procesos de cálculo para la biomasa aérea, a fin de obtener resultados verídicos, reproducibles, comparables y confiables para el sector agrícola. Las ecuaciones de regresión están fundamentadas en la correlación entre las variables de difícil medición y aquellas directamente medidas, accediendo a la estimación de biomasa (11).

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

Biomasa aérea.

La biomasa es la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica (12).

Ramas supernumerarias.

Se denominan ramas secundarias o supernumerarias a las que se desarrollan de manera lateral en las ramas primarias. Las ramas secundarias se podan en los primeros meses hasta que las ramas primarias se desarrollen por completo, alcanzando la altura adecuada para la planta (13).

Clon.

Es aprovechar las características propias de una planta sobresaliente (productiva, con resistencia a plagas o de calidad), tomando de esa planta especial una parte de ella (una yema, un pedazo de tallo o de raíz) colocada en un medio favorable para que pueda vivir, enraizar o producir ramas y más tarde frutos, creando lo que se conoce como un clon. A través de este método de reproducción es posible obtener muchas plantas con las características idénticas a las de un árbol excepcional (14).

Muestreo.

Se especifica cómo elegir y obtener muestras representativas de las características de una población, siendo una herramienta importante de la investigación científica. La muestra se entiende como una parte representativa de la población y muestrear viene a ser la toma de muestras de un elemento o de un conjunto de elementos para realizar estudios o análisis sobre ellos (15).

Modelo.

Es una representación abstracta de algún aspecto. Son ecuaciones matemáticas que permiten realizar estimaciones en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro, altura, entre otras (16).

Alometría.

Es una ecuación matemática que relaciona la biomasa con variables del árbol, fácilmente medibles en pie, tales como el diámetro normal, altura de la copa libre, altura a la primera ramificación, altura total de la planta, ya sea en combinación simple o múltiple de estos atributos (17).

2.2. Investigaciones relacionadas al tema.

2.2.1. Cacao (*Theobroma cacao* L.).

Las plantas de cacao Nacional se conocen por tener grandes cantidades de biomasa vegetal alcanzando una altura hasta de 12 metros, por ende, la distancia de siembra es mayor que otras variedades, ocupando más espacio tanto para el desarrollo de órganos aéreos, como para el sistema radical (18).

La mayoría de los materiales plantados en el país corresponden a un genotipo de Nacional x Trinitario, la cantidad de tipo “Nacional” puro, es cada día menor en el país (13), debido a los graves problemas en la producción de cacao por inadecuado y escaso manejo agronómico de las huertas cacaoteras tradicionales, como también el uso de materiales genéticos de baja productividad y alta susceptibilidad a enfermedades (19). Esto ha ocasionado que los agricultores sustituyan la variedad tradicional por materiales de origen Trinitario más productivos y tolerantes a enfermedades.

2.2.2. Cacao CCN-51.

Esta variedad surge del cruce de la variedad Criolla y Forastero las mazorcas por lo general son de muchas formas y colores; las semillas son más grandes que el de las otras variedades, además, las plantas son fuertes, de tronco grueso y hojas grandes (20).

El cacao Trinitario ocupa un alto porcentaje de producción mundial. El clon CCN-51, es producto de la investigación realizada en Ecuador, presenta características de alta producción y tolerancia a las enfermedades pero no tiene el aroma que posee el Nacional (13).

Las plantas de cacao CCN-51 alcanzan una altura entre 6 a 8 metros y se puede sembrar a una distancia de 3 x 3 metros, ya poseen ponderada cantidad de biomasa aérea y sistema radical (21).

2.2.2.1. Tallo.

Las plantas de cacao, reproducidas por semillas, desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar 1 a 2 metros de altura a la edad de 12 a 18 meses, a partir de ese momento, la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de 3 a 5 ramas laterales. A este conjunto de ramas se le llama comúnmente verticilo u horqueta (20).

2.2.2.2. Ramas.

Las plantas de cacao, reproducidas por semillas, desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar 1 a 2 metros de altura a la edad de 12 a 18 meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de 3 a 5 ramas laterales. A este conjunto de ramas se le llama comúnmente verticilio u horqueta (18).

El cacao tipo Criollo normalmente desarrolla un verticilio de 3 a 5 ramas laterales, las cuales presentan un espacio bien marcado entre sus puntos de origen. En el cacao Forastero las ramas laterales del verticilio salen de un mismo punto. En ambos casos, cuando el árbol llega a adulto, las bases de las ramas laterales forman un solo anillo, formando un ángulo de 45° (18).

2.2.2.3. Hojas.

Las hojas adultas son de color verde, de lámina simple, entera de forma que va desde lanceoladas o casi ovaladas, con una nervadura pinnada y ambas superficies glabras. Las hojas cuando jóvenes son muy delicadas por lo que son apetecidas por los insectos y dañadas por el viento poseen un color verde pálido y al alcanzar su madurez hacen el cambio de color (20).

Las hojas están unidas al tronco o a las ramas por medio a los pecíolos, siendo los del tronco más largos que los de las ramas. En la parte superior tienen una estructura abultada constituida por un tejido parenquimatoso, cargado de gránulos de almidón, denominada pulvino que, a consecuencia de estímulos de los rayos de luz solar, orientan las hojas

mediante movimientos de rotación, buscando posición en relación con sus necesidades de luz (18).

El tamaño de las hojas es variable, siendo más pequeñas las hojas que están muy expuestas a la luz solar, que las que están ubicadas en el interior del árbol. Las hojas adultas del cacao Criollo son más grandes que las del cacao Forastero (18).

2.2.2.4. Poda.

La poda es de suma importancia para el cultivo de cacao, por ende, es recomendable investigar sobre su ejecución, ya que la productividad del cultivo depende del área foliar activa, que a su vez determina la capacidad de captación de energía solar y del proceso de fotosíntesis, así como la distribución de los compuestos elaborados y transformados hacia las ramas y otros órganos de la planta (22).

2.2.3. Cacao CCN-51.

Esta variedad surge del cruce de la variedad Criolla y Forastero las mazorcas por lo general son de muchas formas y colores; las semillas son más grandes que el de las otras variedades, además, las plantas son fuertes, de tronco grueso y hojas grandes (20).

El cacao Trinitario ocupa un alto porcentaje de producción mundial. El clon CCN-51, es producto de la investigación realizada en Ecuador, presenta características de alta producción y tolerancia a las enfermedades pero no tiene el aroma que posee el Nacional (13).

Las plantas de cacao CCN-51 alcanzan una altura entre 6 a 8 metros y se puede sembrar a una distancia de 3 x 3 metros, ya poseen ponderada cantidad de biomasa aérea y sistema radical (21).

2.2.4. Cacao EET-103.

Su nombre original es de Tenguel-25, su tipo genético corresponde a la clasificación general de híbrido Nacional, siendo de altura media con hojas pequeñas de color verde claro, es susceptible a ciertas enfermedades, presenta buena adaptación y son autocompatibles. Sus flores son blancas con pigmentación en el estambre, su poca de floración es de enero hasta marzo, el fruto es amelonado poco rugoso poseen estrías de color café, cascara gruesa, en estado inmaduro es verde claro, en estado maduro es amarillo, sus almendras son de sabor fino y presentan una alta producción con un índice de 19 a 20 mazorca árbol⁻¹, mostrando características de alto rendimiento con 1330 kg ha⁻¹ (23), (24).

2.2.5. Importancia del cultivo de cacao.

- **Social.**

El cacao es una fuente importante de ingresos para las familias productoras a la vez que lo utilizan para su alimentación ya que forma parte de una gran variedad de alimentos además es un aporte importante a la soberanía alimentaria, porque contiene nutrientes esenciales para el sano desarrollo de las familias, no requiere de grandes inversiones económicas para su establecimiento y manejo lo que lo convierte en una buena alternativa productiva (20).

- **Ambiental.**

Tanto los árboles de cacao como las especies utilizadas como sombra permanente protegen el suelo de la erosión y de la proliferación de malezas lo que conlleva a reducir su control, a la vez mantienen un clima equilibrado dentro de la plantación, las hojas al caer se descomponen y contribuyen a mejorar el contenido de materia orgánica del suelo. permite que exista una mayor infiltración de agua en el suelo, ayudan a restaurar los mantos acuíferos además de proteger las cuencas hidrográficas (20).

- **Económica.**

Para las familias productoras es un buen negocio producir y vender cacao debido a que es un cultivo que siempre tiene demanda, su precio en el mercado es estable a diferencia de otros cultivos como el café o el frijol que además de tener precios variables enfrentan mayores riesgos de pérdida de la producción especialmente en el trópico húmedo (20).

2.2.6. Sistema agroforestal.

Los sistemas agroforestales, son formas de usos y manejo de los recursos naturales en los cuales , especies leñosas (árboles y arbustos), son utilizados en asociación deliberada con cultivos agrícolas y con animales , en una arreglo espacial(topológico) o cronológico (en el tiempo) en rotación con ambos; existen interacciones ecológicas y económicas entre árboles, 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 (25), (26).

Los cacaotales, constituyen uno de los más importantes sistemas productivos en las fincas, además, de ofrecer ventajas comparativas en relación con otros usos del suelo, 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).

2.2.7. Biomasa.

La biomasa es un indicador de los procesos bioquímicos y fisiológicos que se dan en el interior de cada planta, como respuesta a las condiciones de producción prevalecientes en el ciclo de vida de la misma, y de la expresión de porta injertos e injertos en las zonas de producción (28) (21). Se define como la suma total de la materia viva que se encuentra en un ecosistema en un momento determinado y se expresa en términos de peso seco, masa o volumen (29).

La evaluación de la biomasa no es fácil, debido a su alta variabilidad se requiere manejar un número alto de repeticiones para obtener una buena precisión de los indicadores estadísticos que se usan para la selección de variables y de modelos. Otro inconveniente es que se destruye material vivo en alguna etapa del ciclo de desarrollo de la planta, en comparación a plantas anuales, que pueden producirse sin dificultad en cantidades altas y son de menor tamaño y su destrucción no implica mayor esfuerzo (30).

El primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas es calculando de biomasa, además, contribuye a los bosques tropicales en el ciclo global del C, siendo un parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo, está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema forestal (29), (31).

2.2.8. Nutrientes en las plantas de cacao.

Una plantación con una óptima nutrición es capaz de soportar mejor las adversidades del clima, insectos, enfermedades y algunos patógenos del suelo, desarrollan mejor el potencial genético de su genoma y dar un producto de alta calidad (32).

El particionamiento de nutrientes depende de la etapa en la que se encuentre la planta, por ende, en la etapa vegetativa se concentra en el desarrollo de ramas, hojas, entre otros órganos, y en la etapa reproductiva se dirige hacia el llenado de frutos. La cantidad de nutrimentos en la planta depende de los procesos físicos y transformaciones de microorganismo que se llevan a cabo en el suelo, lo que implica que cuando la disponibilidad excede a la demanda, varios procesos actúan para evitar dicho exceso (32).

2.2.9. Modelos alométricos para la estimación de biomasa.

Los modelos alométricos ayudan al cálculo de la biomasa de grandes áreas forestales, valiéndose de la correlación existente entre las variables de difícil medición (pesos) y aquellas directamente medidas en inventarios forestales (diámetro, longitud y altura) (33).

En la actualidad, es de suma importancia la estimación de biomasa de árboles individuales y rodales forestales. Se han desarrollado ecuaciones en relación a la biomasa o sus componentes (raíces, hojas, ramas y fuste) con las características dasométricas de los mismos, que nos permita entender y comparar la productividad con modelos convencionales de rendimiento e incremento (5).

El empleo de los modelos alométricos desarrollados en regiones diferentes para la estimación de la biomasa presenta limitaciones debido a las distintas condiciones que rigen el crecimiento de los árboles, entre las cuales se incluyen la genética, las subpoblaciones locales, el clima y los suelos (33).

Las ecuaciones de biomasa mejoran su pronóstico cuando se consideran al mismo tiempo las variables diámetro y altura, pero la medición de ésta última no se realiza en la práctica, debido a que toma mucho tiempo y en algunos bosques con coberturas cerradas no es fácil identificar la punta del árbol, sobre todo cuando las mediciones se hacen en forma indirecta (34).

2.2.10. Modelos alométricos para la estimación de biomasa en otras especies.

Luego de varios estudios se han generado modelos alométricos específicos para algunas especies forestales de uso comercial, los mismos que para estimar biomasa únicamente requieren de valores tomados en campo, de esta forma las ecuaciones alométricas se convierten en herramienta muy útiles de uso fácil y de aplicación inmediata con solo disponer un juego de datos de campo tomados en árboles en pie sin necesidad de destruirlos (29).

2.2.10.1. Método directo.

El método directo o destructivo, consiste en medir los parámetros básicos de un árbol, diámetro a la altura del pecho, altura total, diámetro de copa y longitud de copa, luego, derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (ramas, tallo, hojas). Consiste en la extracción física de los árboles proporcional a la frecuencia relativa de la población, se realiza la disección de éstos en cada uno de sus componentes a evaluar:

tronco, ramas, hojas y raíces. Se determina de forma directa la biomasa de cada componente del árbol (35).

2.2.10.2. Método indirecto.

El método indirecto es cuando existen árboles de grandes dimensiones y en casos en los que se requiere conocer el C de un bosque sin necesidad de derribar los árboles. En éste método se cubica y estima el volumen de las trozas con fórmulas dendrometrías; el volumen total del fuste o de las ramas gruesas se obtiene con la suma de estos volúmenes parciales. Se toman muestras de madera del componente del árbol y se pesan en el campo, luego se calculan factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad específica (36).

La principal desventaja del muestreo destructivo o indirecto, es que no puede ser utilizado para mediciones repetidas en un solo individuo a lo largo de un periodo de tiempo, una alternativa para estimar la biomasa sin muestreos destructivos, es el uso de relaciones alométricas con las mismas variables morfológicas comúnmente analizadas en las plantas, como el diámetro al cuello de la raíz (D) y altura de la planta (H) o algunas variables derivadas (D² o D²H), describiendo una línea curva que representa la relación entre la biomasa y el diámetro o la altura de la planta (37) (38) (39).

2.2.11. 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 y área de albura) relacionándolas a una regresión lineal bajo escalas logarítmicas, con el objeto de estimar las primeras variables en función de las segundas (10) (40).

El uso de ecuaciones alométricas basado en relaciones matemáticas entre parámetros relativamente fáciles de medir, tales como el diámetro, permite el cálculo de la biomasa de una especie forestal de una manera no destructiva y extrapolable a situaciones de crecimiento similares (41).

2.2. Marco referencial.

El estudio “*Allometric biomass equations for young broadleaved trees in plantations in Romania*” proporcionó ecuaciones de biomasa específicas de especies y generales para plantas jóvenes a menudo utilizadas para plantaciones en tierras marginales en el sur y este de Rumania. Las funciones de potencia basadas en datos transformados logarítmicamente se aplicaron a siete especies de árboles, utilizando el diámetro a la altura del collar, el diámetro a la altura del pecho o altura como predictor único. Los parámetros proporcionados por la ecuación general destacaron la sobreestimación permanente para compartimentos de biomasa agregada y la subestimación para ramas o raíces, estas cayeron dentro del rango proporcionado por los valores superiores e inferiores estimados (42).

La exploración “*Estimating biomass of white spruce seedlings with vertical photo imagery*”, estimó la biomasa de plántulas de árboles individuales con imágenes fotográficas verticales, el análisis de regresión reveló una fuerte relación entre el área de la silueta y el diámetro basal, y la biomasa de las plántulas. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos entre las ecuaciones basadas en el área de silueta para la biomasa de ramas y el tallo principal ($P > 0.05$), o entre las ecuaciones de diámetro basal-biomasa (alométrica) para todos los componentes ($P > 0.1$). El método fue probado mediante la validación de las ecuaciones de biomasa utilizando un conjunto de datos independiente de 35 plántulas de abeto blanco del mismo sitio y cohorte, pero expuesto a diferentes tratamientos y condiciones microambientales (43).

La investigación “*Evaluation of growth slowdown nursery treatments on Prunus avium seedlings by means of allometric relationships and relative growth rates*”, evaluó los efectos de la fertilización carbónica y el cepillado apical (cepillado de los ápices de los brotes para inducir una respuesta thigmonastic negativa) en el crecimiento de *Prunus avium* en vivero, se suministró dióxido de carbono (CO_2) a los cerezos. Debido a la aclimatación observada, no se aconseja la fertilización carbónica durante todo el período de crecimiento. Los tratamientos probados no ayudaron a adaptar el suministro de material vegetal de esta especie a la demanda de revegetación (44).

El estudio “*Alometría y crecimiento de seis especies arbóreas en un bosque de tierra firme en la Amazonia Colombiana*” evaluó la variación alométrica entre variables dendrométricas y el crecimiento en dap y biomasa de seis especies clasificadas en tres grupos funcionales, de acuerdo con la densidad de la madera (ρ). No se encontraron diferencias significativas en el incremento diamétrico ni entre especies ($P=0.119$, $F=1.80$), ni entre grupos funcionales ($P=0.153$, $F=1.19$). Asimismo, el incremento en biomasa entre especies o grupos funcionales tampoco mostró diferencias significativas ($P = 0.0784$, $F = 2.05$; $P = 0.0711$, $F = 2.71$, respectivamente). No obstante, se encontró una tendencia a un mayor incremento diamétrico en promedio de las especies clasificadas como pioneras tempranas y una clara tendencia al aumento en biomasa en las especies clasificadas como tolerantes, es decir, aquellas con mayor densidad de madera (45).

El investigación “*Relaciones alométricas para predecir biomasa en plantas de Pinus pseudostrobus cultivadas en diferentes sistemas de producción en vivero*” identifico las relaciones alométricas entre la biomasa y las variables diámetro al cuello de la raíz (D), altura del tallo (H) y D2H en plantas de *Pinus pseudostrobus* cultivadas bajo diferentes sistemas de producción en vivero, con la finalidad de determinar si existe una ecuación alométrica para cada sistema de producción con la que se estime la biomasa total de la planta y de sus componentes. Los modelos completos para biomasa aérea y total, tomando en cuenta el efecto del sistema de producción, presentaron mejor ajuste y precisión que los modelos reducidos sin considerar el sistema de producción, mientras que, para la biomasa de raíz, los modelos reducidos mostraron menor error relativo de predicción. Para los tres componentes de biomasa, el diámetro fue la variable que explicó en mayor proporción la variación en biomasa (46).

La exploración “*Aboveground biomass estimation of small diameterwoody species of tropical dry forest*” precisa de diferentes componentes forestales es importante para estimar su contribución al stock total de carbono. Para el follaje y la biomasa de las ramas, los modelos con solo el diámetro del tallo como estimador mostraron un mayor R². Para los troncos y la biomasa terrestre, los modelos que incluyen la gravedad específica de la madera o la densidad de la madera exhibieron un R² mayor que aquellos sin densidad de la madera. Además, el modelo que consistía en la densidad de la madera, el diámetro y la

altura del tallo tenía el error estándar más bajo de estimación para el tronco y la biomasa terrestre. Los valores R^2 son muy similares entre los modelos para cada componente. El error de medición de la altura y el uso de un valor estándar de la densidad de la madera juntos pueden introducir más del 2% de error en los modelos. Por lo tanto, sugerimos usar un modelo de solo diámetro, que puede ser más práctico e igualmente preciso cuando se aplica a soportes fuera de nuestra área de estudio (47).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

La investigación se la realizó en la parroquia Patricia Pilar del cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos, cuya ubicación geográfica es de 0°53'35'' de latitud sur y 79°29'27'' de longitud Occidental, a una altura de 103 metros sobre el nivel del mar.

3.2. Condiciones meteorológicas.

Las condiciones meteorológicas donde se ejecutó la investigación se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. *Condiciones meteorológicas del cantón Buena Fe.*

| Parámetros | Promedio |
|---|-----------------|
| Temperatura, °C | 27 |
| Humedad relativa, % | 82 - 92 |
| Precipitación, mm. año ⁻¹ | 2.335 |
| Heliofanía, horas luz año ⁻¹ | 1.400 |
| Zona ecológica | Húmedo Tropical |

AUTOR: INAMHI, 2006.

ELABORADO: Autora.

3.3. Tipo de investigación.

La investigación es de tipo exploratoria, en la cual se determinó las relaciones alométricas para estimar la biomasa aérea en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de origen Trinitario CCN-51 y EET-103 en la provincia de Los Ríos. Contribuye a la línea A. Agricultura, silvicultura y producción animal de investigación haciendo enfoque al 2. Desarrollo de condiciones del trópico húmedo y semihumedo del Litoral Ecuatoriano.

3.4. Métodos de investigación.

Se empleó el método de investigación exploratoria. Se estimó las relaciones alométricas para estimar la biomasa aérea en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de origen Trinitario CCN-51 y EET-103 tomando datos cuantitativos como; cantidad, longitud, diámetro, y volumen, con el fin de obtener datos significativos.

3.5. Fuentes de recopilación de información.

Los datos cuantitativos fueron obtenidos de manera directa como fuente primaria de información, mediante los efectos de las variables a evaluar, cuyos resultados serán comparados con los existentes en la literatura como fuente secundaria de información (artículos científicos, tesis, libros, revistas indexadas, etc.).

3.6. Diseño de la investigación.

3.6.1. Diseño experimental.

El estudio se llevó en plantas de cacao, (CCN-51 y EET-103), sobre ramas supernumerarias de cuatro diámetros, (0.5/0.5-1.0/1.0-1.5/1.5-2.0). (En ningún caso se consideró ramas con diámetro mayor a 2.5 cm.) Con arreglo factorial de tratamientos 2x4 bajo un diseño completamente al azar.

3.6.2. Análisis de regresión.

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 se valoró a partir del coeficiente de determinación de Pearson (R^2) y el error de estimación (S_{xy}).

3.6.3. Análisis de varianza.

Tabla 2. Análisis de varianza (ANDEVA) del diseño experimental de la producción de biomasa en cultivares de cacao de origen Trinitario (CCN-51) y EET-103.

| Fuente de variación | | Grados de libertad | |
|---------------------|-------------|--------------------|----|
| Tratamiento | axb-1 | 2x4-1 | 7 |
| Factor A | a-1 | 2-1 | 1 |
| Factor B | b-1 | 4-1 | 3 |
| AB | (a-1) (b-1) | (2-1) (4-1) | 3 |
| Error | ab (n-1) | 2 * 4 (6-1) | 40 |
| Total | abn - 1 | (2 * 4 * 6) - 1 | 47 |

ELABORADO: Autora.

3.6.4. Tratamiento bajo estudio.

Como Factor A se estudió dos tipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 y EET-103 y como Factor B se evaluó datos cuantitativos de las hojas y ramas <2.0 cm de diámetro (ramas supernumerarias), como se definen en la tabla 2.

3.6.5. Modelo matemático de la investigación.

El modelo lineal matemático fue determinado de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Dónde:

Y_{ijk} = La puntuación del **i** sujeto bajo la combinación del **j** valor del factor A y el **k** valor del factor B.

μ = La media común a todos los datos del experimento

α_j = El efecto o impacto del **j** nivel del factor A.

β_k = Efecto del **k** valor del factor B.

$(\alpha\beta)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el **j** valor de A y el **k** valor de B.

ε_{ijk} = Error experimental o efecto aleatorio de muestreo.

3.6.6. Prueba de Comparación de medias.

Para la investigación los resultados fueron sometidos al análisis de la varianza mediante el estadístico F y sus medias comparativas, utilizando la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad del error, conocido también como “Prueba de significación honesta (HSD)”, hace uso del estadístico Q (“amplitud estudentizada”).

El estadístico Q viene dado por la expresión:

$$Q = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{\sqrt{\frac{CME}{n}}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

Q = Amplitud estudentizada.

\bar{X}_i = Media.

\bar{X}_j = Media.

CME = Cuadrado medio del error experimental.

n = Numero de repeticiones.

3.7. Variables a evaluar.

3.7.1.1. Cantidad de ramas supernumerarias.

Se estableció contando el número de ramas con <2.0 cm de diámetro, conocidas también como ramas supernumerarias, en dos clones de cacao (CCN-51 y EET-103). También se realizó un conteo de acuerdo a las siguientes categorías: <0.5 cm, entre 0.5 y 1 cm, entre 1 y 1.5 cm, entre 1.5 y 2.0 cm de diámetro, utilizando un calibrador manual.

3.7.1.2. Longitud de ramas.

Se evaluó la longitud de las ramas, y fueron cuantificadas de acuerdo a la variable anterior (>2.0 cm de diámetro), utilizando un flexómetro.

3.7.1.3. Volumen de ramas.

Se registró la longitud y diámetro de las ramas supernumerarias <2.0 cm, para luego, aplicar la siguiente fórmula, que nos permitió calcular el volumen total de las ramas.

$$V = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 * L \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Dónde:

d = Diámetro.

L = Longitud.

3.7.1.4. Peso de ramas y hojas.

Se evaluó el peso de las hojas que se encontraron insertas en las ramas ya cuantificadas. Se tomó datos en peso fresco y seco, en los clones de cacao CCN-51 y EET-103, utilizando una balanza gramera.

3.7.1.5. Cantidad de nutrientes.

Se tomó una muestra de tejido vegetal de ramas supernumerarias y hojas, por cada clon de cacao a evaluar, CCN-51 y EET-103. La muestra de tejido vegetal se envió al laboratorio de INIAP – Pichilingue, para determinar el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Cl, Mn, B y Mo.

3.7.2. Procedimiento experimental.

Los cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L) CCN-51 y EET-103 tendrán aproximadamente entre 12 y 20 años de plantados. Cada tratamiento conto con 6 repeticiones, en las cuales, se evaluó número de ramas <2.0 cm de diámetro, longitud y diámetro de las mismas, numero de hojas frescas y secas insertas en las ramas ya cuantificadas.

Los datos fueron tomados desde la plantación de cacao CCN-51 y EET-103 respectivamente. Son sometidos a análisis de varianza, mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error, además, se realizará el respectivo análisis de regresión de los mismos.

3.7.3. Método de secado con microondas.

Se determinó la materia seca de las muestras se utilizando el método de secado con microondas, el cual consistió en tomar las muestras de hojas y de las ramas de los clones de cacao CCN-51 y EET-103 y se procedió a cortar en pequeños trozos, después se tomó un plato de porcelana resistente a temperaturas altas colocando 100 gr de la muestra de hojas picadas misma que se pesó previamente. Se usó un vaso de precipitación de 75 ml ubicándolo dentro del microondas con 50 ml de agua con la finalidad de que no se quemé la muestra, lo siguiente que se hizo fue ubicar el plato con la muestra dentro del microondas por 5 minutos a la máxima temperatura del microondas, luego se registró el peso de la muestra en una balanza gramera, inmediatamente se reanudó el procedimiento en el microondas con un tiempo de 1 minuto, este procedimiento se repitió hasta que el peso de la muestra no varíe más de 0.2 gr.

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Talento humano.

Para esta investigación se consto con la ayuda del docente en mención dedicado a investigación.

- Auspicio académico Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montufar, quien estuvo a cargo de la orientación metodológica tanto en campo como en el laboratorio.
- Estudiante y autor del proyecto de investigación: Digna Jael Nivelá Andrade

3.8.2. Material Vegetal.

- Se utilizó las variedades de cacao tipo Trinitario CCN-51 y EET-103.
- Los tipos de cacao CCN-51 y EET-103 son clones de alta productividad de origen ecuatoriano.
 - CCN-51 originario de la Isla Trinidad, su tipo genético corresponde al cruce entre plantas del tipo criollo y forastero.
 - EET-103 originario de Naranjal, Guayas, su tipo genético corresponde a la clasificación general de híbrido Nacional.

3.8.3. Otros Materiales.

- Cuaderno de apuntes.
- Computadora.
- Fundas de papel 100 x 120.
- Fundas plásticas.
- Flexómetro.
- Calibrador manual.
- Balanza gramera.
- Machete.
- Cámara fotográfica.
- Tijeras de podar.
- Hojas de papel A4.
- Medidor de humedad.
- Microondas.
- Guantes

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.

La Tabla 3, indica la cantidad, longitud y volumen de ramas de plantas de cacao (CCN-51 y EET-103), en las cuales, se observaron diferencias en el factor clones (CCN-51 y EET-103) y diámetro de rama (0.50 cm; 0.50-1.00 cm; 1.00-1.50 cm; 1.50-2.00 cm). Además, exceptuando la variable longitud de ramas, se observó interacciones significativas al nivel 0.01 de probabilidad de factor en la cantidad y volumen de ramas.

En el componente clones de cacao se observó una mayor cantidad de ramas en el CCN-51 con respecto al EET-103, contrario a los registrados en la longitud de ramas. El clon CCN-51 alcanzó un volumen de ramas de $16019 \text{ cm}^3 \text{ árbol}^{-1}$, superando al clon EET-103 con un 73.75%, el mismo que alcanzó un volumen de $9219.54 \text{ cm}^3 \text{ árbol}^{-1}$.

De acuerdo a los datos obtenidos (Tabla 3) de los clones de cacao estudiados, la mayor cantidad de ramas registrada fue $<0,5 \text{ cm}$ de diámetro de la variedad CCN-51 con $74.12 \text{ cm árbol}^{-1}$ como promedio, a diferencia del EET-103 con $41.62 \text{ cm árbol}^{-1}$ de ramas. Sin embargo, la longitud es mayor en el clon EET-103 en ramas de 1.5 a 2 cm de diámetro con $133.54 \text{ cm árbol}^{-1}$, diferente al CCN-51 quien presenta $121.58 \text{ cm árbol}^{-1}$.

La Figura 1 refleja la interacción entre los factores clones de cacao y diámetro de ramas, revelando, que el clon CCN-51 cuenta con mayor cantidad de ramas $<0.5 \text{ cm}$ de diámetro con respecto al EET-103 (Figura 1-A), por ende, el volumen de las mismas es superior que el CCN-51 (Figura 1-C). En cambio, la interacción entre longitud y diámetro de ramas de los clones de cacao CCN-51 y EET-103 no presentaron significancia estadística (Figura 1-B), observando una línea de tendencia similar de las variedades estudiadas. Varios autores concuerdan con la importancia de registrar el diámetro de las plántulas, siendo el parámetro que más contribuye en una ecuación alométrica usada para estimar biomasa en las mismas (43), (44), (42).

Tabla 3. Cantidad, longitud y volumen de ramas en dos clones de cacao y en ramas diferentes diámetros.

| Factor | Cantidad de ramas | Longitud(cm) | Volumen(cm) |
|-------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|
| <u>Clones</u> | | | |
| CCN-51 | 74.12 a | 121.58 b | 16019.00 a |
| EET-103 | 41.62 b | 133.54 a | 9219.54 b |
| <u>Diámetros</u> | | | |
| 0,5 | 115.50 a | 50.33 d | 1133.65 a |
| 0,5-1,0 | 82.08 b | 88.00 c | 126.60 d |
| 1,0-1,5 | 25.50 c | 162.58 b | 199.47 b |
| 1,5-2,0 | 8.42 d | 209.33 a | 167.38 c |
| Promedio | 57.87 | 127.56 | 12619.45 |
| Probabilidad | | | |
| Variedad | 0.0001** | 0.0039** | 0.0001** |
| Diámetro | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** |
| Interacción | 0.0001** | 0.1329 ^{NS} | 0.0001** |

Letras iguales no son significativas según la Prueba de Tukey (P<0.05)

** = significancia estadística al nivel 0.01

^{ns} = no significancia estadística.

La Tabla 4, muestra los promedios de biomasa seca y fresca de ramas y hojas de los clones de cacao (CCN-51 y EET-103) a diferentes diámetros de ramas (0.50 cm; 0.50-1.00 cm; 1.00-1.50 cm; 1.50-2.00 cm), mostrando significancias estadísticas al nivel 0.01 de probabilidad en sus componentes ya mencionados.

En el factor clones de cacao se reveló mayor cantidad de biomasa seca de ramas en el CCN-51 con 3174.25 gr árbol⁻¹ a diferencia del EET-103 quien registra 1527 gr árbol⁻¹ de materia seca (MS). En continuidad, la biomasa seca de las hojas del CCN-51 muestra un promedio de 1850.24 gr árbol⁻¹ destacando del EET-103, el cual, muestra un promedio de 929.26 gr árbol⁻¹ de MS. Por ende, la mayor cantidad de biomasa seca total es la del clon CCN-51 con 5024.50 gr árbol⁻¹ de MS de ramas y hojas con un 49% de divergencia del EET-103.

El factor variedad registro mayor cantidad de biomasa seca en ramas de 1.5 a 2 cm de diámetro, con 2966.21 gr árbol⁻¹ de MS siendo significativamente diferente a los pesos obtenidos de las ramas de 0.5 – 0.5 a 1 – 1 a 1.5 cm de diámetro. No obstante, se observa una cantía mayor de biomasa seca de las hojas situadas en ramas de 0.5 a 1 cm de diámetro, revelando un peso de 1783.11 gr árbol⁻¹ de MS, existiendo diferencia significativa de los otros diámetros evaluados. De modo que, el clon CCN-51 presenta mayor peso de la biomasa seca total (BST) de 5024.50 gr árbol⁻¹ con el 49% de diferencia que el EET-103, el cual, cuenta con un peso de 2456.25 gr árbol⁻¹ BST

Varios autores coinciden en que el diámetro es el parámetro que más contribuye en una ecuación alométrica usada para estimar biomasa en plántulas, asimismo, sugieren que es más práctico utilizar modelos incluyendo sólo el diámetro como variable independiente (43), (44), (47).

La Figura 1 (A-B-C) reflejan líneas de tendencia semejantes, obteniendo el mayor peso de 4608.40 gr árbol⁻¹ de biomasa seca total (BST) con ramas de 1 a 1.5 cm de diámetro, seguidos de las ramas de 1.5 a 2 cm de diámetro con un promedio de 4345.38 gr árbol⁻¹ BST, continuos de las ramas de 1 a 1.5 cm de diámetro con 3802.38 gr árbol⁻¹ BST y ramas <0.5 cm de diámetro obtuvieron un peso de 2205.32 gr árbol⁻¹ BST.

Tabla 4. Biomasa fresca y seca en ramas, hojas y total de dos clones de cacao y en ramas con diferentes diámetros.

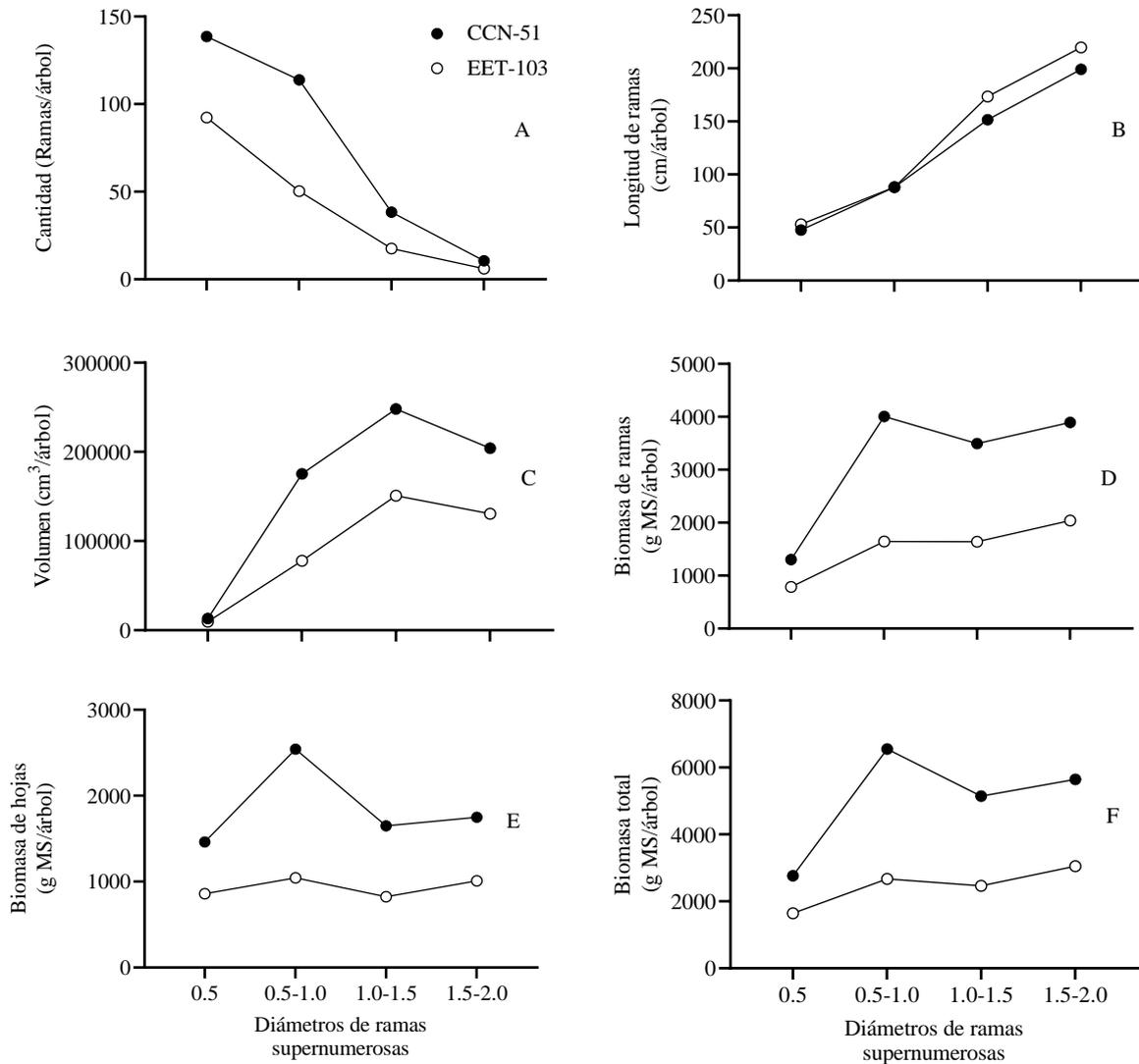
| Factor | Ramas | | Hojas | | Total | |
|--------------------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | Biomasa fresca | Biomasa seca | Biomasa fresca | Biomasa seca | Biomasa fresca | Biomasa seca |
| | g/árbol | | g/árbol | | g/árbol | |
| Clones | | | | | | |
| CCN-51 | 5676.82 a | 3174.25 a | 3444.86 a | 1850.24 a | 9121.68 a | 5024.50 a |
| EET-103 | 3003.70 b | 1527.00 b | 1910.85 b | 929.26 b | 4914.55 b | 2456.25 b |
| Diámetros de ramas (cm) | | | | | | |
| 0,5 | 1913.87 d | 1044.59 d | 2220.96 d | 1160.72d | 4134.83d | 2205.32 d |
| 0,5-1,0 | 5174.08 b | 2825.30 b | 3406.88 a | 1783.11 a | 8280.97 a | 4608.40 a |
| 1,0-1,5 | 4711.57 c | 2566.41 c | 2379.08 c | 1235.99 c | 7090.64 c | 3802.38 c |
| 1,5-2,0 | 5561.51 a | 2966.21 a | 2704.49 b | 1379.18 b | 8266.00 b | 4345.38 b |
| Promedio | 4340.25 | 2350.62 | 2677.85 | 1389.75 | 7018.11 | 3740.37 |
| Probabilidad | | | | | | |
| Variedad | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** |
| Diámetro | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** |
| Interacción | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** |

Letras iguales no son significativas según la Prueba de Tukey (P<0.05)

** = significancia estadística al nivel 0.01

El Grafico 1-A, muestra la interacción de la cantidad de ramas, la cual, es mayor a menor diámetro de la misma en los clones CCN-51 y EET-103 independiente de sus valores, sin embargo, en la Figura 1-B y 1-C la longitud y volumen, revela incremento de ramas mientras mayor sea su diámetro. La cantidad de BST (ramas y hojas) está relacionada con el incremento del diámetro de las ramas, aunque la mayor cantidad registrada fue de 0.5 a 1 cm de diámetro con el clon CCN-51. Se evidencia con lo mencionado por Giraldo, *et al.*, quien observa una clara tendencia a un aumento en el crecimiento en diámetro directamente proporcional a la biomasa de los individuos (45).

Grafico 1. Interacción entre los factores, clones de cacao y diámetro de ramas supernumerarias, y su efecto en la cantidad (a), longitud (b) y volumen de ramas (c), biomasa de ramas (d), hojas (e) y total (f).



La Tabla 5, muestra las cantidades de nutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Ca, Mg, S) presentes en ramas y hojas del clon de cacao CCN-51, revelando promedios emancipados de los diámetros de ramas ensayados (0.50 cm; 0.50-1.00 cm; 1.00-1.50 cm; 1.50-2.00 cm).

El elemento clon de cacao (CCN-51), indicó mayor absorción de N, K, Ca, en ramas y hojas, sin embargo, las hojas refieren un promedio mayor de N 23.5 g KgMS⁻¹, y las ramas 7.9 g KgMS⁻¹, no obstante, en el elemento Ca las ramas cuenta con cantidades mayores de 30 g KgMS⁻¹, mientras que las hojas 13.4 g KgMS⁻¹.

En el Factor diámetro de ramas, la cantidad de los elementos primarios (N, P, K) es considerable a 0.5 cm de diámetro tanto para hojas como ramas, mientras que los promedios de los nutrientes secundarios (Ca, Mg, S) es superior en diámetros de 1 – 1.5 cm.

Tabla 5. Nutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Ca, Mg, S) contenido en ramas y hojas de cacao (clon CCN-51).

| Factor | Ramas | | | | | | Hojas | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-----|------|------|-----|-----|-----------|-----|------|------|-----|-----|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | N | P | K | Ca | Mg | S |
| | g / kg MS | | | | | | g / kg MS | | | | | |
| Clon | | | | | | | | | | | | |
| CCN-51 | 7.9 | 1.2 | 20.3 | 30.0 | 3.8 | 0.9 | 23.5 | 1.8 | 19.3 | 13.4 | 3.7 | 1.2 |
| Diámetros de ramas (cm) | | | | | | | | | | | | |
| 0,5 | 10.0 | 1.4 | 23.9 | 24.4 | 4.2 | 0.8 | 25.0 | 1.8 | 22.4 | 12.3 | 3.3 | 1.2 |
| 0,5-1,0 | 8.0 | 1.4 | 19.6 | 34.3 | 4.3 | 1.0 | 20.0 | 2.0 | 19.1 | 13.3 | 4.0 | 1.3 |
| 1,0-1,5 | 7.0 | 0.9 | 19.6 | 27.5 | 3.1 | 0.8 | 27.0 | 1.5 | 16.8 | 14.5 | 3.6 | 1.1 |

La Tabla 6, muestra las cantidades de nutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Ca, Mg, S) presentes en ramas y hojas del clon de cacao EET-103, además, indica promedios emancipados de los diámetros de ramas ensayados (0.50 cm; 0.50-1.00 cm; 1.00-1.50 cm; 1.50-2.00 cm).

El Factor clon de cacao (EET-103), muestra indicó superior presencia de N, K, Ca, en ramas y hojas, sin embargo, existe un promedio significativo de la cantidad de N presente en las hojas con 22.4 g KgMS⁻¹, opuesto a la de las ramas 8.4 g KgMS⁻¹, aunque los promedios en la cantidad de Ca son contradictorios, ya que las ramas presentan un promedio de 28.3 g KgMS⁻¹, mientras que las hojas 12.5 g KgMS⁻¹. Estos resultados concuerdan con los datos obtenidos en la Tabla 5 del clon de cacao CCN-51 de los nutrientes ya mencionados.

El elemento diámetro de ramas muestra promedios de macronutrientes (N, P, K) mayores en hojas que proceden de ramas de 0.5 cm de diámetro, sin embargo, la cantidad de los elementos secundarios (Ca, Mg, S) es superior en las ramas de 1 – 1.5 cm de diámetro y en las hojas de 0.5 cm de diámetro.

Tabla 6. Nutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Ca, Mg, S) contenido en ramas y hojas de cacao (clon EET-103).

| Factor | Ramas | | | | | | Hojas | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-----|------|------|-----|-----|-----------|-----|------|------|-----|-----|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | N | P | K | Ca | Mg | S |
| | g / kg MS | | | | | | g / kg MS | | | | | |
| Clon | | | | | | | | | | | | |
| EET-103 | 8.4 | 1.0 | 21.4 | 28.3 | 3.4 | 1.1 | 22.4 | 1.9 | 19.5 | 12.5 | 3.6 | 1.0 |
| Diámetros de ramas (cm) | | | | | | | | | | | | |
| 0,5 | 9.6 | 1.3 | 21.0 | 25.2 | 3.6 | 1.5 | 23.0 | 2.1 | 21.4 | 12.6 | 3.5 | 1.2 |
| 0,5-1,0 | 10.4 | 1.1 | 20.0 | 28.3 | 3.6 | 1.0 | 23.0 | 2.0 | 19.9 | 12.5 | 4.0 | 0.9 |
| 1,0-1,5 | 5.6 | 0.8 | 23.0 | 29.5 | 3.0 | 1.0 | 21.0 | 1.6 | 17.1 | 12.5 | 3.2 | 0.9 |

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El modelo alométrico aplicado permitió determinar la biomasa total de los clones CCN-51 y EET-103, observando la mayor cantidad de ramas en la variedad CCN-51 con un promedio de 74.12 ramas árbol⁻¹ en los diámetros establecidos, mientras que el EET-103 reportó 41.62 ramas árbol⁻¹, siendo el CCN-51 el de mayor biomasa total (ramas y hojas).
- El clon EET-103 obtuvo el mejor promedio de longitud de ramas árbol⁻¹ con 133.54 cm, sin embargo, no tuvo significancia estadística con el clon CCN-51, quien alcanzó resultados de 121.58 ramas árbol⁻¹, dando resultados similares en las variedades investigadas. Por lo contrario, el volumen de ramas es más característica en el CCN-51 con 16019.00 cm³ árbol⁻¹ siendo significativamente diferente al EET-103 con un 49%, quien registra un 9219.54 cm³ árbol⁻¹.
- El clon de cacao CCN-51 de origen Trinitario demuestra mejores promedios de nutrientes almacenados en los tejidos vegetales como ramas y hojas de cuerdo a los análisis realizados, concordando con los óptimos resultados de las variables estudiadas; cantidad, volumen y biomasa aérea de ramas árbol⁻¹, ya que al ser uno de los clones más productivos necesitan mayores sustancias de reservas, almacenadas en sus áreas foliar.

5.2. Recomendaciones

- Registrar otras variables para obtener datos más significativos en la biomasa aérea como la altura de plantas, con la cual, se podrá comparar las variedades con características transcendentales.
- Conservar la mayor cantidad de biomasa en los cultivos de producción, aumentando la cantidad de nutrientes reservados en el follaje, por ende, el número de unidades florales, incrementando la producción del mismo.
- Realizar periódicamente análisis nutricionales (suelo y foliares), con el fin, de proporcionarles las cantidades adecuadas de nutrientes al cultivo, sin tener déficit o excesos de los mismos en épocas lluvioso y seca.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Literatura citada.

1. Jadán O, Torres B, Günter S. Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosques primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *Revista Amazónica: Ciencia y Tecnología*. 2012; 1(3): p. 173-186.
2. 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. *Ecol. Applic.* 2007; 6: p. 75-82.
3. Leiva E. Aspectos para la nutrición del cacao *Theobroma cacao* L. Documento. Facultad Ciencias Agrarias; 2012.
4. Barragán D. Aporte y descomposición de biomasa aérea en asociaciones agroforestales y su influencia en los cultivos de cacao y café. Tesis de grado. Quevedo. Los Ríos: Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Ambientales; 2008.
5. Martínez P, Solignac J, Zárate R, Fachín L, Maco J, 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 Amazónica*. 2013 Diciembre; 22(1-2): p. 67-75.
6. Alegre J, Arévalo L, Ricse A, Barbaram J, Palm C. Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonía peruana. Brazil EMBRAPA. 2001 Noviembre;: p. 21-24.
7. Chavez G, Ángeles G, Pérez M, López M, García E, Wayson C. Distribución de biomasa aérea en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán. *Madera y Bosques*. 2016; 22(3): p. 23-36.
8. Aristizábal J. Desarrollo de modelos de biomasa aérea en sombríos de Cafeto (*Coffea arabica* L.) mediante datos simulados. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*. 2011; 14(1): p. 49-56.
9. Acosta M, Vargas J, Velásquez A, Etchevers J. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca. *Agrociencia*. 2002; 6(36): p. 725-736.
10. Díaz R, Acosta M, Carrillo F, Buendía E, Flores E, Etchevers J. Determinación de

- ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Chan. *Madera y Bosque*. 2007; 13(1): p. 25-34.
11. Sanquetta C, Watzlawick L, Arce J, Mello A. Ecuaciones de biomasa aérea y subterránea en plantaciones de *Pinus taeda* en el Sur del Estado de Paraná. Tesis. Estado de Paraná, Brasil: Departamento de Ciencias Forestal, Universidad Federal del Paraná; 2001.
 12. García S. Central termoeléctricas de biomasa. *Renovetec*. 2009 - 2012;; p. 19.
 13. Enríquez G. Cacao orgánico: Guía para productores ecuatorianos. 2010;; p. 407.
 14. Echeverri J. Tecnología moderna en la producción de cacao: manual para productores orgánicos. Manual para productores orgánicos. Programa Sixaola. 2013;; p. 46.
 15. Macedo J. Tamaño óptimo de la unidad de muestreo para inventarios forestales en la comunidad campesina de Tres Unidos, Distrito del Alto Nanay. Tesis de grado. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Facultad de Ciencias Forestal; 2010.
 16. Segura M, Andrade H. Como construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes. *Agroforestería en las Américas*. 2008;(46): p. 89-96.
 17. Vallejo A, Hernández P, De Jong B, Martínez C, Rodríguez P. Preguntas frecuentes sobre la estimación de carbono para proyectos forestales MDL. salinas, z.; Hernández, P. eds. Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía. CATIE - CIFOR. 2008;; p. 43-66.
 18. Batista L. Guía técnica, El cultivo de cacao. 2009;; p. 64-65-66-67.
 19. Quiroz J, Amores F. Rehabilitación de plantaciones tradicionales de cacao en Ecuador. *Manejo Integrado de Plagas*. 2002; 63: p. 73-80.
 20. Estrada W, Castellano X, Peraza J. Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas. [Online].; 2011. Available from: Obtenido de http://infocafes.com/portal/wpcontent/uploads/2016/01/Estrada_et_al_Guia_Tecnica_Cacao.pdf.
 21. Salisbury F, Ross C. *Fisiología de las plantas*. 2000; 1 y 2: p. 523.

22. Guamán. Estudio de factibilidad para el cultivo de "cacao 51" en la parroquia Cristóbal Colon de la ciudad de Santo Domingo de los colorados y su comercialización. Santo Domingo, Ecuador.: Escuela Politécnica Nacional; 2007.

23. Quiroz J, Iniap. [Online].; 2016. Available from: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Caracter%C3%ADsticas%20agr%C3%B3micas%20de%20clones%20recomendados%20por%20el%20INIAP.pdf>.

24. Suarez C, Sotomayor I, Amores F, Ramos R, Llerena L, Moreno C, et al. Perspectivas en la multiplicación de cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional y Trinitario. [Online].; 2017. Available from: https://cidecuador.org/wp-content/uploads/congresos/2017/ix-congreso-latinoamericano-de-agronomia/diapo/perspectivas%20en%20la%20mutiplicacion%20de%20cacao%20nacional%20y%20trinitario_carmita%20suarez.pdf.

25. López G. Sistemas agroforestales. [Online].; 2017. Available from: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Sistemas%20Agroforestales.pdf>.

26. Cerda R, Espin T, Cifuentes M. Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bridi 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). 2013; 1(1): p. 6-10.

28. Gárate A, Bonilla I. Nutrición mineral y producción vegetal. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2000.

29. Jiménez E. Estimación de la cantidad de carbono almacenado en un agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el sector Shupishiña - San Matín. Tesis. Tarapoto, Perú: Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Facultad de Ciencias Agrarias; 2019.

30. Espinoza J, Ortiz C, Mendoza C, Villaseñor A, Villegas M, Peña V, et al. Modelos de regresión para la estimación de peso fresco y seco de ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch). *Revista Chanpingo Serie Horticultura*. 1998; 2(4): p. 125-131.

31. Kettering Q, Coe R, Van Noordwijk M, Ambagua C. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *For. Ecol. Manage.* 2001;; p. 199-209.
32. León E. Eficacia del Bioplus en diferentes dosis de aplicación para aumentar el número de frutos cuajados en una plantación de cacao (*Theobroma cacao*, L.). Tesis. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de recursos naturales; 2015.
33. Solano D, Vega C, Eras V, Cueva K. Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *CEDEMAZ.* 2014 Septiembre; 4(1): p. 32-34.
34. Ruiz C. Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México. *Naturaleza y desarrollo.* 2014 Junio; 12(1): p. 28-45.
35. Ruíz C. Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México. *Naturaleza y desarrollo.* 2014 Junio; 1(12).
36. 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.
37. Bloomberg M, Mason E, Jarvis P, Sedcole R. Predicting seeding biomass of radiata pine from allometric variable. *New Forests.* 2008; 36: p. 103-114.
38. Geudens G, Staelens V, Kint V, Goris R, Lust N. Allometric biomass equations for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings during the first years of establishment in dense natural regeneration. *Annals of Forest Sciences.* 2004; 61: p. 653-659.
39. Schmidt A, Poulain D, Klein D, Krause K, Peña-Rojas K, Schmidt H, et al. Allometric above-belowground biomass equations for *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) natural regeneration in the Chilean Patagonia. *Annals of Forest Sciences.* 2009; 66: p. 513.
40. gcl. A. 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. Tesis. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, Ingeniería ambiental; 2007.

41. Montero M, Montagnini F. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*. 2005 January;(45): p. 112-119.
42. Blujdea V, Pilli R, Dutca I, Ciuvat L, Abrudan I. Allo-metric biomass equations for young broadleaved trees in plantations in Romania. *Forest Ecology and Management*. 2011;; p. 264: 172-184.
43. Ter-Mikaelian M:PW. Estimating biomass of white spruce seedling with vertical photo imagery. *New Forests*. 2000;; p. 145-162.
44. Miguel C, Aranda X, De Herralde F, Sabaté S, Biel C, Savé R. Evaluation of growth slowdown nursery treatments on *Prunus avium* seedlings by means of allometric relation-ships and relative growth rates. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2010; 25(8): p. 51-59.
45. Giraldo W, Cárdenas D, Duque A. Alometría y crecimiento de seis especies arbóreas en un bosque de tierra firme en la Amazonia Colombiana. *SciELO*. 2011; 14(1): p. 9-21.
46. Sigala J, González M, Prieto J, Basave E, Jiménez J. Relaciones alométricas para predecir biomasa en plantas de *Pinus pseudostrobus* cultivadas en diferentes sistemas de producción en vivero. *Bosque*. 2016; 37(2): p. 369-378.
47. Chaturvedi R, Raghubanshi A. Aboveground biomass estimation of small diameter woody species of tropical dry forest. *New Forests*. 2013; 44(4): p. 509-519.

CAPÍTULO VII
ANEXOS

7.1. Análisis de varianza de las variables evaluadas.

Anexo 1. Análisis de varianza de cantidad de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Gl</i> | <i>SC</i> | <i>C.M</i> | <i>valor-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 7 | 108145.58 | 15449.36 | 146.38 | 0.0001 |
| Variedad | 1 | 12675.00 | 12675.00 | 120.49 | 0.0001 |
| Diámetro | 3 | 88811.41 | 29603.80 | 280.49 | 0.0001 |
| Variedad*Diámetro | 3 | 6659.16 | 2219.72 | 21.03 | 0.0001 |
| Error | 40 | 4221.66 | 105.54 | | |
| Total | 47 | 112367.25 | | | |

Anexo 2. Análisis de varianza de longitud de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Gl</i> | <i>SC</i> | <i>C.M</i> | <i>valor-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 7 | 188106.31 | 26872.33 | 147.46 | 0.0001 |
| Variedad | 1 | 1716.02 | 1716.02 | 9.42 | 0.0039 |
| Diámetro | 3 | 185309.56 | 61769.85 | 338.95 | 0.0001 |
| Variedad*Diámetro | 3 | 1080.72 | 360.24 | 1.98 | 0.1329 |
| Error | 40 | 7289.50 | 182.23 | | |
| Total | 47 | 195395.85 | | | |

Anexo 3. Análisis de varianza del volumen de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Gl</i> | <i>SC</i> | <i>C.M</i> | <i>valor-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 7 | 316334.35 | 45190.62 | 85.27 | 0.0001 |
| Variedad | 1 | 55484.99 | 5548.49 | 104.70 | 0.0001 |
| Diámetro | 3 | 243085.86 | 8102.86 | 152.90 | 0.0001 |
| Variedad*Diámetro | 3 | 17763.49 | 592.11 | 11.17 | 0.0001 |
| Error | 40 | 21197.88 | 529.94 | | |
| Total | 47 | 337532.23 | | | |

Anexo 4. Análisis de varianza de la biomasa de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Gl</i> | <i>SC</i> | <i>C.M</i> | <i>valor-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------------|-----------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 7 | 200793065.6 | 28684723.7 | 62.20 | 0.0001 |
| Variedad | 1 | 85746632.56 | 85746632.56 | 185.95 | 0.0001 |
| Diámetro | 3 | 98543059.82 | 32847686.61 | 71.23 | 0.0001 |
| Variedad*Diámetro | 3 | 16503373.19 | 5501124.40 | 11.97 | 0.0001 |
| Error | 40 | 180445301.7 | 461132.5 | | |
| Total | 47 | 219238367.3 | | | |

Anexo 5. Análisis de varianza de la biomasa seca de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Gl</i> | <i>SC</i> | <i>C.M</i> | <i>valor-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------------|-----------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 7 | 66463663.42 | 9494809.06 | 70.79 | 0.0001 |
| Variedad | 1 | 32561026.03 | 32561026.03 | 242.77 | 0.0001 |
| Diámetro | 3 | 28278536.53 | 9426178.84 | 70.28 | 0.0001 |
| Variedad*Diámetro | 3 | 5624100.86 | 1874700.29 | 13.98 | 0.0001 |
| Error | 40 | 5365011.30 | 134125.28 | | |
| Total | 47 | 71828674.7 | | | |

Anexo 6. Análisis de varianza de la biomasa fresca de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Gl</i> | <i>SC</i> | <i>C.M</i> | <i>valor-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------------|-----------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 7 | 4294621.10 | 6135160.16 | 37.17 | 0.0001 |
| Variedad | 1 | 28238332.20 | 28238332.20 | 171.09 | 0.0001 |
| Diámetro | 3 | 9962590.50 | 3320863.50 | 20.12 | 0.0001 |
| Variedad*Diámetro | 3 | 4745198.40 | 1581732.80 | 9.58 | 0.0001 |
| Error | 40 | 6602172.8 | 165054.32 | | |
| Total | 47 | 49548293.96 | | | |

Anexo 7. Análisis de varianza de la biomasa total fresca de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Gl</i> | <i>SC</i> | <i>C.M</i> | <i>valor-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------------|-----------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 7 | 395200450.9 | 56457207.3 | 49.16 | 0.0001 |
| Variedad | 1 | 212399229.9 | 212399229.9 | 184.93 | 0.0001 |
| Diámetro | 3 | 147819547.1 | 49273182.4 | 42.90 | 0.0001 |
| Variedad*Diámetro | 3 | 34981673.9 | 11660558.0 | 10.15 | 0.0001 |
| Error | 40 | 45942095.0 | 1148552.4 | | |
| Total | 47 | 441142545.9 | | | |

Anexo 8. Análisis de varianza de la biomasa total seca fresca de los clones de cacao CCN-51 Y EET-103.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Gl</i> | <i>SC</i> | <i>C.M</i> | <i>valor-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------------|-----------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 7 | 132399034.6 | 18914147.8 | 57.47 | 0.0001 |
| Variedad | 1 | 79150895.75 | 79150896.75 | 240.50 | 0.0001 |
| Diámetro | 3 | 41756591.24 | 13918863.75 | 42.29 | 0.0001 |
| Variedad*Diámetro | 3 | 11491546.66 | 3830515.55 | 11.64 | 0.0001 |
| Error | 40 | 13164219.4 | 329105.5 | | |
| Total | 47 | 145563254.1 | | | |

7.2. Fotos.

Foto 1. Corte de las ramas de 0.5; 0.5 – 1.0; 1.0 – 1.5; 1.5 – 2.0 de diámetro y mezcla del material vegetal para la recolección de las muestras de los clones de cacao CCN-51 y EET-103.



Foto 2. Mezcla del material vegetal para la recolección de las muestras de los clones de cacao CCN51 / EET-103, y toma de peso de las muestras.



Foto 3. *Lavado de ramas y hojas de los clones de cacao CCN51 / EET-103.*



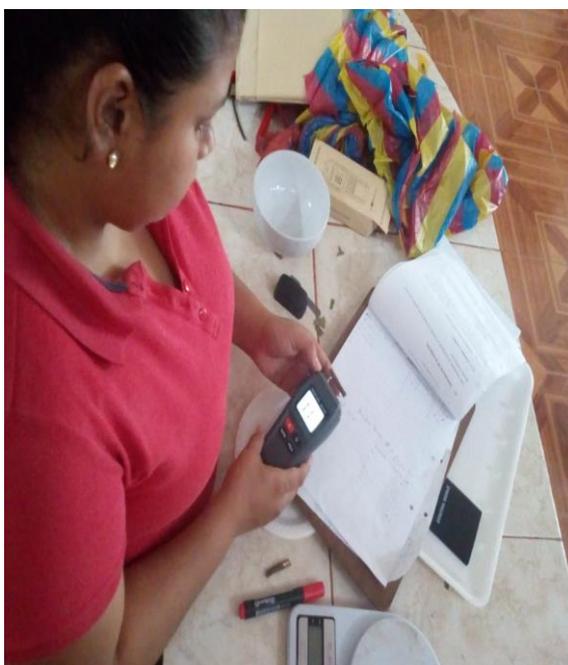
Foto 4. *Peso de material vegetal tomados de los clones de cacao CCN51 / EET-103 y proceso de secado para determinar materia seca.*



Foto 5. *Proceso de secado del material vegetal tomados de los clones de cacao CCN51 / EET-103.*



Foto 6. *Toma de humedad a las ramas y peso de las sub muestras del material vegetal de los clones de cacao CCN51 / EET-103.*



7.3. Análisis de suelo, tejidos vegetales y agua de las plantas de cacao evaluadas, de acuerdo, a los diámetros establecidos.



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"

LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS

Km 5 Carretera Quevedo – El Empalme
Mocache – Ecuador Teléfono: 2783044 Ext. 201

| | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------|--------------------------|------------|
| Nombre del Propietario : | Bautista Palma Luis Alejandro | Telf. _____ | Reporte N° : | 6234 |
| Nombre de la Propiedad : | Sin Nombre | Cultivo : | Fecha de muestreo : | 04/10/2019 |
| Localización : | Patricia Pilar | Buena Fe | Fecha de ingreso: | 04/10/2019 |
| | Parroquia | Cantón | Fecha salida resultados: | 28/10/2019 |
| | | Los Ríos | | |
| | | Provincia | | |

RESULTADOS E INTERPRETACION DE ANÁLISIS ESPECIAL DE CACAO

| Número de Laboratorio | Identificación de las Muestras | Concentración % | | | | | | ppm | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|-----------------|---------|---------|--------|----------|--------|------|------|-------|--------|-----------|
| | | Nitrógeno | Fósforo | Potasio | Calcio | Magnesio | Azufre | Boro | Zinc | Cobre | Hierro | Manganeso |
| 71868 | Muestra Rama 0-5 | 1.0 | 0.14 | 2.39 | 2.44 | 0.42 | 0.08 | 25 | 74 | 15 | 66 | 14 |
| 71869 | Muestra Rama 05-1 | 0.8 | 0.14 | 1.96 | 3.43 | 0.43 | 0.10 | 30 | 68 | 11 | 48 | 8 |
| 71870 | Muestra Rama 01-1.5 | 0.7 | 0.09 | 1.96 | 2.75 | 0.31 | 0.08 | 25 | 68 | 13 | 51 | 9 |

Observaciones: -----

x. 
 Dr. Manuel Carrillo Z
 RESPONSABLE DPTO.




 LABORATORISTA

7.4. Análisis foliar de las plantas de cacao evaluadas, de acuerdo, a los diámetros establecidos.

| | |
|---|---|
|  | ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec |
|---|---|

REPORTE DE ANALISIS FOLIARES

| | | |
|---|---|--|
| DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : Bautista Palma Luis Alejandro Dirección : Ciudad : Buena Fe Teléfono : Fax : | DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : Sin Nombre Provincia : Los Ríos Cantón : Buena Fe Parroquia : Patricia Pilar Ubicación : | PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo : CACAO N° de Reporte : 6234 Fecha de Muestreo: 04/10/2019 Fecha de Ingreso : 04/10/2019 Fecha de Salida : 29/10/2019 |
|---|---|--|

| N° Muest. Laborat. | Datos del Lote | | (%) | | | | | | | (ppm) | | | | | | |
|--------------------|---------------------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|----|-------|------|------|------|------|----|----|
| | Identificación | Area | N | P | K | Ca | Mg | S | Cl | Zn | Cu | Fe | Mn | B | Mo | Na |
| 71865 | Muestra hoja 0-5 | | 2,5 E | 0,18 A | 2,24 E | 1,23 E | 0,33 D | 0,12 D | | 53 A | 13 A | 79 A | 38 D | 30 A | | |
| 71866 | Muestra hoja 05-1 | | 2,0 A | 0,20 E | 1,93 A | 1,33 E | 0,40 A | 0,13 D | | 51 A | 11 A | 59 D | 23 D | 28 D | | |
| 71867 | Muestra hoja 01-1.5 | | 2,7 E | 0,15 A | 1,68 D | 1,45 E | 0,36 D | 0,11 D | | 53 A | 11 A | 66 A | 24 D | 24 D | | |

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados.



INTERPRETACION
 D = Deficiente
 A = Adecuado
 E = Excesivo

[Signature]
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

[Signature]
 RESPONSABLE LABORATORIO