UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

"ECUACIÓN PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE LA RAÍZ A PARTIR DE LA RELACION R/T (RAIZ/TALLO) EN BRINZALES Y LATIZALES DE ESPECIES FORESTALES"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

MADALEY CHACÓN TREJO

PUCALLPA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 396

En la ciudad de Pucallpa siendo las 11:15 horas del día Martes 27 de Agosto del 2019, de acuerdo al reglamente de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en los ambientes del Auditorio la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, los mismos que estuvo conformado por:

Dr. FERNANDO VELÁSQUEZ DE LA CRUZ	**PRESIDENTE**
Dr. MARCO ANTONIO CHOTA ISUIZA	**MIEMBRO**
Ing. M.Sc. CESAR MORI MONTERO	**MIEMBRO**

Se procede a evaluar la sustentación de tesis denominada: **"ECUACIÓN PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE LA RAÍZ A PARTIR DE LA RELACION R/T (RAIZ/TALLO) EN BRINZALES Y LATIZALES DE ESPECIES FORESTALES"**, presentado por la Bachiller: **MADALEY CHACÓN TREJO**, asesorada por el **Dr. Aparicio Limache Alonzo**. Habiendo finalizando la sustentación se procedió a la formulación de las preguntas por parte del jurado, las que fueron absueltas por la sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD**, con el calificativo de **BUENO**, quedando expedito para el otorgamiento del Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

Siendo las 12:15 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros del jurado en señal de conformidad.

Dr. Fernando Velásquez De La Cruz
PRESIDENTE

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza
MIEMBRO

Ing. Mg. Cesar Mori Montero
MIEMBRO

ACTA DE APROBACIÓN

La presente tesis fue aprobada por los miembros del Jurado Calificador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz
Presidente

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza
Miembro

Ing. M. Sc. Cesar Mori Montero
Miembro

Dr. Aparicio Limache Alonzo
Asesor

Bach. Madaley Chacón Trejo
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

Constancia

N° 344

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis) titulado:

ECUACIÓN PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE LA RAÍZ A PARTIR DE LA RELACION R/T (RAIZ/TALLO) EN BRINZALES Y LATIZALES DE ESPECIES FORESTALES

Cuyo autor (es)	:	CHACÓN TREJO, MADALEY
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela profesional	:	INGENIERÍA FORESTAL
Asesor (a)	:	Dr. LIMACHE ALONZO, APARICIO

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 04 %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 26/09/2019

Dirección General de Producción Intelectual
UCAYALI

DRA. DINA CARI QUISPE
Direc. Gral. Prod. Intel

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, MADALEY CHACÓN TREJO

Autor de la TESIS titulada:

ECUACIÓN PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE LA RAIZ A PARTIR DE LA RELACIÓN R/T (RAIZ/TALLO) EN BRINZALES Y LATIZALES DE ESPECIES FORESTALES

Sustentada el año: 2019

Con la asesoría de: DR. APARICIO LIMACHE ALONZO

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Carrera Profesional de: INGENIERIA FORESTAL

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

- [x] Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).
- [ ] Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 18 / 10 / 2019

Email: madykaprikornio90@gmail.com

Firma:

Teléfono: 973 88 0050

DNI: 46251496

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y la oportunidad de desarrollarme como profesional al servicio de su creación “el hombre”.

A mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron y darme el estímulo necesario para esforzarme y lograr mis objetivos.

A mis hermanos que siempre creyeron en mí alentándome en todo momento a seguir en la lucha de la mejora continua.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali por acogerme en sus aulas hasta culminar mis metas trazadas.

A los docentes de la FCFyA - UNU que participaron en mi formación impartiendo sus experiencias profesionales.

A mi Asesor el Dr. Aparicio Limache Alonzo por su paciencia y dedicación especialmente en la revisión del borrador y sus recomendaciones siempre oportunas.

A mi novio Pepe Vásquez Cabrejo, por su apoyo incondicional y motivación durante toda mi carrera.

A mis amigos y compañeros de la universidad por cada momento grato vivido durante todos estos años, especialmente a Kattya Gonzales Loli por su amistad y sustento en cada momento, gracias a todos por formar parte de mi aprendizaje.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

DEDICATORIA …..…….....vi

AGRADECIMIENTOS..…….....vii

ÍNDICE DE TABLAS…….....xi

ÍNDICE DE ANEXOS..……..….xii

RESUMEN…….……xiii

ABSTRACT…….……xiv

INTRODUCCIÓN…….……1

CAPÌTULO I…….……4

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..……..……..……4

1.1. Formulación del problema…….……4

1.1.1. Problema general…….....…….……5

1.1.2. Problemas Específicos……...……6

1.2. Objetivos……..……..……7

1.2.1. Objetivo General……..……7

1.2.2. Objetivos Específicos……..……7

CAPÍTULO II…….……8

MARCO TEÓRICO…….……8

2.1. Revisión Bibliográfica……..…….……..…….....8

2.1.1. Estudios sobre biomasa en árboles.....8

2.1.2. Investigación sobre la Proporcionalidad……..……..…..…..9

2.2. Plantemiento Teórico…….……..……...11

2.3. Marco Conceptual……..……..……13

2.3.1. Calentamiento global de la tierra…….……..…13

2.3.2. Capacidad de captura de carbono de la raíz…….……..…...14

2.3.3. Certificación de especies forestales……..……..…..…...…16

2.3.4. Flotación…….……..……..…16

2.3.5. Principio de Arquímedes o medición por flotación…….....…..17

2.4. Definición de Términos Básicos……..……...18

CAPÍTULO III……..……19

METODOLOGÍA……...19

3.1. Área de Estudio……..19

3.2. Método y Diseño de Investigación…….……19

3.3. Población y Muestra……..20

3.4. Materiales e Instrumentos Empleados……...21

3.5. Procedimiento Para la Recolección de Datos……..…....……..21

3.6. Tratamiento de Datos…….....……23

CAPÍTULO IV…….25

RESULTADOS Y DISCUSIÓN……25

4.1. Resultados……..25

4.1.1. Ecuación Basada en la Relación R/T (raíz/tallo)……..25

4.1.1.1. Relación Raíz/Tallo (R/T) de los Brinzales……25

4.1.1.2 Relación Raíz/Tallo (R/T) de los Latizales……..……...26

4.1.2. Ecuación Derivada de la Relación V/T (vuelo7tallo)……28

4.1.2.1. Relación V/T de los Brinzales…….…28

4.1.2.2. Relación V/T de los Latizales……..…29

4.1.3. Relación R/P (raíz/plantón) de las Especies……....……..30

4.2.Discusión……..31

1

4.2.1. La Ecuación para estimar el Volumen de la raíz……..31

4.2.2. Ecuación del vuelo o copa……...34

4.2.3. Relación R/P de Especies Forestales……35

4.2.4. Agenda de la Investigación a Futuro……..38

4.2.4.1. Determinación de la Ecuación para estimar el volumen de la raíz de los árboles…….…….38

4.2.4.2. Determinación del R/T, V/T y R/P en el volumen de las palmeras……41

4.2.4.3. Determinación del R/T y R/V de Brinzales y Latizales de regeneración natural……..……..…41

4.2.5. Aporte de la Investigación a la Ciencia……..42

4.2.5.1. Demostración de Hipótesis……..…….42

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……43

5.1.

Conclusiones……..433

5.2. Recomendaciones……43

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS……...455

ANEXOS…….…..48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de acopio de datos 20

Tabla 2. Relación R/T de los Brinzales 26

Tabla 3. ANVA de la relación R/T de los brinzales 26

Tabla 4. Relación R/T de los Latizales 27

Tabla 5. ANVA de la relación R/T de los latizales 27

Tabla 6. Prueba de comparación de tukey de la relacion R/T de latizales 28

Tabla 7. Relación V/T de los brinzales 28

Tabla 8. ANVA de la relación V/T de los brinzales 29

Tabla 9. Relación V/T de los Latizales 29

Tabla 10. ANVA de la relación V/T de los latizales 29

Tabla 11. Prueba de comprobación de Tukey de V/T de los latizales 30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza en Brinzales..... 49

Anexo 2. Análisis de varianza en Latizales 50

Anexo 3. Cuadro de resumen de las relaciones..... 51

Anexo 4. Matriz de Consistencia..... 52

Anexo 5. Imágenes de Evaluación…….…… 53

RESUMEN

Los técnicos que formulan proyectos de secuestro de carbono de bosques tropicales están obligados a estimar el volumen del sistema radicular de los árboles. Sin embargo, las fórmulas hasta hoy conocidas solo permiten estimar el volumen del fuste más no de la raíz. Elaborar Ecuaciones Alométricas para hallar volumen de la raíz de especies forestales tropicales es complicado. Así, la solución de este problema se torna cada vez más esquivo y afecta al bionegocio de la venta de carbono. Por ello el objetivo fue determinar la ecuación para hallar el volumen de la raíz a partir de la relación R/T (raíz/tallo) en brinzales y latizales. Para tal efecto, se utilizó 250 plantones criados en un vivero forestal distribuidos en 125 brinzales y 125 latizales cada uno conformado por 5 especies. El volumen se halló por el método de la flotación sumergiendo raíz, tallo y hojas en un vaso de precipitación de 2000 ml con 1000 ml de agua, el excedente se registró en cm^3. Como resultados la relación raíz/tallo para brinzales fue (R/T = 0.50) y 0.52 para latizales. La relación, vuelo/tallo fue (V/T = 0.61) en brinzales y 0.74 en latizales, la relación raíz/plántula (R/P = 0.23). La relación R/T y V/T de los latizales resultaron altamente significativos. En este contexto y por el momento para estimar el volumen de la raíz de un árbol adulto se recomienda utilizar la ecuación R = F x 0.50, donde R = volumen de la raíz y F = volumen del fuste. Se concluye que dicha ecuación no garantiza la estimación del volumen del sistema radicular de especies de palmeras tropicales, especies con raíces de estructura especial como el Cecropia sp.

Palabras clave. Ecuaciones alométricas, volumen de raíz, relación raíz/tallo, volumen del fuste.

ABSTRACT

Technicians who formulate carbon sequestration projects from tropical forests are required to estimate the volume of the tree's root system. However, the formulas known until now only allow estimating the volume of the shaft, not the root. Developing allometric equations to find root volume of tropical forest species is complicated. Thus, the solution of this problem is becoming increasingly elusive and affects the carbon trading bionegocio. Therefore, the objective was to determine the equation to find the volume of the root of a standing tree from the R / T ratio (root / stem). For this purpose, 250 seedlings raised in a forest nursery distributed in 125 brinzales and 125 latizales each consisting of 5 species were used. The volume was found by the flotation method by immersing root, stem and leaves in a 2000 ml beaker with 1000 ml of water, the surplus was recorded in cm3. As a result, the root / stem ratio for brinzales was (R / T = 0.50) and 0.52 for latizales. The ratio, flight / stem was (V / T = 0.61) in brinzales and 0.74 in latizales, the root / seedling ratio (R / P = 0.23). The R / T and V / T ratio of the latizales were highly significant. In this context and for the moment to estimate the root volume of an adult tree it is recommended to use the equation R = F x 0.50, where R = root volume and F = shaft volume. It is concluded that this equation does not guarantee the estimation of the volume of the root system of tropical palm species, species with special structure roots such as Cecropia sp.

Keywords. Allometric equations, root volume, root / stem ratio, shaft volume

INTRODUCCIÓN

Una limitante para promover los bionegocios sobre captura de carbono de los bosques tropicales de la Región Ucayali es el desconocimiento de la metodología para estimar el volumen de la raíz de los árboles. Como aseguran (Acosta, et al 2001), (Sierra, et al 2001) y otros el mayor porcentaje del carbono de los ecosistemas se encuentra en el suelo como biomasa de las raíces y en formas estables como compuestos geoquímicos. Los métodos convencionales de determinación del volumen de captura de carbono no son eficientes en bosques tropicales por la diversidad y complejidad del sistema radicular de los árboles.

En efecto, para cuantificar estos parámetros describen dos métodos. El primero es una fórmula elaborada por un protocolo llamado Ecuaciones Alométricas que obliga talar un mínimo de 100 árboles por cada categoría diamétrica de cada especie, excavar la raíz de los árboles para cubicarlos y pesarlos uno por uno. El otro método es principio de Arquímedes o flotación por el cual se sumerge sea la raíz, copa y tallo de la plántula en un cilindro graduado con agua. El volumen se determina por desplazamiento del agua que ocurre como una respuesta al peso del objeto sumergido.

Mientras en el primer caso se destruye 100 árboles por cada categoría diamétrica y por especie en el segundo caso es difícil introducir un árbol adulto por ejemplo de una lupuna en el cilindro o un recipiente lo suficientemente grande como para contener por lo menos las partes seccionadas del árbol. Por cierto, en ambos casos se tiene que repetir la operación para darle el rigor científico correspondiente. Así, el costo por mano de obra, maquinaria y afines también es alta y sobre todo es complejo y oneroso.

Los perjudicados directos con esta limitante, son los propietarios de los bosques como las comunidades y los empresarios forestales dedicados al

negocio de secuestro de carbono. En efecto, para ellos la certificación de sus bosques con fines de acceso al mercado de bonos de carbono son impedidos por no contar con información confiable sobre el volumen de carbono que almacena el sistema radicular del árbol por ende del bosque.

Las empresas dedicadas a la compra de carbono exigen información confiable y demostrada. No aceptan transacciones comerciales basadas en suposiciones mucho menos en información ambigua. Este problema repercute negativamente en la implementación de compra venta de servicios ambientales que promueve el Protocolo de Kioto como un mecanismo de desarrollo limpio (MDL) en beneficio de países como el Perú donde las comunidades nativas y los Concesionarios Forestales conducen bosques tropicales capaces de brindar valor agregado al recurso bosque.

Como evidencia, en el periodo de vigencia del protocolo de Kioto el Perú hizo una efímera transacción de este bionegocio. La razón entre otros fue el desconocimiento de técnicas para estimar volumen del sistema radicular de árboles. Regiones como Ucayali, Loreto, Madre de Dios, Amazonas y otros cuyos territorios en mayor parte están cubiertos por bosques tropicales, no se beneficiaron como lo esperado en el mercado de bonos de carbono.

En consecuencia, la importancia de la investigación va dirigida a la aplicación del estudio para la estimación del volumen total de un árbol con fines de acceso al mercado de los bonos de carbono. En efecto con esta información se facilitará la estimación por lo menos con cierta aproximación del volumen de la raíz, del fuste y del vuelo del árbol. La suma de las partes arrojará el volumen total.

Si se quiere contribuir objetivamente al fomento del bionegocio de captura de carbono es urgente desarrollar estudios sobre la determinación del volumen

de biomasa que acumula la copa y el sistema radicular de los árboles de bosque. Frente a ello la opción viable es acudir al volumen de los plantones para hallar la relación R/T (raíz/tallo) y V/T (vuelo/tallo) luego extrapolar esta información al R/F (raíz/fuste) y V/F (vuelo/fuste) de los árboles. Se trabajó con plantones criados en un vivero forestal por la conservación de la integridad del sistema radicular en las respectivas bolsas lo cual evita sub o sobre estimación de volumen.

Por estas razones el objetivo del estudio fue determinar la ecuación que estima el volumen de la raíz a partir de la relación R/T (raíz/tallo) de plantones criados en un vivero forestal. Según su tamaño los plantones fueron seleccionados en brinzales y latizales. Estos últimos correspondieron a remanentes de la campaña de producción de plantones del año anterior.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el bionegocio de captura de carbono de bosques tropicales, generalmente se realizan inventarios forestales con las cuales se halla el volumen del fuste. Para determinar el volumen del vuelo existen técnicas como el factor de expansión. Lo que no existe información confiable es para hallar el volumen de la raíz. En estas condiciones el volumen de la biomasa de la raíz sólo se estima sumando un porcentaje elegido por acuerdo de los tratantes por ende sin sustento técnico lo cual desnaturaliza la precisión de los datos por ende del bionegocio.

Por otro lado el fundamento de la proporcionalidad indica por ejemplo que el tamaño del pie de un niño guarda una relación conocida con respecto al tamaño de su cuerpo. Lo mismo ocurre cuando la persona es joven, es adulto y es anciano. Igual ocurre con la cabeza y el cuerpo. Todas las partes de los objetos o seres vivos en especial guardan una relación conocida (Interián, et al, 2009). Este mismo fundamento se visualiza en los árboles, por lo mismo se supone que la relación del volumen de la raíz es el mismo cuando se trata de especies y sus estadíos como son los brinzales, latizales y fustales. Así surge el problema general que se explica a continuación.

1.1.1 Problema General

La pregunta que merece repuesta tajante e inmediata es; ¿Cuál es la ecuación para estimar el volumen de la raíz de un árbol basado en la relación R/T (raíz/tallo) de plantones criados en un vivero forestal? Se entiende que una plántula está conformada por una parte invisible llamada raíz y otra parte visible denominado tallo cuando es pequeño y fuste cuando el árbol es adulto. En el caso del vuelo sus componentes son las ramas y las hojas respectivamente. En los brinzales el vuelo está compuesto de las hojas pues éstas no tienen ramas. En el vuelo del latizal de algunas especies ya se incluye el volumen de las ramas.

Para hallar el volumen del vuelo o copa de un árbol adulto se utiliza el factor de expansión de biomasa (Feb). Esta es una herramienta que recomienda (Dauber, et al 2000) y resulta de una ecuación de regresión modelada en función al diámetro de los fustes que es el sgte: Feb = exp (2.3624 – 0.3436In (Bf) – 0.0044 In^2 (Bf)). Se expresa en t/ha, (Dauber, et al 2000).

Si se quiere responder a la pregunta antes planteada, la acción inmediata consiste en identificar la metodología para hallar el volumen de la raíz de los árboles. Indudablemente para árboles de bosques tropicales hallar este parámetro es difícil y costoso sobre todo cuando se aplica metodologías de estimación convencionales. En este contexto, a través de un trabajo en plántulas es posible extrapolar la información a los árboles. Así, la relación R/T (raíz/tallo) se convierte en la relación R/F (raíz/fuste) de

los árboles lo cual genera la ecuación R = T x constante, que sirve para estimar el volumen de la raíz a partir del volumen del tallo o fuste.

1.1.2 Problemas Específicos

En el caso de plantones de diferentes especies forestales, se visualiza un sistema radicular variado, unos presentan raíces pivotantes, otros fasciculados, otros tienen raíces zancos etc. Como es natural, se supone que la forma o tipo de raíz induce a una variación de los respectivos volúmenes. En consecuencia, cabe la pregunta ¿Cómo varía la relación R/T (raíz/tallo) del volumen de la raíz con respecto al volumen del tallo a nivel de especies forestales?

Otra variable que se visualizó fue la relación R/T del volumen de la raíz y del tallo con respecto al tamaño de los plantones, es decir entre un brinzal y un latizal. Se pensó que a mayor altura la deformación de las raíces supuestamente es mayor por tanto el volumen también varía de forma notable. Aquí cabe la otra pregunta ¿Cómo varía la relación R/T del volumen de la raíz y el volumen del tallo de las plántulas en brinzales y latizales?

Considerando que el volumen del vuelo de una plántula está conformado por la suma de volúmenes de las ramas y las hojas, se presume que existe una relación V/T (vuelo/tallo) similar a la relación R/T. Esta información es útil para estimar el volumen de la copa o el vuelo del árbol o fuste. Entonces la pregunta es: ¿Cuál es la relación V/T de los plantones?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

- Determinar la ecuación que estima el volumen de la raíz basado en la relación R/T (raíz/tallo) de brinzales y latizales de especies forestales tropicales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la relación R/T (raíz/tallo) de brinzales y latizales.
- Determinar la relación V/T (vuelo/tallo) de brinzales y latizales.
- Determinar la relación R/P (raíz/planta) de brinzales y latizales de especies forestales tropicales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La mayoría de los trabajos relacionados con proporcionalidad fueron publicados con referencia a la parte aérea de las coníferas como el caso de los pinos. Al respecto existen numerosos estudios de ecuaciones Alométricas por ejemplo para estimar el volumen de la biomasa. En cambio en especies forestales tropicales los estudios son pocos. Con mayor razón para el sistema radicular de las especies forestales son escasos. Así se tiene:

2.1.1. Estudios sobre biomasa en árboles

En términos porcentuales el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, representando entre 55 y 77% del total; luego están las ramas, de 5 y 37 %; y por ultimo las hojas y la corteza de fuste entre 1 a 15 % y 5 a 16 %, respectivamente. La contribución porcentual de los diferentes componentes (fuste, corteza, rama, hojas y raíces) en la biomasa total de un árbol varía considerablemente dependiendo de la especie, edad, sitio y tratamiento silvicultural y otros factores que influye en el desarrollo volumétrico de los árboles (Ordoñez, 2001).

Por ejemplo, indica que la biomasa de las raíces se expresa comúnmente con relación a la biomasa aérea, como la razón raíz/tallo (R/T). Las estimaciones, no son consistentes respecto a la profundidad de muestreo, como tampoco si se incluyen raíces gruesas. También indica que

la estimación de biomasa bajo el suelo o biomasa radicular constituye un proceso costoso y generalmente oneroso. Algunos investigadores realizaron estimaciones de biomasa radicular encontrando el 15 % de biomasa radicular comparado con la biomasa aérea. Aun así, ésta es una estimación conservadora porque no especifica la especie forestal evaluada ni la relación raíz/tallo o raíz/fuste.

2.1.2. Investigación sobre la Proporcionalidad

Los trabajos en torno a la estimación de la proporcionalidad del vuelo y de la raíz mostrados por la literatura disponible son variados y ambiguos. La mayoría trata sobre especies forestales de bosques templados, andinos y otros. Hay escasa información sobre bosques tropicales.

Por ejemplo, (Cairns, et al 1997), encontró valores de razón R/T (raíz/tallo) para distintos lugares del mundo entre 20 y 30 % de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea. (Vallejo, 2009), al ejercitar la distribución del volumen de biomasa de un bosque, afirma que del 4 a 23% corresponde a la biomasa subterránea (suelo y raíces), del 5 a 7% a la madera muerta. A la hojarasca, pertenece menos del 5%, entre 5 a 20% corresponde a la biomasa aérea no maderable y del 60 al 90% pertenece a la biomasa aérea maderable.

Otro ejemplo corresponde a (Fonseca, et al 2009), quien reporta que la relación de biomasa radical respecto a biomasa aérea total fue 0.25 y con relación a la biomasa del fuste fue 0,37. En bosques secundarios fue 0,26 y para las plantaciones encontró 0,39. Comparando la relación entre

especies para e *V. guatemalensis*, reporta 0,3 y 0,52 para el *H. alchorneoides*.

Por su parte, (Gayoso, 2001), al distribuir la biomasa aérea de árboles de especies nativas del tipo forestal siempre verde (árboles de DAP > 10 cm) muestran la siguiente proporción: 0,62 - 5,05% en las hojas; 6,09 – 22,23 % ramas; 61,89 – 88,06 % fuste; y, 4,62 –16,21 % en la corteza. Las raíces, (diámetro > 5 mm) en todas las especies alcanzan a 27,50 % de la biomasa aérea. La biomasa en rodales de *Pinus radiata D. Don*, edad de 23 años, alcanza: 4,07 % en las acículas; 9,08 % en las ramas; 5,64 % en la corteza; y 80,56 % en el fuste. A las raíces le corresponden el 25,39 % de la biomasa aérea.

También (Mendez, et al 2011)**,** afirma que el 60.2 y 58.4 % de la biomasa aérea total fue registrada en el fuste; 39.8 y 41.6 % en las hojas y ramas de *P. devoniana* y *P. pseudostrobus*. (López, et. al., 2014), encontró que la relación parte aérea/raíz, obtenida a partir de los olivos arrancados, fue similar en las variedades espicual y arbequina: 4,2 y 4,3 respectivamente. Las plantaciones más antiguas, por su edad han acumulado mayor volumen de carbono por área.

Respecto a la elaboración de Ecuaciones Alométricas basados en métodos destructivos, se reporta dificultad en la inclusión del volumen de la raíz en dicha ecuación. Al respecto (Husch., 2001), (Acosta, et al 2001) y otros afirman que lo más complicado es estimar la biomasa de las raíces y el carbono del suelo. Así, reconocen tácitamente que no existe una metodología confiable para determinar el volumen de las raíces.

En su intento de crear una metodología para estimar el volumen del sistema radicular de los árboles en Valdivia (Chile), (Schlegel, et, al., 2000) describe todo un protocolo de excavación de las raíces. En ella, limpiaron la parte superficial y utilizaron una grúa manual hecho de tecle y cadena para jalar la raíz. En seguida, seccionaron y llevaron las partes a una balanza para pesar todo el sistema radicular y obtener el peso fresco. Para obtener peso seco llevaron al laboratorio muestras de partes representativas de las raíces.

2.2. PLANTEMIENTO TEÓRICO

El sector forestal requiere una metodología de fácil manejo para determinar el volumen de la biomasa radicular de las especies. De ser así, las autoridades dispondrán de los elementos para tomar decisiones correctas. En este sentido, uno de los retos que tiene actualmente la comunidad científica es crear una metodología que sea aplicable para especies de bosques tropicales.

Para tener idea de las iniciativas que realizaron algunos investigadores se cita por ejemplo el trabajo de (Sierra, et al 2001), quienes utilizaron una ecuación Alométrica derivada de la relación diámetro normal de los árboles expresado en centímetros con la biomasa del sistema radicular expresado en kilogramo. La biomasa de raíces finas lo estimó con una ecuación en función al área basal del estado serial. La biomasa radical promedio de los bosques secundarios lo estimaron en 20.30 t/ha y 54.79 t/ha para bosques primarios. Afirman que el tiempo promedio que tarda el bosque secundario para alcanzar el volumen radicular es 39.7 años.

Según (Bravo, et, al., 2007), esta metodología de captura de carbono debiera ser aceptada de forma generalizada, permanecer en el tiempo para hacer comparaciones a largo plazo y ser asequible económicamente. Precisamente esta es la parte sustancial que adolece la técnica de estimación de volumen de carbono. Por tanto es importante priorizar su investigación.

(Detlefsen & Somarriba, 2012), sostiene que la biomasa de las raíces estructurales (diámetro >2 mm) se puede calcular mediante el uso de modelos de biomasa que establecen una relación entre biomasa de raíces. Sin embargo, en la literatura científica no se encuentran datos contundentes que pueda facilitar la estimación de biomasa de la parte radical. Es el caso por ejemplo de (Pinazo, et, al., 2007), quien estimó la biomasa de raíces mediante la aplicación de las fórmulas generales sugeridas por (Cairns, et al 1997) y recomendadas por el «Panel Internacional para el Cambio Climático» (IPCC). Dicha fórmula fue:

$$Br = e^{(1,085\ 0,9256*Ln(BA))}$$

Donde:

Br = biomasa de raíces (t ha^{-1})

BA = Biomasa aérea (t ha^{-1})

-1,0587 y 0,9256 = constantes

Ln = logaritmo natural

En cuanto a biomasa, presenta un grado de precisión suficiente y aceptada por la Secretaría de Convención Marco de Naciones Unidas

sobre Cambio Climático y Protocolo de Kioto. Al respecto, (Guerra & Sánchez, 2013), afirman que a través de los sucesivos se obtuvo mejora de la información. Así, inclusive se eliminaría la intervención en los cálculos del factor raíz - vástago elegido por defecto reduciendo incertidumbres y aumentaría la comparabilidad con los inventarios incrementando la transparencia.

En este contexto, las estimaciones de biomasa de especies forestales no tienen acceso a la certificación porque se desconoce la metodología para estimar volumen de la raíz de los árboles.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Calentamiento global de la tierra

La determinación del volumen de biomasa de la raíz de los árboles está asociada con el calentamiento global de la Tierra. Ésta según (Yaranga & Custodio, 2013), es un fenómeno que ocurre como consecuencia de la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. A la fecha, está generando gran preocupación en el mundo, porque sus consecuencias son altamente perjudiciales en la sostenibilidad de los ecosistemas y el socio económico de los pueblos.

En su investigación sobre capacidad de captura de carbono de pastos naturales alto andinos de Huasicancha y Chicche de la provincia de Huancayo, Junín, determinaron que la correlación de peso entre biomasa aérea y biomasa radicular fue r = 0,9856** y b = 3,4507. El porcentaje del

peso de la raíz respecto al de la biomasa aérea osciló entre 27,93% y 30,20% respectivamente.

Por otra parte, en un trabajo similar hecho en Puquio (Lucanas-Ayacucho) (Huamaní, 2016), reporta que la cantidad de carbono en biomasa arbustiva fue de hasta 8 93 t/ha, biomasa en raíces 0,4 t/a y carbono en el suelo con 44.42 t/ha. Concluye indicando que las praderas naturales alto andinas el ichu (*Stipa ichu*) contribuyen a la disminución del CO2 en la atmosfera.

2.3.2. Capacidad de captura de carbono de la raíz

El sistema radicular de los árboles tiene una estructura similar al fuste por lo mismo tiene alta capacidad de captura de carbono, así por ejemplo para determinar el C de la parte subterránea, (Acosta M. M., et al, 2009) obtuvieron muestras de suelo a dos profundidades (0-20 cm y 21-40 cm), éstas lo secaron y separaron las piedras y las raíces. Las sub muestras de suelo lo secaron y molieron en un molino tipo Speck 8000 Mixe r/Mil l; al material ya tamizado le determinaron el porcentaje de Carbono (C), lo que representó el C de la parte mineral del suelo, y al agregarle el C correspondiente a las raíces, se obtuvo el C total de la parte subterránea.

En 33 parcelas de 1000 m de bosques primarios y 77 parcelas de 500 m de bosques secundarios, (Orrego & Del Valle, 2001) encontraron 233,494 t/ha de biomasa aérea total viva en bosque primario, de ello al sistema radicular correspondió 56,381 t/ha es decir el 24% del total. En bosques secundarios reportan 45,823 t/ha para la biomasa total viva con 20,381 t/ha para la raíz que implica el 45% del volumen total. Con este

trabajo demuestran que el tipo de bosque influye definitivamente en la capacidad de captura de carbono y la raíz cumple un rol importante en esta actividad

(Doll, et al 2008), al cuantificar carbono en un bosque andino de la Región Maule de Chile dominado por *Nothofagus glauca* determinaron la captura de carbono por el mantillo del suelo entre 5, 10 y 20 cm del perfil. Se separaron hojas, ramas y raíces, luego calcularon biomasa y encontraron 12,47 ± 4,08 Mg ha^{-1}. La biomasa radical en los primeros 20 cm del perfil totalizó 20,99 ± 10,24 Mg ha^{-1}. Se estimó que la absorción de carbono ascendió a 14,72 Mg ha^{-1}, equivalente a 53,97 Mg ha^{-1} de $C0_2$ no emitidos.

2.3.3. Certificación de especies forestales

La certificación forestal es un instrumento de política sin fuerza obligatoria que busca valerse de la evaluación de la gestión forestal, de la verificación de las condiciones de legalidad, de las cadenas de custodia y de las marcas comerciales para promover la ordenación sostenible y la conservación y desarrollo de los bosques. En los últimos años la certificación forestal se está utilizando con mayor énfasis. Según (Muthoo, 2012), existen dos certificadoras: el Consejo de Manejo Forestal (FSC) y el Programa de Reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal (PEFC).

2.3.4. Flotación

Cuando un objeto se coloca en un fluido, ocurren dos cosas o se hunde o flota. Esto se observa comúnmente con los líquidos, por ejemplo, los objetos bien flotan o se hunden en el agua. Las cosas flotan porque son ligeras o tienen la capacidad para flotar. Al respecto, (Vásquez, 2010), pone el siguiente ejemplo: Si se sumerge y se suelta un corcho en el agua, el corcho subirá hasta la superficie y flotará en ella. En esta el peso del corcho empuja al agua hacia abajo y el agua empuja al corcho hacia arriba. Mayor peso del objeto causa mayor hundimiento. Este es el principio que aplica cuando se dice que fuerzas iguales se mantienen en un equilibrio perfecto.

En el documento publicado por la (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, s/f) explican de la manera siguiente: “Considérese una esfera sumergida en un líquido. De acuerdo con la ecuación fundamental de la estática de fluidos, la presión crece con la profundidad y por tanto las fuerzas ejercidas sobre los puntos del sólido más alejados de la superficie son mayores que las ejercidas sobre los puntos más cercanos. Esta fuerza es perpendicular a la superficie y su resultante vertical hacia arriba es el empuje. La diferencia entre el peso W del cuerpo y el empuje E es el peso aparente. Si el peso aparente es positivo (W>E), el sólido se hundirá; en caso contrario, flotará el objeto”.

2.3.5. Principio de Arquímedes o medición por flotación

Según la enseñanza que se imparte en la (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, s/f), el principio de Arquímedes o la medición por flotación lo resume como el empuje sufrido por un sólido sumergido en un fluido es igual al peso del volumen de fluido que desaloja. Para determinar el volumen del objeto que flota recomienda utilizar la fórmula de la medición directa que es P = M/V donde P = peso, M = masa y V = volumen. Despejando resulta que el V = P/M.

(Terán, 2011), describe algunas aplicaciones del principio de Arquímedes, dice por ejemplo que los barcos flotan porque su parte sumergida desaloja un volumen de agua cuyo peso es mayor que el peso del barco. Los materiales con los que está construido un barco son más densos que el agua. Pero como el barco está hueco por dentro, contiene una gran cantidad de aire. Debido a ello la densidad promedio del barco es menor que la del agua. Otro ejemplo, para que una persona flote en el agua con más facilidad, debe reducir su densidad, implica que debe colocarse un chaleco salvavidas, provocando aumento de su volumen mientras que su peso aumenta muy poco, por lo cual, su densidad se reduce. Un pez normalmente tiene la misma densidad que el agua y puede regularla al extender o comprimir el volumen de una bolsa con la que cuenta.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- **Brinzal:** Término utilizado en las ciencias forestales para referirse a cualquier árbol silvestre de muy poca edad y de un tamaño inferior a la altura de las rodillas. Recientemente también se le utiliza para referirse a los árboles pequeños cultivados.

- **Latizal:** Se dice de la edad o del conjunto de árboles jóvenes y rectos, de unos diez a veinte centímetros de diámetro. Se aplica también al árbol individual, como sinónimo de latizo.

- **Fuste:** Se le dice fuste al tronco o tallo de los árboles desde la base hasta el ápice o punta, sin incluir las ramas.

- **Sistema radicular:** En Botánica, se denomina sistema radicular o sistema radical al conjunto de raíces de una misma planta. Según su origen y desarrollo se distinguen dos tipos de sistemas radicales, los cuales están asociados a grupos diferentes de plantas.

- **Biomasa**: La biomasa es aquella 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.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en dos partes. Los plantones fueron acopiados en el vivero forestal ubicado en el Km 4 de la carretera Federico Basadre, adyacente al local de la Dirección General de Forestal y fauna Silvestre (DGFFS) filial Ucayali. El seccionado y la pesada de plantones se realizó en el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Ucayali.

3.2. MÉTODO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación fue experimental porque se utilizaron plantones de 10 especies forestales a los cuales se seccionaron en sus partes para cuantificar su volumen por el método de la flotación. La estimación del volumen se realizó en condiciones de laboratorio. El nivel de la investigación fue básico porque la información de la relación R/T (raíz/tallo) o R/F (raíz/fuste) es un indicador que se emplea para estimar el volumen de la raíz de un árbol.

El estudio pertenece a una investigación cuantitativa. Por la misma razón para procesar el ANVA se adoptó el Diseño Completamente Randomizado (DCR) con 5 tratamientos y 5 repeticiones. Los tratamientos se representaron por las especies forestales. Las variables en estudio fueron la relación R/T (raíz/tallo) del volumen de especies, R/T del volumen de brinzales y latizales, V/T (vuelo/tallo).

Tabla 1. Cuadro de acopio de datos

Repetición	Especies forestales				
	T1	T2	T3	T4	T5
R1					
R2					
R3					
R4					
R5					
Suma					
Prom					

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La investigación se representó por el sistema radicular de todas las especies forestales que crecen indistintamente en el bosque. En este caso se desconoce la ecuación para hallar el volumen de la raíz de los árboles que también al igual que el fuste es una biomasa que captura carbono según la densidad básica de la especie. En efecto, todas las especies tienen un sistema radicular que supuestamente varía debido a la estructura y forma peculiar de las raíces de cada especie como es por ejemplo el caso de las raíces del cetíco a los cuales se les conoce como raíz “zanco”.

3.3.1. Población

La población se representó por 250 plantones clasificados según su estadío en 125 que corresponde a brinzales y 125 a latizales. Se consideró como brinzales a los plantones cuya altura promedio fue 1.25 m más menos 3 cm. Los latizales fueron aquellos cuyos diámetros fluctúan entre 1.5 cm y 6.3 cm, al nombrar a los latizales no se tuvo en cuenta sus

alturas, solo el diámetro como corresponde. Los plantones mostraban tamaños variados por constituir remanente de saldo anterior.

La muestra o tratamiento se conformó de 10 especies. De ellos 5 fueron brinzales y 5 latizales. Cada tratamiento se conformó de 25 unidades debidamente clasificadas por sus tamaños. Con ellos se formaron 5 grupos de 5 plantones cada uno para representar a las repeticiones al momento de instalar. En consecuencia cada unidad experimental se expresó como el promedio de 5 plantones de una determinada especie.

3.4. MATERIALES E INSTRUMENTOS EMPLEADOS

Como materiales de campo se utilizaron machete, cuchillo, vernier, huincha, envases o recipientes para trasladar los plantones, cámara fotográfica y un tamiz. Entre los materiales de Laboratorio se utilizó envases milimetrados (vasos de precipitación de 2000 ml), balanza normal, formato para registro de datos, agua para lavar las raíces y materiales de escritorio. Los materiales de escritorio fueron la computadora, útiles de oficina y formatos de evaluación especialmente elaborados antes de realizar el experimento.

3.5. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Los trabajos de campo se dieron inicio a horas 8 am. Participaron dos obreros a quienes previamente se les capacitó a través de una demostración *in situ* indicando la labor a desarrollar. Como primera actividad de campo se visitaron diversos viveros de Pucallpa para encontrar plantones con las características deseadas. Esta se encontró en el vivero del INIA Forestal. Una parte de los plantones corresponden a remanentes

de la campaña anterior los cuales fueron semi abandonados y crecieron casi en condiciones naturales.

Una vez ubicada se extrajo a cada plántula con el cuidado necesario para no dañar su sistema radicular. En algunos casos sobre todo en los plantones más desarrollados el sistema radicular ya había sobrepasaron al suelo. Para extraer a éstos se utilizaron la pala recta. Según información de la viverista había plantones de dos edades. Aquellos cuyos diámetros oscilan entre 1.54 a 6.04 cm de diámetro tienen dos años y corresponden al pashaco, copaiba, pumaquiro, quinilla y el capinurí. Los de 1.25 m fueron tahuarí, capirona, cedro, ishpingo y estoraque.

En seguida con la ayuda de una huincha de tres metros se midieron las alturas totales es decir la longitud que corresponde a la base y el ápice. Los datos se expresaron en cm. Como consecuencia de esta medición los plantones fueron seleccionados en brinzales y latizales que fue coincidente con la edad. Una vez clasificado se procedió al seccionamiento de la raíz, del tallo, de las ramas y a la separación de las hojas. Los cortes se hicieron con una tijera de podar.

El trabajo siguiente consistió en la limpieza de la tierra contenida en las partes del sistema radicular sin dañar a las raíces finas. El lavado con agua de caño de las raíces se hizo para eliminar por completo todo vestigio de tierra. Para ello se utilizó una malla o tamiz que permitió separar la tierra por completo. De igual modo se lavaron las hojas y el tallo a efectos de lograr un peso verídico.

En estas condiciones fueron guardados bajo sombra hasta el día siguiente removieron por 3 veces en periodos de 3 horas para el oreado. Al notar a las partes de las plántulas ya secas es decir, escurridas o con evaporación total de los vestigios de humedad se empacaron en una bolsa plástica para evitar la confusión en el manipuleo posterior. A cada uno se le etiquetó con un código. En esas condiciones fueron trasladados a Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNU para realizar las estimaciones del volumen.

Para estimar el volumen por la técnica de flotación o principio de Arquímedes se utilizó un vaso de precipitación de vidrio de 2000 mililitros. En ella se vertió exactamente 1000 ml de agua de caño. El proceso de flotación consistió en sumergir al vaso con agua la parte seccionada de la plántula. Primero se hizo de la raíz en seguida del tallo luego de las hojas. La subida y bajada del nivel del agua por efecto del peso de la plántula se controló con las medidas del vaso graduados en ml. Los datos se anotaron en un registro y se expresaron en cm^3.

3.6 TRATAMIENTO DE DATOS

El procesamiento consistió en estimar el volumen total de la plántula, ésta se obtuvo por sumatoria de los volúmenes de la raíz más el tallo más las hojas. Para hallar el volumen del vuelo o copa se consideró el volumen de las hojas. El R/T se halló dividiendo el volumen de la raíz entre el volumen del tallo. Para hallar V/T se dividieron el volumen de las hojas entre el volumen del tallo. Para el R/P se dividieron el volumen de la raíz entre el

volumen de la plántula. Los índices se expresaron como una constante sin unidad.

Para analizar la varianza se utilizó el Diseño Completamente Randomizado (DCR) uno para brinzales y otro para latizales. En ambos casos los tratamientos fueron representados por 5 especies distribuidos en 5 repeticiones. Cada unidad experimental fue registrada en función al volumen promedio de cinco plantones de allí que cada tratamiento se conformó de 25 plantones. El análisis de varianza (ANVA) así como la prueba de comprobación de varianzas altamente significativas se desarrolló utilizando el protocolo recomendado por (Calzada, 1975) y (Hernández, 1997). Los cálculos del ANVA se hicieron con programa Excel. Para convertir a cada constante en porcentaje se dividió entre 100.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. ECUACION BASADA EN LA RELACIÓN R/T (RAÍZ/TALLO)

Para deducir la ecuación prevista es importante tener en cuenta los promedios de los brinzales que resultó 0.50 y de los latizales 0.52. Es una diferencia pequeña sin embargo se trata de plantones. Por lo mismo no es posible generalizar la información. En todo caso la R/T de los brinzales y latizales en ambos casos es:

4.1.1.1. Relación Raíz/Tallo (R/T) de los Brinzales

Los resultados de las tablas 2 y 3 demuestran que la relación R/T del volumen de la raíz con respecto al volumen del tallo en los brinzales de las cinco especies estudiadas fue similar. En otras palabras, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos representadas en este caso por los plantones de las especies forestales. La constante promedio de 0.50 que es lo mismo es un indicador de que la mitad del volumen del tallo corresponde al volumen de la raíz.

- **ANVA de la relación R/T de los brinzales**

Tabla 2. Relación R/T de los Brinzales

Rep	Tahuarí	Capirona	Cedro	Ishpingo	Estoraque	
R1	0.45	0.47	0.45	0.56	0.52	
R2	0.58	0.46	0.53	0.46	0.51	
R3	0.56	0.50	0.51	0.46	0.51	
R4	0.54	0.51	0.50	0.46	0.58	
R5	0.54	0.45	0.48	0.46	0.49	
Suma	2.66	2.39	2.47	2.40	2.62	12.55
Prom	0.53	0.48	0.49	0.48	0.52	0.50
					TC =	6.2965

Tabla 3. ANVA de la relación R/T de los brinzales

Fuente de Var	SC	GL	CM	Fc	Ft95%	Sig
Total	0.0428	24				
Tratamiento	0.0126	4	0.00315	2.08	5.77	NS
Error	0.0302	20	0.00151			

4.1.1.2. Relación Raíz/Tallo (R/T) de los latizales

Los resultados de las tablas 4 y 5 demuestran que la relación R/T es una constante del volumen de la raíz con respecto al volumen del tallo en los latizales de las cinco especies presenta una variación significativa al 99%. Sin embargo, la constante promedio fue 0.52 ligeramente superior de los brinzales que fue de 0.50. Expresado en porcentaje el R/T de los latizales fue 52%.

- **ANVA de la relación R/T de los latizales**

Tabla 4. Relación R/T de los Latizales

Rep	Quinilla	Pashaco	Copaiba	Capinurí	Pumaquiro	
R1	0.54	0.56	0.54	0.52	0.51	
R2	0.55	0.55	0.53	0.51	0.50	
R3	0.50	0.55	0.53	0.51	0.50	
R4	0.53	0.55	0.53	0.51	0.50	
R5	0.50	0.54	0.52	0.50	0.49	
Suma	2.62	2.74	2.66	2.56	2.51	13.08
Prom	0.52	0.55	0.53	0.51	0.50	0.52
					TC=	6.8459

El ANVA resultó altamente significativo entre especies y la prueba de significación indica que el Pashaco tiene mayor desarrollo radicular. Siendo esta especie catalogada como de rápido crecimiento, pueda que desarrolla más raíz.

Tabla 5. ANVA de la relación R/T de los latizales

Fuente de V	SC	Gl	CM	Fc	Ft99%	Sig
Total	0.00846	24				
Tratamientos	0.00633	4	0.00158	14.85	13.93	**
Error	0.00213	20	0.00011			

Tabla 6. Prueba de comparación de tukey de la relacion R/T de latizales

	Pashaco	Copaiba	Quinilla	Capinurí	Pumaquiro
Prueba de significación Tukey 99% (ALST = 0.024)	0.55	0.53	0.52	0.51	0.5
	a	b	b	b	b

4.1.2. Ecuación derivada de la relación V/T (vuelo/tallo)

4.1.2.1. Relación V/T de los brinzales

La relación V/T tampoco presenta variación brusca. Las tablas 7 y 9 muestran que los brinzales muestran promedios altos que gira alrededor de 0.61 y 0.74, es decir un promedio de 0.68 y/o 68%. Estas comparadas en el ANVA arrojan diferencia no significativa.

Tabla 7. Relación V/T de los brinzales

Rep	Tahuarí	Capirona	Cedro	Ishpingo	Estoraque	
R1	0.61	0.57	0.59	0.74	0.50	
R2	0.62	0.52	0.58	0.60	0.60	
R3	0.53	0.70	0.52	0.61	0.77	
R4	0.67	0.65	0.60	0.59	0.68	
R5	0.62	0.62	0.57	0.52	0.66	
Suma	3.05	3.07	2.86	3.06	3.21	15.25
Prom	0.61	0.61	0.57	0.61	0.64	0.61
					TC =	9.3082

Tabla 8. ANVA de la relación V/T de los brinzales

Fuente de Var	SC	GL	CM	Fc	Ft95%	Sig
Total	0.1113	24				
Tratamiento	0.0120	4	0.00299	0.60	5.77	NS
Error	0.0993	20	0.00496			

4.1.2.2. Relación V/T de los latizales

De igual modo La relación V/T de los latizales presenta una variación mínima. Si se analiza las tablas 7 y 9, se nota que el promedio es 0.61 contra 0.74 de los brinzales. Como es de esperar el ANVA arroja diferencia no significativa.

Tabla 9. Relación V/T de los Latizales

Rep	Quinilla	Pashaco	Copaiba	Capinurí	Pumaquiro	
R1	0.82	0.80	0.74	0.71	0.70	
R2	0.73	0.81	0.74	0.72	0.70	
R3	0.68	0.81	0.74	0.72	0.70	
R4	0.73	0.78	0.73	0.71	0.69	
R5	0.71	0.80	0.73	0.71	0.70	
Suma	3.67	4.00	3.69	3.56	3.49	18.41
Prom	0.73	0.80	0.74	0.71	0.70	0.74
					TC=	13.5596

- **ANVA de la relación V/T de los latizales**

Tabla 10. ANVA de la relación V/T de los latizales

Fuente de V	SC	Gl	CM	Fc	Ft95%	Sig
Total	0.04248	24				
Tratamientos	0.03070	4	0.00768	13.04	13.93	*
Error	0.01178	20	0.00059			

Tabla 11. Prueba de comprobación de Tukey de V/T de los latizales

	Pashaco	Copaiba	Quinilla	Capinurí	Pumaquiro
Prueba de significación Tukey 99% (ALST = 0.057)	0.80	0.74	0.73	0.71	0.70
	a				
		b	b	b	b

4.1.3. Relación R/P (raíz/plantón) de las especies

La relación R/P muestra el volumen de la raíz comparado con todo el volumen de la especie. Según las figuras 1 y 2 tanto en los brinzales como en los latizales las dimensiones son iguales.



Figura 1. R/P de Brinzales

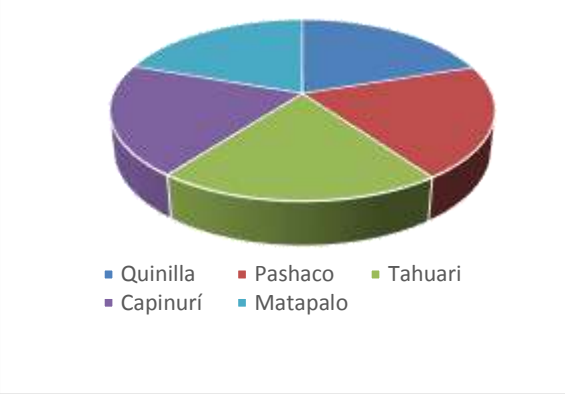


Figura 2. R/P de Latizales

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1 LA ECUACION PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE LA RAIZ

En función a los resultados obtenidos en este estudio y considerando que la semisuma del R/T de los brinzales y latizales resulta R/T = 0.51. Despejando R se tiene la ecuación siguiente:

$$R = T \times 0.51$$

Dónde:

R = Volumen de la raíz,

T = volumen del tallo.

Al margen del aumento de la constante en la relación R/T de brinzales y latizales, lo cierto es que el volumen de la raíz es igual a la mitad del volumen del tallo. La tendencia es que aumenta el valor con el tamaño del árbol. En consecuencia sin lugar a equivocaciones la ecuación que mejor se adapta al momento es R/T = 0.50. Luego la ecuación recomendable para estimar el volumen de la raíz es:

$$R = T \times 0.50$$

Siendo el R/T = 0.50 para brinzales y 0.52 para latizales, el promedio es 0.51 o 51% cuando se trata de porcentaje. Precisamente esta variación de 0.01 no permite enunciar categóricamente la ecuación deseada. Sin embargo es posible considerar dos hipótesis que deberá verificarse a futuro. Estos son:

Hipótesis 1. Las raíces de los árboles en general aumentan de volumen a medida que pasan los años.

Hipótesis 2**.** Cada especie forestal tiene un desarrollo radicular específico.

En efecto, según datos reportados en tablas 2 y 4, la relación R/T del volumen de los brinzales fue 0.50 y/o 50% y de los latizales arrojó 0.52 y/o 52%. Estos resultados además de la similitud de volúmenes hacen notar que el volumen de la raíz es exactamente la mitad del volumen del tallo. Si se trata de un árbol se podría decir que el volumen de la raíz es la mitad del volumen del fuste. Si la interpretación se traslada a la biomasa, la biomasa de la raíz será la mitad de la biomasa del fuste.

La relación R/T hallada aparentemente es alto puesto que 0.50 y/o 50% representa la mitad del volumen del tallo. Sin embargo, se debe considerar entre otros los siguientes razonamientos. Por ser un plantón repicada y criada en una bolsa plástica conservó intacto el 100% de su componente radicular. Es decir, estuvieron presente el cuello, la raíz principal conservando la cofia, las raíces secundarias los pelos absorbentes y la corteza. No hubo daños significativos porque no se arrancó como cuando se trabaja con fustales como hizo (Gayoso, 2001) o (Fonseca, et al 2009).

Por otro lado, el método de la flotación para hallar el volumen permite utilizar el 100% del objeto requerido sin restricción y sin crear daños adicionales. En efecto, se sumergió al agua contenido en el vaso de precipitación todo el material que se consideró necesario. En este caso se sumergió en el agua del vaso toda la raíz y se midió el desplazamiento del agua en la escala preestablecida tal cual se observa. No hubo supuestos ni favorecimientos a ninguna de las especies.

En los latizales los plantones fueron mayores de un metro de altura el ANVA muestra diferencia significativa. En la prueba de significación Tukey se observa que el pashaco resulta con un mayor R/T en comparación al promedio de los demás plantones. Significa que el pashaco tiene mayor desarrollo radicular y está asociado a su capacidad de rápido crecimiento.

Para verificar esta variación habría que proponer otro estudio exclusivo del pashaco a efectos de determinar si conserva esta diferencia. Si es así habrá que replantear las conclusiones indicando que el pashaco tiene un R/T de 55% como se indica en la prueba de significación TUKEY de la tabla 5.

(Cairns, et al 1997), también encontró valores de razón R/T (raíz/tallo) para distintos lugares del mundo entre 20 y 30% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea. En este estudio 30% de biomasa de las especies comerciales es baja. El 20% que cita como dato menor podría responder a las palmeras y otras especies cuyas raíces son poco desarrollados.

Probablemente con los fustales esta brecha sea más notoria porque es imposible sacar el 100% de las partes de la raíz de un árbol adulto por ejemplo del shihuahuaco que tiene en promedio dos metros de diámetro y 25 m de altura. Al utilizar hacha o motosierra para seccionar el árbol se produce astillas y/o aserrín que se pierde involuntariamente.

Cuando se pesa o se mide las secciones ya se pierde una buena parte del volumen. Por consiguiente, la información resulta sesgada sin garantía.

4.2.2. ECUACIÓN DEL VUELO O COPA

La tabla 7 muestra un promedio V/T = 0.61 para los brinzales y en ANVA de la tabla 8 indica que el volumen de las especies no son significativos. Este comportamiento es similar a la R/T de los brinzales da a entender que el volumen de las hojas es constante para todas las especies.

En cambio en la tabla 9 de los latizales registra un promedio de V/T = 0.74 y un ANVA significativo al 99%. La prueba de comprobación nuevamente indica al Pashaco como la especie que tiene mayor desarrollo del vuelo (ramas y hojas). En este caso el volumen del vuelo aumenta bruscamente en más de 0.10 lo cual definitivamente limita a mencionar que la ecuación del vuelo es por ejemplo:

$$V = T \times 0.68$$

Si la variación fuera pequeña como como en el caso de las R/T de apenas 0.01, no habría problema. Definitivamente para hallar el volumen del vuelo de las especies forestales tropicales se tiene que utilizar el método de las expansiones que recomienda (Dauber, et al 2000). Pues cuando el árbol tiene 20 a 30 años y dependiendo de la especie las ramas y las hojas probablemente en volumen superan con creces al tallo o fuste.

(Gayoso, 2001), afirma que las raíces (diámetro > 5 mm) en todas las especies de latifoliadas alcanzan a 27,50% de la biomasa aérea conocido como vuelo. En las tablas 7 y 8 de este estudio el volumen de la raíz con respecto al volumen del vuelo fue 61% en los brinzales y 74% en

los latizales. Como se nota, la variación que resulta de la comparación de ambos trabajos es 0.13 o 13% muy alto. Esta diferencia podría atribuirse a la metodología de evaluación y a la procedencia de las especies.

En efecto, los trabajos reportados por (Gayoso, 2001), corresponden a bosques andinos de Chile y la metodología practicada es por el sistema de ecuaciones Alométricas. Mientras que en este estudio se hizo en especies forestales tropicales y por el método de la flotación o Principio de Arquímedes. Aun así la diferencia es alta por lo mismo no recomendable para generalizar su uso.

4.2.3 RELACIÓN R/P DE ESPECIES FORESTALES

En las figuras 1 y 2, se observa que el volumen de las raíces de las especies estudiadas son 24% de los latizales y 23% de los brinzales son prácticamente iguales. Si estos datos se comparan con la información publicados por (Vallejo, 2009), que reporta 23%, prácticamente no existe variación. A pesar de la procedencia de las especies y la metodología aplicada en la evaluación los resultados son coincidentes.

Al respecto (Interián, et al, 2009), sobre la morfogénesis humana ejercita una explicación de este modo. “El pie de un niño es la 7ma parte de su cuerpo, lo será también cuando es adolescente. Finalmente, cuando es adulto el pie seguirá siendo la 7ma parte de su cuerpo”. Esta proporción supuestamente se cumple con los árboles. Por ello si la relación R/P (raíz/tallo) del brinzal es 0.23 y del latizal es 0.24, por la morfogénesis descrita, del fustal también será 23.5%.

Aunque (Fonseca, et al 2009), no especifica si los datos reportados corresponden a brinzales o latizales lo cierto es que para él en forma genérica la biomasa de la raíz fue 0.25. En este estudio la información se ubica en un promedio de 0.23 es decir, 0.02 de diferencia. Así la variación es imperceptible.

En efecto el bosque materia de evaluación se hizo en un bosque de la Argentina. Entre sus resultados, la distribución de la biomasa es como sigue: el 5 a 7% a la madera muerta. A la hojarasca, pertenece menos del 5%, entre 5 a 20% corresponde a la biomasa aérea no maderable y del 60 al 90% pertenece a la biomasa aérea maderable. No describe el tipo de bosque.

En el trabajo de (Mendez, et al 2011), se puede deducir que se trata de un rango. Así, cuando dice que 60.2 y 58.4 % de la biomasa aérea total fue registrada en el fuste, implica que el promedio es 59.3%; de igual modo cuando dice que 39.8 y 41.6 % en las hojas y ramas de *P. devoniana* y *P. pseudostrobus* implica que se trata de 40.7%. La insuficiencia de este reporte es cuando el autor no registró información relacionada con el volumen de la raíz.

Otro trabajo corresponde a (López, et. al., 2014) que trata sobre proporcionalidad o de porcentaje con relación a la unidad. El encontró que la relación de la huella de carbono entre la parte aérea/raíz, estimada en plantaciones de olivos, fue 4.2 y 4.3 respectivamente en las variedades espacial y arbequina. En síntesis, las plantaciones convencionales con más

de 60 años y una densidad de plantación de 80 a 100 árboles/ha superan las 15 t/ha de carbono almacenado.

Es oportuno indicar que la relación estimada por (López, et. al., 2014), está relacionado entre la parte aérea y la raíz. Mientras que en los datos de este estudio trata sobre la relación R/T (raíz/tallo). Es decir, es una relación inversa.

Por otro lado, (Pinazo, et, al., 2007), cuantificó los contenidos o *stocks* totales de carbono en base a fórmulas matemáticas utilizadas por (Cairns, et al 1997) y afirma que los mismos son recomendadas por el «Panel Internacional para el Cambio Climático» (IPCC). La fórmula es: **Biomasa Raíces (Mg. ha^{-1}) = $e^{(1,085\ 0,9256*Ln(BA))}$.** Dónde: BA = Biomasa aérea (Mg. ha^{-1}).

(Detlefsen & Somarriba, 2012), sostiene que la biomasa de las raíces estructurales (diámetro >2 mm) se puede calcular mediante el uso de modelos de biomasa que establecen una relación entre biomasa de raíces. Sin embargo, en la literatura científica no se encuentran datos contundentes.

4.2.4. AGENDA DE LA INVESTIGACIÓN A FUTURO

4.2.4.1. Determinación de la ecuación para estimar el volumen de la raíz de los árboles

A pesar de deducir y sostener que la ecuación para hallar el volumen de la raíz es R = T x 0.50, mientras haya variación estadística entre el volumen de las especies especialmente en los latizales, no se puede asegurar fehacientemente que la fórmula sea correcta. Se presenta indicios como por ejemplo que las especies son específicas en el volumen de sus raíces. La otra duda es que si las raíces ganan volumen radicular en función a su edad. En estas condiciones ambos constituyen agendas de investigación.

Es importante puntualizar que en este estudio se ha estudiado la relación R/T (raíz/tallo) de brinzales y latizales es decir a nivel de plantones o arbolitos pequeños menores de 1.5 m. A partir de esta información se está estimando la relación R/T del fuste o árbol grande o adulto. Algunos investigadores dirán que dicho trabajo en condiciones de bosques tropicales no funciona o no se cumple. Tampoco faltará investigadores osados como (Gayoso, 2001), (Fonseca, et al 2009) o (Mendez, et al 2011) que determinaron la relación R/F (raíz/fuste) de los árboles de un bosque en sus respectivos países.

En realidad, mientras no se comprueba la información siempre persistirá la duda. Si a nivel de brinzales la relación R/T (raíz/tallo) fue 0.50 y a nivel de latizales el R/T también fue 0.52, la

pregunta es: ¿Cuánto varía la R/T en los fustales? En este caso basado en los resultados obtenidos se asume como hipótesis que la relación R/T de los fustales también es 0.50 y/o 50%.

Al respecto, (Interián, et al, 2009), en su trabajo de análisis morfológico indican similitudes arquitectónicas entre las tres etapas de desarrollo estudiadas dentro de especie y diferencias contrastantes entre especies, lo que significa que el modelo arquitectónico está ontogénicamente determinado para cada especie. Esta, se mantiene constante entre etapas de desarrollo (brinzal, latizal y fustal), sólo se afecta dasométricamente por factores externos como el tipo de suelo, la cantidad de luz o la competencia interespecífica y que, como cualidad de respuesta al disturbio natural como el alojamiento de hormigas

Aun así, la opción de continuar la investigación está abierta, solamente se recomienda que al excavar el sistema radicular del árbol no lo corte ni un solo pelo absorbente. La sumatoria de las pérdidas generará información falsa. Así mismo el volumen tendrá que determinarlo por el método de la flotación puesto que si utiliza la fórmula de la cubicación Smaliam arrojará dato falso. También es importante tener en cuenta a las especies. Por ejemplo en el caso del pashaco tiene que ser pashaco de 2, 5, 7, 12...Años. A veces encontrar esta especie con estas edades no es posible sobre todo en regeneración natural.

Conocer la ecuación basada en la relación R/T de los fustales no sólo es importante para especies que proceden de plantaciones forestales, para las especies de regeneración natural tienen la misma importancia. Su aplicación es ineludible cuando se trata de las gestiones del bionegocio de captura de carbono. El propietario de los árboles y el comprador del CO_2 tendrán que asumir una sola idea que es la inclusión del volumen del sistema radicular. Para ello necesariamente tendrán que encontrar una fórmula que estime el volumen de la raíz o en todo caso tendrá que adoptar los resultados de este estudio.

4.2.4.2. Determinación del R/T, V/T y R/P en el volumen de las palmeras

Otra información de vital importancia son las relaciones de R/T, V/T y R/P de las palmeras tropicales que abundan en el bosque. Existe infinidad de especies de palmas cuyas raíces tienen estructuras caprichosas. Todos ocupan un espacio en el bosque y todos participan de la captura de carbono.

Tampoco se puede asumir que el R/T (raíz/tallo) de una plántula de palmera es 0.50 y/o 50% tal como ocurre con las especies estudiadas. Necesariamente tendrá que comprobarse porque es un componente del bosque. Algunos como el bambú ocupan áreas relativamente grandes. El aguajal es típico de suelos amorfos y húmedos. Muchas especies de palmeras se han adaptado a zonas urbanas.

En las últimas décadas se está adoptando con mucha fuerza la plantación de la palma aceitera, del coco, aguaje, pijuayo, huasaí y otros. A futuro probablemente muchas de estas plantaciones serán objetos de negociación en captura de carbono. Por lo mismo es importante crear conocimientos sobre la relación R/T de las palmeras.

4.2.4.3. Determinación del R/T y R/V de brinzales y latizales de regeneración natural

La estructura vertical de un bosque primario está conformada por árboles dominantes, codominantes y dominados. Son tres estratos completamente diferenciados y específicos. En su estructura horizontal a veces predominan las especies dominadas es decir los brinzales y los latizales mientras que los fustales son escasos.

En este caso es difícil determinar el volumen exacto de los brinzales y latizales. Para determinar volumen de éstos en los inventarios generalmente se utiliza el método de la estimación en lugar de tomar datos de altura y diámetro para cada plántula. En estas condiciones la dificultad para determinar el volumen de la raíz de estos plantones es aún mayor porque no se tiene información sobre la relación R/T ni V/T. Urge trabajar este aspecto para no cometer el error de suponer la información.

4.2.5. APORTE DE LA INVESTIGACIÓN A LA CIENCIA

4.2.5.1. Demostración de la hipótesis

La hipótesis planteada en el anexo correspondiente a la matriz dice “La constante de la relación R/T varía entre 0.20 a 0.30 y con el promedio resulta la ecuación R = T x 0.25“ Para tomar las constantes de 0.20 y 0.30 se tuvo en cuenta la información proporcionada por (Cairns, et al 1997), quien reporta valores de razón R/V (raíz/vuelo) para distintos lugares del mundo entre 20% y 30% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea. Es más como vuelo considera a la suma de las ramas con las hojas es decir a la parte visible o copa del árbol.

El razonamiento para plantear la hipótesis consistió en afirmar que, si la constante del volumen del vuelo es 0.30 entonces el volumen de la raíz será menor es decir 0.25. De ese modo la ecuación planteada en la hipótesis fue considerada como R = T x 0.25. El resultado de la investigación muestra otro dato mucho más alto que es R = T x 0.50. Es decir el volumen de la raíz es la mitad del volumen del fuste. Este es el aporte principal del estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La ecuación hallada para estimar el volumen de la raíz en brinzales y latizales es R = T x 0.50 donde R = volumen de la raíz y T = volumen del tallo. Esta ecuación no es definitiva por cuanto el análisis de varianza de la relación R/T de los latizales resultó altamente significativo.

- La relación V/T (vuelo/tallo) del volumen de brinzales fue 0.61 y de los latizales fue 0.74, esta variación deja una brecha de 13 % lo cual se considera demasiada alta es decir no apta para plasmar una ecuación.

- La relación R/P (raíz/plantón) del volumen de brinzales fue 0.23 y en los latizales fue 0.24 que significa 23.5%, la variación entre especies de brinzales y latizales fue estadísticamente no significativo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para efectos de estimación del volumen de las raíces de los brinzales y latizales por ahora se recomienda utilizar la ecuación: R = T x 0.50.

- Para efectos de estimación del volumen del vuelo la relación V/T arroja información ambigua no recomendable para plasmar en una ecuación.

- Con relación a todo el árbol por ahora se recomienda considerar 24% como el volumen de la raíz.

- Compartir y socializar la información de este trabajo con los actores forestales de la región Ucayali y del país, especialmente con los empresarios forestales dedicados al rubro del bionegocio con el propósito que en un futuro cercano tener la ecuación exacta de los volúmenes por especie, de esta manera tener un mayor control del aprovechamiento forestal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acosta, M. E. (et al 2001). Un método para la medición de carbono en los compartimientos subterráneos (raices/suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales* (págs. 1 - 15). Valdivia - Chile: Colegio de Postgraduados Campus, Montecillo- Mexico.

Acosta, M. M. (et al, 2009). Determination of T otal Carbon in Mixed Pine For ests(Pinus patula Schl. et Cham.). *TERRA LATINOAMERICANA Vol 27 N° 2*, 1 - 10.

Bravo, F. D.-P. (et, al., 2007). Métodos para cuantificar la fijación de CO2 en los sistemas forestales. En *Bosques* (págs. 61 - 108). Cataluña - España.

Cairns, M. B. (et al 1997). Asignación de biomasa de raíz en los bosques de tierras altas del mundo. *OECOLOGIA Volumen 111, Número 1.*, 1 - 11.

Calzada, B. J. (1975). *Métodos Estadísticos.* Lima - Perú: LIMUSA.

Dauber, E. T. (et al 2000). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana Vol 1 N° 1.*, 1 - 10.

Detlefsen, G., & Somarriba, E. (2012). *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica.* Turrialba - Costa Rica: CATIE.

Doll, U. V. (et al 2008). Estimación preliminar de la retención de carbono en raíces finas y mantillo de un renoval de Nothofagus glauca de la precordillera andina de la Región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia) Vol 29 N° 1*, 91 - 96.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. (s/f). *Práctica 7. Principio de Arquímides.* La Mancha - España.: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrónomica del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Castilla de la Mancha.

Fonseca, W. A. (et al 2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque 30 (1).*, 36 - 47.

Gayoso, J. (2001). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. *Revista Forestal Iberoamericana Vol. 1 Nª 1*, 1 - 13.

Guerra, I., & Sánchez, G. (2013). *Propuesta de mejora de cuantificación de Carbono en detritus, madera muerta y biomasa viva para el Inventario*

Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Vitoria Gasteiz - España: 6to Congreso Forestal Español - Sociedad Española de Ciencias Forestales .

Hernández, R. F. (1997). *Metoodología de la Investigación.* Mexico, Buenos Aires, Caracas, Guatemala, Lisboa, Madrid y otros: MCGRAW-HILL.

Huamaní, L. (2016). *Almacenamiento de Carbono del Ichu Stipa Ichu en las Praderas Naturales Altoandinas de Lucanas, Puquio –Ayacucho. 2016.* Lima - Perú: Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo.

Husch., B. (2001). *Estimación del carbono de los bosques.* Valdivia - Chile.: INFORA - Chile.

Interián, V. V. (et al, 2009). Arquitectura y morfometría de dos especies arbóreas en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de Mexico N° 85* .

López, L. F. (1ro de Marzo de et. al., 2014). Balance y huella de carbono del olivar. *Suplemento de Vida Rural el quincenal del campo N° 375 - Año XXI*, pág. 14.

Mendez, G. L. (et al 2011). Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos de biomasa aerea y carbono en una plantación mixta de Pinus devoniana Lindl. y P. pseudostrobus Lindl., en Guanajuato, Mexico. *AGROCIENCIA N° 45*, 479 - 491.

Muthoo, M. (2012). La certificación forestal y la economía verde. *Unasylva Vol 269 N° 1*, 17 - 23.

Ordoñez, J. A. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques Vol 7 N° 1*,

Orrego, S., & Del Valle, J. (2001). *Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios y secundarios de Colombia.* Valdivia - Chile: Simposio Inter Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono por Ecosistemas Forestales.

Pinazo, M. M. (et, al., 2007). Efectos de la intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de Pinus taeda L. establecida sobre ESTABLECIDA SOBRE ultisoles de Misiones. *RIA Vol. 36 N° 1*, 5 - 20.

Schlegel, B. G. (et, al., 2000). *Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. Medición de la capacidad de captura de carbono de bosques de Chile y promoción en el mercado mundial.* Valdivia - Chile: Universidad Austral de Chile.

Sierra, C. D. (et al 2001). Ecuaciones de biomasa de raices y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales y maduros tropicales de Colombia. *Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales* (págs. 1 - 16). Valdivia - Chile: Universidad de Colombia sede Medellín.

Terán, L. (2011). *Principio de Arquímides.* Hidalgo - México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo .

Vallejo, A. (16 - 20 de Febrero de 2009). Curso Formulación de Proyectos MDL Forestal y Bioenergía. *Introducción a la estimación de biomasa y carbono en biomasa*. Buenos Aires, Argentina: Carbon Desisions.

Vásquez, P. (2010). *Manual de prácticas de Laboratorio de Física - Densidad de sólidos y líquidos.* Huaraz - Perú: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo - Facultad de Ciencias.

Yaranga, R., & Custodio, M. (2013). Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria Vol 4*, 313 - 319.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza en Brinzales

Relación R/P de brinzales

Rep	Tahuarí	Capirona	Cedro	Ishpingo	Estoraque	
R1	0.22	0.23	0.22	0.24	0.24	
R2	0.26	0.23	0.25	0.23	0.24	
R3	0.27	0.23	0.25	0.22	0.23	
R4	0.24	0.24	0.24	0.22	0.26	
R5	0.25	0.22	0.23	0.23	0.23	
Suma	1.24	1.14	1.19	1.15	1.20	5.93
Prom	0.25	0.23	0.24	0.23	0.24	0.24
					TC =	1.40

ANVA R/P de brinzales

Fuente de Var	SC	GL	CM	Fc	Ft95%	Sig
Total	0.0049	24				
Tratamiento	0.0013	4	0.00033	1.86	5.77	NS
Error	0.0036	20	0.00018			

Relación R/T brinzales

Rep	Tahuarí	Capirona	Cedro	Ishpingo	Estoraque	
R1	0.45	0.47	0.45	0.56	0.52	
R2	0.58	0.46	0.53	0.46	0.51	
R3	0.56	0.50	0.51	0.46	0.51	
R4	0.54	0.51	0.50	0.46	0.58	
R5	0.54	0.45	0.48	0.46	0.49	
Suma	2.66	2.39	2.47	2.40	2.62	12.55
Prom	0.53	0.48	0.49	0.48	0.52	0.50
					TC =	6.2965

AnVA de R/T brinzales

Fuente de Var	SC	GL	CM	Fc	Ft95%	Sig
Total	0.0428	24				
Tratamiento	0.0126	4	0.00315	2.08	5.77	NS
Error	0.0302	20	0.00151			

Relación V/T brinzales

Rep	Tahuarí	Capirona	Cedro	Ishpingo	Estoraque	
R1	0.61	0.57	0.59	0.74	0.50	
R2	0.62	0.52	0.58	0.60	0.60	
R3	0.53	0.70	0.52	0.61	0.77	
R4	0.67	0.65	0.60	0.59	0.68	
R5	0.62	0.62	0.57	0.52	0.66	
Suma	3.05	3.07	2.86	3.06	3.21	15.25
Prom	0.61	0.61	0.57	0.61	0.64	0.61
					TC =	9.3082

ANVA V/T de brinzales

Fuente de Var	SC	GL	CM	Fc	Ft95%	Sig
Total	0.1113	24				
Tratamiento	0.0120	4	0.00299	0.60	5.77	NS
Error	0.0993	20	0.00496			

Anexo 2. Análisis de varianza en Latizales

Relación R/plántula

Rep	Quinilla	Pashaco	Copaiba	Capinuri	Pumaquiro	
R1	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	
R2	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	
R3	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	
R4	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	
R5	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	
Suma	1.16	1.17	1.17	1.15	1.14	5.78
Prom	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
					TC =	1.34

Relación R/T latizales

|	Quinilla	Pashaco	Copaiba	Capinuri	Pumaquiro	
R1	0.54	0.56	0.54	0.52	0.51	
R2	0.55	0.55	0.53	0.51	0.50	
R3	0.50	0.55	0.53	0.51	0.50	
R4	0.53	0.55	0.53	0.51	0.50	
R5	0.50	0.54	0.52	0.50	0.49	
Suma	2.62	2.74	2.66	2.56	2.51	13.08
Prom	0.52	0.55	0.53	0.51	0.50	0.52
					TC=	6.8459

Relación V/T de Latizales

Rep	Quinilla	Pashaco	Copaiba	Capinuri	Pumaquiro	
R1	0.82	0.80	0.74	0.71	0.70	
R2	0.73	0.81	0.74	0.72	0.70	
R3	0.68	0.81	0.74	0.72	0.70	
R4	0.73	0.78	0.73	0.71	0.69	
R5	0.71	0.80	0.73	0.71	0.70	
Suma	3.67	4.00	3.69	3.56	3.49	18.41
Prom	0.73	0.80	0.74	0.71	0.70	0.74
					TC=	13.5596

ANVA de R/P de latizales

Fuente de V	SC	Gl	CM	Fc	Ft95%	Sig
Total	0.00031	24				
Tratamientos	0.00013	4	0.000031	3.30	5.77	NS
Error	0.00019	20	0.000009			

ANVA del R/T de latizales

Fuente de V	SC	Gl	CM	Fc	Ft99%	Sig
Total	0.00846	24				
Tratamientos	0.00633	4	0.00158	14.85	13.93	**
Error	0.00213	20	0.00011			

Promedios ordenados

Prueba de significación Tukey 99% (ALST = 0.024)	Pashaco	Copaiba	Quinilla	Capinurí	Pumaquiro
	0.55	0.53	0.52	0.51	0.5
	a				
		b	b	b	b

ANVA de V/T de latizales

Fuente de V	SC	Gl	CM	Fc	Ft95%	Sig
Total	0.04248	24				
Tratamientos	0.03070	4	0.00768	13.04	13.93	*
Error	0.01178	20	0.00059			

Prueba de significación Tukey 99% (ALST = 0.057)	Pashaco	Copaiba	Quinilla	Capinurí	Pumaquiro
	0.80	0.74	0.73	0.71	0.70
	a				
		b	b	b	b

Anexo 3. Cuadro de resumen de las relaciones

Relación R/P de Brinzales

Rep	Tahuarí	Capirona	Cedro	Ishpingo	Estoraque	
R1	0.22	0.23	0.22	0.24	0.24	
R2	0.26	0.23	0.25	0.23	0.24	
R3	0.27	0.23	0.25	0.22	0.23	
R4	0.24	0.24	0.24	0.22	0.26	
R5	0.25	0.22	0.23	0.23	0.23	
Suma	1.24	1.14	1.19	1.15	1.20	5.93
Prom	0.25	0.23	0.24	0.23	0.24	0.24

Relación R/P de Latizales

Rep	Quinilla	Pashaco	Copaiba	Capinuri	Pumaquiro	
R1	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	
R2	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	
R3	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	
R4	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	
R5	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	
Suma	1.16	1.17	1.17	1.15	1.14	5.78
Prom	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

Relación R/T de Brinzales

Rep	Tahuarí	Capirona	Cedro	Ishpingo	Estoraque	
R1	0.45	0.47	0.45	0.56	0.52	
R2	0.58	0.46	0.53	0.46	0.51	
R3	0.56	0.50	0.51	0.46	0.51	
R4	0.54	0.51	0.50	0.46	0.58	
R5	0.54	0.45	0.48	0.46	0.49	
Suma	2.66	2.39	2.47	2.40	2.62	12.55
Prom	0.53	0.48	0.49	0.48	0.52	0.50

Relación R/T de Latizales

Rep	Quinilla	Pashaco	Copaiba	Capinuri	Pumaquiro	
R1	0.54	0.56	0.54	0.52	0.51	
R2	0.55	0.55	0.53	0.51	0.50	
R3	0.50	0.55	0.53	0.51	0.50	
R4	0.53	0.55	0.53	0.51	0.50	
R5	0.50	0.54	0.52	0.50	0.49	
Suma	2.62	2.74	2.66	2.56	2.51	13.08
Prom	0.52	0.55	0.53	0.51	0.50	0.52

Relación V/T de Brinzales

Rep	Tahuarí	Capirona	Cedro	Ishpingo	Estoraque	
R1	0.61	0.57	0.59	0.74	0.50	
R2	0.62	0.52	0.58	0.60	0.60	
R3	0.53	0.70	0.52	0.61	0.77	
R4	0.67	0.65	0.60	0.59	0.68	
R5	0.62	0.62	0.57	0.52	0.66	
Suma	3.05	3.07	2.86	3.06	3.21	15.25
Prom	0.61	0.61	0.57	0.61	0.64	0.61

Relación V/T de Latizales

Rep	Quinilla	Pashaco	Copaiba	Capinuri	Pumaquiro	
R1	0.82	0.80	0.74	0.71	0.70	
R2	0.73	0.81	0.74	0.72	0.70	
R3	0.68	0.81	0.74	0.72	0.70	
R4	0.73	0.78	0.73	0.71	0.69	
R5	0.71	0.80	0.73	0.71	0.70	
Suma	3.67	4.00	3.69	3.56	3.49	7.53
Prom	0.73	0.80	0.74	0.71	0.70	0.30

Anexo 4. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicador
¿Cuál es la ecuación que estima el volumen de la raíz basado en la relación R/T raíz/tallo de brinzales y latizales de especies forestales tropicales?	Determinar la ecuación que estima el volumen de la raíz basado en la relación raíz/tallo de brinzales y latizales de especies forestales tropicales	La constante de la relación R/T varia entre 0.20 a 0.30 y con el promedio resulta la ecuación R = T x 0.25	Ecuación que estima el volumen de la raíz basado en la relación raíz/tallo de brinzales y latizales	Relación R/T (raíz/tallo)	% de cada relación
				Relación V/T (vuelo/tallo)	
				Relación R/P (raíz/planta)	
¿Cuál es la relación R/T (raíz/tallo) de brinzales y latizales?	Determinar la relación R/T (raíz/tallo) de brinzales y latizales	La relación R/T (raíz/tallo) de brinzales y latizales en promedio es 50%	Relación R/T (raíz/tallo) de brinzales y latizales	Brinzales de: Tahuarí, capirona, ishpingo, estoraque y cedro.	% de R/T
				Latizales de: Quinilla, pashaco, copaiba, capinurí y pumaquiro	% de R/T
¿Cuál es la relación V/T (vuelo/tallo) de brinzales y latizales?	Determinar la relación n V/T (vuelo/tallo) de brinzales y latizales	La relación V/T (vuelo/tallo) de brinzales y latizales fluctua entre 20% a 30%	Relación V/T (vuelo/tallo) de brinzales y latizales	Brinzales de: Tahuarí, capirona, ishpingo, estoraque y cedro.	% de V/T
				Latizales de: Quinilla, pashaco, copaiba, capinurí y pumaquiro	% de V/T
¿Cuál es la relación R/P (raíz/planta) de brinzales y latizales de especies forestales tropicales?	Determinar la relación R/P (raíz/planta) de brinzales y latizales de especies forestales tropicales	La relación R/P (raíz/planta) de los brinzales y latizales es 10%	Relación R/P (raíz/plantón) de brinzales y latizales	Brinzales de: Tahuarí, capirona, ishpingo, estoraque y cedro. .	% de R/P
				Latizales de: Quinilla, pashaco, copaiba, capinurí y pumaquiro	% de R/P

Anexo 5. Imágenes de Evaluación













