

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



T E S I S

**“ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN COMERCIAL DE *Cinchona officinalis* L.
(QUINA) EN EL BOSQUE DE PROTECCIÓN DE PAGAIBAMBA, DISTRITO DE
QUEROCOTO, CHOTA”**

Para Optar el Título Profesional DE

INGENIERO FORESTAL

Presentado por el bachiller:

JUAN RODRIGO BASELLY VILLANUEVA

Asesor:

Ing. Andrés Hibernón Lozano Lozano

CAJAMARCA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Norte de la Universidad Peruana

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Cajamarca, a los veintiocho días del mes de octubre del Año dos mil diecinueve se reunieron en el ambiente 2C-211 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad N°473-2019-FCA-UNC, Fecha 20 de setiembre del 2019, con el objeto de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: **“ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN COMERCIAL DE *Cinchona officinalis* L. (QUINA) EN EL BOSQUE DE PROTECCIÓN DE PAGAIBAMBA, DISTRITO DE QUEROCOTO, CHOTA”**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**, del Bachiller: **JUAN RODRIGO BASELLO VILLANUEVA**.

A las 15 horas y 20 minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la aprobación por unanimidad con el calificativo de DIECISIETE (17).

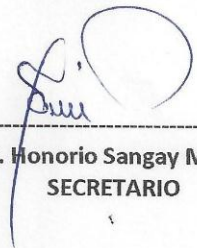
Por lo tanto, el graduado queda expedita para que se le expida el Título Profesional correspondiente.

A las diecisiete horas y cinco minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 28 de octubre de 2019



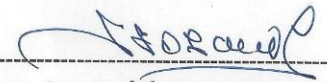
Ing. M.Sc. Walter Roncal Briones
PRESIDENTE



Ing. Honorio Sangay Martos
SECRETARIO



Ing. Luis Dávila Estela
VOCAL



Ing. Andrés Lozano Lozano
ASESOR

Co-Asesores:

Ing. Fátima Elizabeth Marcelo Bazán -- Instituto Nacional de Innovación Agraria
(Perú)

Ing. Helio Garcia Leite – Universidade Federal de Viçosa (Brasil)

El presente trabajo de investigación fue financiado por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), a través del Programa Nacional de Investigación Forestal de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación es dedicado a mis padres José Antonio Baselly Cueva y Rosa Candelaria Villanueva Huamán, a mis abuelitas Ofita y Petita, a mi tía Anita, a mis hermanas Rosita, Claudia y Fiorela, quienes son mi soporte emocional, amical y fuente de energía para realizar las cosas que hago en este camino “llamado vida”. Que al igual que un árbol necesita de otros para nacer, desarrollarse en un bosque, yo necesito de ustedes para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por todas las cosas que me ha dado y me sigue dando, pues sin él mi familia y yo no tendríamos lo que hoy tenemos.

Agradezco a mi tía Clari y mis primos Gonzalo y Noelia, quienes me apoyaron en las primeras etapas de formación profesional.

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal de Universidad Nacional de Cajamarca, que me enseñaron a dar mis primeros pasos en este maravillo mundo forestal.

A mis amigos de la universidad que además de compartir las clases, también compartí y viví las más grandes experiencias y anécdotas en los mejores años de mi vida, la universidad.

Al Profesor Alfredo Alcides Goicochea Huerta, Helio Gracia Leite y Ana Marcia Ladeira, de la Universidade Federal de Viçosa – Brasil, quienes me abrieron las puertas para ver el mundo forestal desde otra perspectiva.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y a los ingenieros Miguel Ángel Villar Cabeza y Fátima Elizabeth Marcelo Bazán de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca, por darme la oportunidad de trabajar y realizar la presente tesis.

Al Doctor Eloy Cuellar Bautista de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Agraria La Molina por las recomendaciones y aportes realizados para mejorar la investigación.

CONTENIDO

RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de la investigación.....	2
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Hipótesis de la investigación	3
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes del estudio	4
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1. <i>Cinchona officinalis</i> L. (quina)	9
2.2.2. Dendrometría.....	15
2.2.3. Modelos de regresión en la mensura forestal.....	24
2.2.4. Tablas de cubicación.....	32
2.2.5. Regresión.....	33
2.2.6. Validación estadística de regresiones	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	47
3.1.1. Ubicación.....	47
3.1.2. Accesibilidad.....	48
3.1.3. Zonas de vida.....	51
3.1.4. Clima.....	52

3.1.5.	Geomorfología y suelos.....	54
3.1.6.	Dinámica de la quina en el bosque.....	55
3.2.	Materiales.....	55
3.2.1.	Material biológico.....	55
3.2.2.	Material y equipo de campo.....	56
3.2.3.	Material y equipo de laboratorio.....	56
3.2.4.	Material de gabinete.....	56
3.3.	Metodología.....	57
3.3.1.	Trabajo de campo.....	57
3.3.2.	Trabajo de gabinete y laboratorio.....	60
d)	Estimación de variables dasométricas en función del diámetro del tocón.....	64
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.1.	Estimación de los volúmenes de madera y corteza de árboles en pie de la quina	68
4.2.	Estimación de variables dasométricas en función del diámetro del tocón ...	97
4.3.	Determinación del valor comercial de la quina	113
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
5.1.	Conclusiones.....	118
5.2.	Recomendaciones.....	118
VI.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Individuo de Quina en la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.....	12
Figura 2. Sólidos dendrométricos.....	19
Figura 3. Volumen real de fuste.	21
Figura 4. Volumen real de fuste.	21
Figura 5. Varianzas de regresiones.....	37
Figura 6. Distribución de residuos.	45
Figura 7. Comportamiento de los residuos.....	45
Figura 8. Histogramas de residuos.....	46
Figura 9. Grados de correlación.	46
Figura 10. Ubicación del área de estudio.	49
Figura 11. Mapa acceso al área de estudio.....	50
Figura 12. Zonas de vida del área de estudio.	53
Figura 13. Neblina en la Zona de Amortiguamiento.	54
Figura 14. Reconocimiento de la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba, C.P. De Paraguay.	57
Figura 15. Individuo de Quina en el área de evaluación.....	59
Figura 16. Gráfica de distribución de residuos usando un sólo factor de forma en el ajuste para estimar el volumen comercial.....	68
Figura 17 y 18. Gráficas de relación de alturas y diámetro de la clase I y II de árboles de Quina.	69
Figura 19. Diagramas de caja y bigote de factores de forma – clase I.....	72
Figura 20. Diagramas de caja y bigote de factores de forma – clase II.....	73
Figura 21. Diagramas de caja y bigote de factores de forma a nivel de clase.....	75
Figura 22. Relación factor forma y DAPc/c.....	75

Figura 23. Gráficos del grado de ajuste de los modelos para volumen comercial con corteza del fuste (VCc/c).....	80
Figura 24. Gráficos del grado de ajuste de los modelos para volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c).....	83
Figura 25. Gráficos del grado de ajuste de los modelos volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).	86
Figura 26. Gráficos de validación de modelos volumétricos de árboles en pie.	88
Figura 27. Gráficos de correlación del diámetro del tocón (dt) y otras variables. ...	98
Figura 28. Gráficos de correlación del DAPc/c y otras variables.	99
Figura 29. Gráficos del grado de ajuste de los modelos de estimación del DAPc/c.....	102
Figura 30. Gráficos del grado de ajuste de los modelos de estimación de Hc. ...	104
Figura 31. Gráficos del grado de ajuste de los modelos de estimación del espesor de corteza (Ec).	107
Figura 32. Gráficos de validación de estimación de volúmenes comerciales usando el diámetro del tocón (dt).	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fórmulas de sólidos para determinar volúmenes de madera.	20
Tabla 2. Ubicación del área de estudio.	48
Tabla 3. Modelos volumétricos.....	62
Tabla 4. Modelos para estimar el volumen de corteza en las ramas (VCc/r).	63
Tabla 5. Modelos para estimar el dap en función del diámetro del tocón (dt).	64
Tabla 6. Modelos para estimar la altura comercial (Hc).	65
Tabla 7. Modelos para estimar el espesor de corteza (Ec).	66
Tabla 8. Estadística descriptiva de los valores de factor de forma (f).	70
Tabla 9. Determinación del número de árboles para el factor de forma (f).	70
Tabla 10. Test de normalidad del factor de forma de individuos en la clase I.	71
Tabla 11. Test de student para el factor de forma de árboles en la clase I.	72
Tabla 12. Test de normalidad del factor de forma de árboles en la clase II.	73
Tabla 13. Test de student para el factor de forma de árboles en la clase II.	73
Tabla 14. Test de normalidad del factor de forma de árboles a nivel de clases.	74
Tabla 15. Test de student para el factor de forma de árboles a nivel de clases.	74
Tabla 16. Estadística descriptiva de las variables dasométrias de los árboles de quina en la clase I.....	77
Tabla 17. Estadística descriptiva de las variables dasométrias de los árboles de quina en la clase II.....	77
Tabla 18. Análisis anova de las regresiones de volumen comercial con corteza del fuste (VCc/c).	79
Tabla 19. Valores de los parámetros de los modelos para volumen comercial con corteza del fuste (VCc/c).....	79
Tabla 20. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de volumen comercial con corteza (VCc/c).	79

Tabla 21. Análisis anova de las regresiones de volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c).....	82
Tabla 22. Valores de los parámetros de los modelos para volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c).....	82
Tabla 23. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c).....	82
Tabla 24. Análisis anova de las regresiones de volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).....	84
Tabla 25. Valores de los parámetros de los modelos de volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).	85
Tabla 26. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).	85
Tabla 27. Validación de estimación de los vc de árboles en pie.	87
Tabla 28. Tabla de cubicación de volúmenes con corteza del fuste (VCc/c).....	92
Tabla 29. Tabla de cubicación de volúmenes sin corteza del fuste (VCs/c).....	94
Tabla 30. Tabla de cubicación de volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).	96
Tabla 31. Coeficientes correlación del diámetro del tocón (dt) y otras variables...97	
Tabla 32. Análisis anova para validación de modelos de estimación del DAPc/c.....	100
Tabla 33. Valores de los parámetros de los modelos de estimación del DAPc/c.....	100
Tabla 34. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de estimación del DAPc/c.....	101
Tabla 35. Análisis anova para validación de modelos de estimación de Hc.....	103
Tabla 36. Valores de los parámetros de los modelos de estimación de Hc.	103
Tabla 37. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de estimación de la altura comercial (Hc).....	105

Tabla 38. Análisis anova para validación de modelos de estimación del espesor de corteza (Ec).	105
Tabla 39. Valores de los parámetros de los modelos de estimación del espesor de corteza (Ec).	106
Tabla 40. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de estimación del espesor de corteza (Ec).	106
Tabla 41. Indicadores estadísticos de validación de estimación de volúmenes comerciales usando el diámetro del tocón (dt).	109
Tabla 42. tabla estimación del dapc/c en función al diámetro del tocón (dt).	110
Tabla 43. Tabla estimación de la altura comercial (Hc) en función del DAPc/c...111	
Tabla 44. Tabla estimación del espesor de corteza (Ec) en función del DAPc/c.112	
Tabla 45. Peso en kg de un 1m ³ de corteza de quina.	113
Tabla 46. Distribución diamétrica estimada de la quina en la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.	114
Tabla 47. Volúmenes de madera y corteza promedio en individuo por clase diamétrica en la ZA del BP de Pagaibamba.	115
Tabla 48. Volúmenes de madera y corteza por hectárea en la ZA del BP de pagaibamba.	116

ANEXOS

Anexo 1. Glosario de términos

Anexo 2. Plano de ubicación y localización de los árboles evaluado

Anexo 3. Formatos de evaluación

Anexo 4. Análisis estadístico de los datos de campo

Anexo 5. Fotos de las actividades realizadas (campo y gabinete)

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar modelos de regresión para estimar el volumen comercial de la *Cinchona officinalis* L. (quina), especie considerada entre más importante del mundo pues su corteza contiene el alcaloide quinina, cura muy efectiva para el paludismo o la malaria. El trabajo se desarrolló en la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba, distrito de Querocoto, Chota; determinándose que el mejor modelo para estimar el volumen comercial es el de Schumacher e Hall, siendo expresado para el volumen con corteza por $\text{Log}(VCc/c) = -4.074253 + 1.840094 \text{Log}(DAPc/c) + 0.998038 \text{Log}(Hc) + \varepsilon$. con un $R_{\hat{Y}}$ de 0.994 y S_{yx} de 0.017 y para volumen sin corteza por $\text{Log}(VCs/c) = -4.095310 + 1.846095 \text{Log}(DAPs/c) + 1.001462 \text{Log}(Hc) + \varepsilon$. con un $R_{\hat{Y}}$ de 0.993 y un S_{yx} de 0.014 de 0.985. Además, es posible estimar el volumen comercial de individuos mediante el uso del diámetro del tocón. Finalmente, en la Zona de Amortiguamiento de Protección de Pagaibamba un árbol promedio de la especie tiene 27.5 cm de DAP con un volumen de madera de 0.2143 m³ y 10.4 Kg de corteza seca y el valor monetario aproximado de sólo su corteza es de 1 165 nuevos soles.

Palabras clave: modelo de regresión, volumen comercial, quina, *Cinchona officinalis* L., Bosque de Protección de Pagaibamba, Querocoto.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate regression models to estimate the commercial volume of *Cinchona officinalis* L. (quina), a species considered among the most important in the world since its bark contains the quinine alkaloid, a very effective cure for malaria or malaria. The work was carried out in the Buffer Zone of the Pagaibamba Protection Forest, Querocoto District, Chota; determining that the best model for estimating commercial volume is that of Schumacher e Hall, being expressed for bark volume by $\text{Log}(\text{VCc}/c) = -4.074253 + 1.840094 \text{Log}(\text{DAPc}/c) + 0.998038 \text{Log}(\text{Hc}) + \varepsilon$ with an $R_{\hat{Y}Y}$ of 0.994 and S_{yx} of 0.017 and for volume without crust per $\text{Log}(\text{VCs}/c) = -4.095310 + 1.846095 \text{Log}(\text{DAPs}/c) + 1.001462 \text{Log}(\text{Hc}) + \varepsilon$. with an $R_{\hat{Y}Y}$ of 0.993 and an S_{yx} of 0.014 of 0.985. In addition, it is possible to estimate the commercial volume of individuals by using the stump diameter. Finally, in the Pagaibamba Protection Buffer Zone an average tree of the species has 27.5 cm of DAP with a wood volume of 0.2143 m³ and 10.4 Kg of dry bark and the approximate monetary value of only its bark is 1 165 new Suns.

Key words: Regression model, commercial volume, quina, *Cinchona officinalis* L., Pagaibamba Protection Fores, Querocoto.

I. INTRODUCCIÓN

Un modelo de regresión es la representación funcional de las relaciones existentes en un sistema. Los modelos usados en la mensura forestal se basan en la alometría, que relaciona estadísticamente variables fáciles de medir a gran escala como el DAP, altura o densidad de la madera y variables complejas como la biomasa o el volumen (Picard *et al.* 2012). Los modelos juegan un rol importante en los inventarios forestales, pues ayudan a obtener datos del bosque de forma fácil y a menor costo, agilizando el proceso de toma de decisión con fines comerciales, de investigación, valorización o conservación.

Los árboles del género *Cinchona*, más conocidos como “árboles de quina” o “casarilla”, son nativos de los valles andinos de Sudamérica y se distribuyen entre los 10° de latitud norte y 19° de latitud sur (Garmendia 2005); siendo clasificadas entre las plantas medicinales de mayor importancia en el mundo, porque sus cortezas contienen principalmente quinina, remedio usado contra la malaria (Romero 1982). La principal amenaza que sufrieron fue la explotación exagerada para la obtención de su corteza en el siglo XVII y en los últimos años están siendo afectadas por la expansión de la frontera agrícola y ganadera (Anda 2002), implicando que sus poblaciones bajen drásticamente (Romero 2015); por lo cual el Estado Peruano prohibió en todo el país la extracción de especímenes del género *Cinchona* ubicados en bosques naturales por tiempo indefinido mediante Resolución Ministerial N° 0258-99-AG del año 1999.

Dentro del género *Cinchona* la especie más celebre es la *C. officinalis*, pero hace aproximadamente 30 años en el país su información en temas forestales era muy reducida solo siendo reportado el estudio de Zevallos (1989), ya a partir del 2000 se han realizado más trabajos de investigación como los hechos por Gonzada y Moncayo (2002), Mendoza *et al.* (2004), Aldaz y Ochoa (2011), Aponte y Sanmartín (2011), Romero (2015), Quiliche (2015), Caraguay *et al.* (2016), Yucta (2016),

Conde *et al.* (2017), Fernández (2017), Villar *et al.* (2018) y Feijoó *et al.* (2019); siendo estudios principalmente de propagación, caracterización y fenología. Considerando la importancia de la *C. officinalis* en el presente trabajo se evaluaron modelos de regresión para estimar el volumen comercial de la especie mencionada y de esta forma tener una herramienta que ayude a obtener datos de forma fácil y a menor costo.

1.1. Problema de la investigación

Los modelos de regresión son una herramienta importante en los inventarios forestales. Actualmente países como Brasil y Chile utilizan modelos para estimar el volumen comercial de plantaciones o bosques naturales; pero en Perú son poco los trabajos realizados y este número se reduce aún más para especies nativas (Ruiz 2007, Escobar 2018). Consecuentemente aún no se tiene ajustado un modelo que estime el volumen comercial de la *Cinchona officinalis* L.

El personal del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNAP), encargado del cuidado del Bosque de Protección de Pagaibamba, realiza monitoreos de la masa boscosa, realizando la cubicación de los árboles de quina de forma convencional y en muchas ocasiones encuentran individuos cortados, siendo difícil la estimación volumétrica del árbol extraído para cuantificar, valorizar y aplicar penalidades.

Considerando la nula información de la *Cinchona officinalis* L. en el campo de los modelos de regresión, su importancia y los problemas existentes en el Bosque de Protección; se necesita determinar el modelo de regresión que mejor se ajuste para estimar el volumen comercial de la *Cinchona officinalis* L. (quina) en la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba, distrito de Querocoto, Chota.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el modelo de regresión que mejor se ajusta para estimar el volumen comercial de la *Cinchona officinalis* L. (quina) en el Bosque de Protección de Pagaibamba, distrito de Querocoto, Chota?

1.3. Hipótesis de la investigación

Existe por lo menos un modelo de regresión que presente un ajuste estadísticamente significativo para estimar el volumen comercial de la *Cinchona Officinalis* L. (quina) en el Bosque de Protección de Pagaibamba, distrito de Querocoto, Chota.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar modelos de regresión para estimar el volumen comercial de la *Cinchona Officinalis* L. (quina) en el Bosque de Protección de Pagaibamba, distrito de Querocoto, Chota.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estimar los volúmenes de madera y corteza de árboles en pie de la quina.
- Estimar las variables dasométricas en función del diámetro del tocón.
- Determinar el valor comercial de la quina

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

En México en el estado de Nuevo León, Navar y Domínguez (1997) ajustaron modelos volumétricos y funciones que describen el perfil diamétrico de 4 especies de pino (*Pinus brutia*, *P. eldarica*, *P. halepensis* y *P. estevezii*). En la metodología usaron 145, 39, 227 y 48 individuos de las especies mencionadas en el orden respectivo, ajustando 8 modelos volumétricos mediante el método de cuadrados mínimos en regresión no lineal, polinomial y regresión lineal múltiple; encontrado que los mejores ajustes para el *Pinus brutia*, *P. eldarica*, *P. estevezii* se obtuvieron con el modelo Schumacher-Hall, con R^2 de 0.92, 0.90 y 0.74 respectivamente y para el *P. halepensis* con el modelo de Spurr con R^2 de 0.9384926.

En Cuba Machado *et al.* (2003) evaluaron 22 modelos volumétricos (simple, doble y triple entrada) para *Buchenavia capitata* Vahl en los bosques los pluvisilvas de montaña. En la metodología cubicaron 66 individuos, midiendo su diámetro con corteza a partir de la base y cada 0.50 m hasta la bifurcación que define el fuste del árbol, en el volumen de ramas se midió hasta un diámetro mínimo de 0.02 m y el volumen total con corteza fue determinado a través de la sumatoria de los volúmenes reales de las secciones calculadas mediante la fórmula de Smalian. El mejor modelo fue el de Spurr, obteniendo las funciones $LgV = -0.391544 + 0.950009 \ln(DAP^2 \times H)$, con $R^2_{aj.}$ y $Sy\%$ de 0.8737 y 0.029, respectivamente.

En Cuba Benítez *et al.* (2004) evaluaron 3 modelos para estimar el diámetro a la altura del pecho (DAP) en función diámetro del tocón para una plantación de *Casuarina equisetifolia*. En la metodología usaron 211 individuos, midiendo el DAP y el diámetro del tocón (dt) con una altura igual a 10 cm sobre el nivel del suelo, usando forcípula de forma cruzada y trabajando con el diámetro promedio; determinado que las dos variables tiene un alto grado de correlación (0.97) y el

mejor modelo fue $\ln DAP = -0.249 + 1.021 \ln d$, con $R^2_{aj.}$ de 0.947, $Syx\%$ de 0.0730 e Índice de Furnival (IF) de 0.7423.

En Galicia, España, Salas *et al.* (2005) evaluaron diferentes modelos volumétricos para la especie de *Pinus pinaster*; en la metodología usaron 151 árboles, realizando la cubicación mediante la fórmula del tronco de cono, ajustándose 17 modelos volumétricos, teniendo en cuenta para la selección el cumplimiento de los supuestos del análisis de regresión que son la normalidad, homocedasticidad e independencia de los residuales y los indicadores estadísticos del grado de ajuste. Los mejores ajustes fueron conseguidos con el modelo de Salas que incluye una nueva variable (DAP_4 : diámetro a los 4 metros de altura del árbol), obteniendo la función

$$\ln V = -8.3811 + 1.8491 \ln DAP_4 - 0.6257 \ln h - 0.000002606 \ln DAP^2 h$$

con un valor para el IF de 0.0224 y R^2 ajustado de 0.9811.

En Cuba, Henry *et al.* (2009) evaluaron un modelo volumétrico para *Lysiloma latisiliquum*, *Bursera simaruba*, *Calophyllum antillanun* y *Bucida palustris*; en la metodología usaron 210, 210, 179 y 100 individuos de las especies mencionadas, realizando ajustes de los volúmenes con y sin corteza. Obteniendo las funciones $\ln V_{bcc} = -9.539 + 2,206 \ln Dbcc - 0.377 \ln ConB - 0.498 \ln L$ y $\ln V_{bsc} = -9.594 + 2.196 \ln Dbcc - 0.347 \ln ConB - 0.461 \ln L$ para volúmenes con y sin corteza, donde $Dbcc$ es el DAP con corteza, $ConB$ es la conocida en la base y L el largo del fuste; con R^2 de 0.93 y 0.92 e IF de 0.046 y 0.042, respectivamente. Discutiendo que el modelo al tener transformación logarítmica y el uso de las tres variables independientes generó buenos indicadores estadísticos de ajuste.

Dos Santos *et al.* (2006) menciona que en Brasil el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico en 1998 creó el Programa de Investigación Ecológica de Larga Duración, entre sus prioridades estaba el desarrollo de modelos alométricos para su uso en planes de manejo, permisos ambientales, investigaciones y proyecto de captura de carbono. En este marco los autores elaboraron ecuaciones

volumétricas por clases diamétricas para algunas especies del “Bosque Ombrófilo Mixto” en el estado de Paraná. En la metodología usaron 119 individuos en tres clases diamétricas, siendo la primera de $DAP \leq 15$ cm, la segunda $DAP > 15$ cm a ≤ 30 cm y la última $DAP > 30$ cm, calculado los volúmenes por cubicación rigurosa. Ajustando 7 modelos volumétricos, encontrando que el mejor ajuste para la clase I fue con Schumacher-Hall, obteniendo la función $LnV = -8.87590982 + 1.892218745 LnDAP + 0.739037687 LnH$ con un Coeficiente de determinación (R^2) de 0.96141 y Error padrón residual (Syx%) de 14.69; en la clase II con el modelo de Naslund, obteniendo la función $V = -0.0190137 - 0.00007636 DAP^2H - 0.000102192 DAPH^2 + 0.001340984 H$ con un R^2 de 0.9725 y Syx% de 8.8 y en la última clase, también con el modelo de Naslund, obteniendo la función $V = -0.0190137 - 0.00027165 DAP^2H - 0.000993724 DAPH^2 + 0.023021323 H$ con un R^2 de 0.9943 y Syx% de 7.2.

En Brasil en el estado de Serpige, Azevedo *et al.* (2011) evaluaron 7 modelos hipsométricos y volumétricos (con y sin corteza) para plantaciones de eucalipto; en la metodología usaron 790 individuos, midiendo de todos su CAP y altura comercial (Hc) y para el cálculo de los volúmenes por troza se usó la fórmula de Smalian. Obteniendo que los ajustes para las ecuaciones hipsométricas no fueron satisfactorios con R^2 aj. en promedio de 0,1201 y Syx% de 27.50. Por otro parte, en todos los modelos volumétricos sus “F” calculados fueron superiores a los tabulados (indicando que todos son significativos); el volumen con y sin corteza presentaron el mismo comportamiento y sus R^2 aj varían de 0.7483 a 0.8745 para el volumen con corteza y de 0.7470 a 0.8737 para los sin corteza. El mejor modelo fue el de Schumacher-Hall, obteniendo las funciones $LnV_{cc} = -9.08669 + 2.09044 LnDAP + 0.567625 LnH$ y $LnV_{sc} = -9.11621 + 2.09459 LnDAP + 0.56943 LnH$, con R^2 aj. de 0.8745 y 0.8737 y Syx% de 10.3672 y 10.4276, respectivamente.

En México en el estado de Ixtlán, Martínez y Acosta (2014) estimaron el DAP, altura y volumen comercial a partir del diámetro del tocón (dt) para *Quercus laurina*; en la metodología usaron 54 árboles, en los que se les midió las variables dasométricas mencionadas anteriores y la cubicación se realizó empleando la fórmula de Huber o Smalian según fuese el caso y finalmente obtuvieron el VT con la sumatoria de todas las secciones. El mejor modelo para estimar el DAP en función del dt fue el modelo lineal que es expresado por $DAP = -1.838555212 + 0.908177630Dt$ con R^2 de 0.9870 y R^2_{aj} de 0.9868; para estimar la altura comercial el mejor modelo fue el modelo alométrico (potencial o multiplicativo) que es expresado por $Hc = -1.838555212 \times Dt^{0.7710}$ con R^2 de 0.9722 y R^2_{aj} de 0.9711 y para estimar el Volumen total el mejor modelo fue el modelo potencial que es expresado por $VT = 0.000033 \times Dt^{2.7812}$ con R^2 de 0.9805 y R^2_{aj} de 0.9811.

En México en el estado de Quintana Roo, Hernández *et al.* (2017) estimaron los volúmenes totales de *Swietenia macrophylla* King; en la metodología usaron 116 individuos para cubrir la variabilidad de formas, tamaños y crecimientos de la especie, calculando los volúmenes por troza con la fórmula de Smalian y la punta del árbol con la fórmula del cono y el volumen total (VT) fue estimado con el método de trozas traslapadas y se ajustaron los modelos volumétricos no linealizados de Spurr y Meyer. Obteniendo las mejores estimaciones con las funciones $VT = 0.000046 (DAP^2Ht)^{0.973468}$ y $VT = 0.000062 DAP^{0.560998} (DAP^2Ht)^{0.744073}$, con parámetros significativos al 95 % de probabilidad y $R^2_{ajustado}$ de 0.9654 y 0.9666 respectivamente; indicando que las variables independientes en los dos modelos explican más del 95 % de la variabilidad de la variable dependiente.

En Huánuco en el distrito del Codo del Pozuzo, Ruiz (2007) estimó el volumen de árboles en pie de un bosque húmedo de Terrazas Altas; para ello se evaluaron 100 individuos, realizando las mediciones usando el relascopeo de Bitterlich y el cálculo de los volúmenes comerciales aplicando la fórmula de Smalian. Por último, ajustaron 24 modelos volumétricos donde se agregaron las variables cocientes de

forma q y z y el índice de forma k . Encontrado que el mejor modelo para estimar los volúmenes fue $V = -3.68 + 1.56 DAP + 0.0405 H + 0.433 HDAP^2 + 3.28 q$, con un IF de 0.775.

En el departamento de Ucayali, Guerra *et al.* (2008) elaboraron tablas de volumen comercial de *Guazuma crinita* en el Bosques Nacional Alexander von Humbolt; en la metodología se evaluó 180 individuos, instalados a diferentes anchos de fajas (5, 10 y 30 m) de 18 años de edad, realizando mediciones directas del DAP, altura comercial, diámetros y espesor de corteza cada 2 metros, el cálculo de los volúmenes comerciales se realizó aplicando la fórmula de Smalian y se ajustó 16 modelos volumétricos. Hallando que el mejor modelo para estimar el volumen comercial con y sin corteza fue el de Schumacher-Hall, obteniendo las funciones $LnVCcc = -0.49 + 1.80 LnDAP + 0.839 LnH$ y $LnVCsc = -0.538 + 1.81 LnDAP + 0.836 LnH$, con R^2 de 0.983 y 0.982 e IF de 0.006485 y 0.006348, respectivamente.

En el departamento de Ucayali, Romero (2017) estimó el volumen de árboles en pie de *Swietenia Macrophylla* King en Parcelas de Corta Anual (PCA); en la metodología se evaluaron 103 individuos, realizando las mediciones usando el relascopio de Bitterlich y el cálculo de los volúmenes comerciales aplicando la fórmula de Smalian y se ajustó 23 modelos volumétricos. Encontrado que el mejor modelo para estimar el volumen fue $V = -0.110787 + 0.651536 DAP^2 + 0.465085 HDAP^2$, con R^2 de 0.987 e IF de 0.7777.

En el departamento de Cajamarca Ocampo *et al.* (1989), elaboraron tablas de cubicación para *Eucalyptus globulus* en cercos agrícolas y rodales; en la metodología se usaron 1515 individuos, calculado su volumen total al dividir el fuste en secciones de 2 metros y aplicar la fórmula de Smalian y se ajustaron 12 modelos para estimar el volumen de los árboles en cercos y en rodales. Encontrado que los mejores ajustes se obtuvieron con el modelo de Prodan, siendo para árboles en cerco la función $\text{Log } V = -3.17614 + 1.450363 \text{ Log } DAP - 0.911292 \text{ Log}^2 DAP -$

$0.1027117 \text{ Log}H + 0.4087371 \text{ Log}^2H$ con un valor para el Índice de Furnival de 0.0092187 y un R^2 de 0.9384926 y para los árboles en rodales $\text{Log}V = -3.911314 + 2.370475 \text{ Log} \text{ DAP} - 0.2124445 \text{ Log}^2 \text{ DAP} - 0.0189605 \text{ Log}H + 0.3846325 \text{ Log}^2H$ con un valor para el Índice de Furnival de 0.00042451 y un R^2 de 0.9919042.

En el Parque Forestal Aylambo – Cajamarca, Montalvo y Casas (2017) realizaron una ecuación volumétrica para valorar el vuelo forestal de las especies *Pinus patula* y *P. radiata*; en la metodología se usó 172 individuos de *P. patula* y 49 de *P. radiata*, calculando su volumen comercial del fuste en función del DAP, altura comercial y factor de forma y ajustaron el modelo volumétrico de Schumacher y Hall para cada especie. Los modelos volumétricos presentaron ajustes aceptables, obteniendo para el *P. patula* la función $\text{Ln}V = -0.9347984 + 2.00002362 \text{ LnDAP} + 1.0015779 \text{ LnHc}$ con un R^2 de 78.95%, R^2 ajustado de 78.83% y un error estándar residual de ± 0.04215 y para el *P. radiata* la función $\text{Ln}V = 0.35264369 + 1.9401478 \text{ LnDAP} + 1.2038246 \text{ LnHc}$ con un R^2 de 85.22%, R^2 ajustado de 84.9% y un error estándar residual de ± 0.08975 .

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Cinchona officinalis* L. (quina)

Los árboles de quina o cascarilla del género *Cinchona*, son nativos de los valles andinos de Sudamérica y pertenecen a la familia Rubiaceae, cuya corteza medicinal contiene la Quinina, alcaloide que es una cura efectiva para el paludismo o la malaria, durante la colonia curó de esta enfermedad a Ana Osorio, Condesa de Chinchón, esposa del virrey del Perú Gerónimo Fernández de Cabrera; motivo por el cual el género botánico al que pertenece la especie se bautizó como *Cinchona*.

Era tan abundante en nuestro país que fue el árbol escogido para figurar en nuestro escudo nacional (MINAM y MINAGRI s.f.).

Su excesiva demanda provocó la explotación irracional de las especies que comprenden este género (Anda 2002), para tener una idea del grado de su depredación Cáceres y Mutis citado por Petijean y Saint (1998) señalan que, para obtener 20 000 arrobas de corteza, era necesario cortar 300 000 árboles y de acuerdo con los registros de los puertos de Cádiz y el Callao, se tuvo un total de 742 446 arrobas registradas entre 1752 y 1796, lo cual habría significado la tala de al menos 11 136 690 árboles; siendo la *C. officinalis* L. la más demandada por presentar una corteza con mayor cantidad de alcaloides (Hodge 1947). En los últimos años la presión antrópica sobre su habitat tiene mayor impacto negativo que la extracción de su corteza (Anda 2002), encontrándose algunas especies del género catalogadas en vía de extinción o se encuentran en las listas de especies amenazadas (Jaramillo *et al.* 2004).

a) Taxonomía y descripción morfológica de la especie

The Plant List (2019) indica que se tienen identificadas 25 especies dentro del género *Cinchona*, dentro de las cual está la *C. officinalis* L. Camp (1949) comenta que las quinas presentan un elevado grado de hibridación, con cientos de subespecies, variedades, formas, y especies polimórficas; por lo que en la actualidad persiste la polémica sobre cuántas especies de quina existen.

La especie estudiada en la presente investigación tiene la siguiente clasificación taxonómica (Tropicos 2019).

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden: Asteranae Takht.

Orden: Gentianales Juss. ex Bercht. & J. Presl

Família: Rubiaceae Juss.

Género: *Cinchona*

Especie: *C. officinalis* L.

Villar *et al.* (2018), indican que la *Cinchona officinalis* L. tiene la siguiente descripción dendrológica.

Arquitectura, los individuos maduros alcanzan de 11.4 a 15.7 m de altura total y de 6.3 a 9.3 m de altura comercial; fuste cilíndrico, de 28.6 a 60.8 cm de DAP; con ramificación simpodial y copa globosa. Corteza externa de color gris, marrón plomizo o marrón, agrietada. Corteza interna de color crema, de 1.8 a 3.0 cm de espesor; que se oxida rápidamente a un color marrón con tonalidades rojizas. Hojas simples, opuestas y decusadas; hojas de 11 a 17.1 cm de largo (sin incluir el pecíolo) y 6.8-12.8 cm de ancho, con pecíolo de 2.0 a 4.2 cm de longitud; ápice acuminado, base obtusa; borde entero, ligeramente sinuoso; láminas de consistencia coriácea, haz y envés glabro. Estípulas en pares, interpeciolas, aovadas. Inflorescencias en panículas terminales de 11.3 a 19.0 cm de longitud, con numerosas flores de 19 a 117. Flores hermafroditas, actinomorfas. Frutos secos del tipo cápsula, de forma oblonga de 0.4 a 3.5 de longitud y de 0.4 a 2.4 cm de ancho, bicarpelar con dehiscencia longitudinal. Semillas planas, aladas, rodeadas en su contorno por una membrana; de 3.4 a 7.6 mm de longitud y de 1.3 a 3.0 mm de ancho con ala; y de 0.8 a 2.4 mm de longitud y de 0.5 a 1.7 mm de ancho sin ala.



Figura 1. Individuo de quina, en la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba (Villar *et al.* 2018).

b) Distribución y ecología

El género *Cinchona* tiene una distribución neotropical desde Costa Rica hasta el sur de Bolivia (Mendoza *et al.* 2004), encontrándose el mayor número de especies en la región comprendida entre el sur de Ecuador y el norte del Perú, donde podría ubicarse su centro de especiación (Garmendia 1999).

La *Cinchona officinalis* L. tiene una amplia distribución, encontrándose en ambas vertientes de la Cordillera de los Andes, en los países de Colombia, Ecuador, Perú

y Bolivia; en nuestro país se la encuentra en los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Piura, Lambayeque, San Martín, Huánuco, Pasco, Junín, Madre de Dios y Puno, entre los 1 800 y 3 550 msnm (Zevallos 1989). De acuerdo con Zevallos (1989) y Quiliche (2015); junto con la *C. pubescens* son las especies con mayor amplitud de ocurrencia a nivel del Perú y en la región Cajamarca se las encuentra entre un rango altitudinal de 1 800 a 3 300 msnm; en la vertiente occidentales y orientales, cuando las demás especies ocurren sólo en esta última.

El clima donde se distribuyen las especies del género *Cinchona* corresponde predominantemente al de "Ceja de Selva" o "Ceja de montaña", zonas altas con topografía ondulada y empinada; con precipitaciones y nubosidades abundantes y persistentes durante casi todo el año. Y temperaturas que alcanzan valores anuales promedio entre 6.5°C y 24.9°C y precipitaciones anuales entre 790 mm y 1 972 mm (Zevallos 1989).

MINAM (2014) cita que la *C. officinalis* se desarrolla en los Bosques húmedos de montaña, los cuales están siendo amenazados por la rápida colonización en su relativamente escasa extensión forestal, siendo considerada por los botánicos como una joya por sus cualidades astringentes, antisépticas, febrífugas, cicatrizantes y tónicas

c) Utilidad

La quina se popularizó mundialmente por su uso antimalárico y propiedades febrífugas que tiene su corteza. El poder para prevenir y curar la malaria se debe a los alcaloides presentes en su corteza; siendo los más conocidos cinchonina, cinchonidina, quinidina y quinina, éste último es el más importante antimalárico (Garmendia 1999). La cantidad de alcaloides varía según la especie, algunas cortezas tienen 1-2% de alcaloides totales cristalizables, mientras que otras sobrepasan el 13%; existen factores externos que manipulan la concentración de

estos compuestos químicos como son la localidad, tipo de suelo, edad del árbol, e incluso la época de cosecha (Cuvi 2009).

Zevallos (1989) indica que la madera de las quininas es de color rosado o carne, de grano fino a mediano, textura media, flexible o elástica, fácil de trabajar y con el cepillado y lijado adquiere un buen acabado lustroso, razón por la cual se presta para la ebanistería; en el estudio realizado por Feijoó *et al.* (2019) obtuvieron densidades básicas de 0.63 a 0.74 gr/cm³. Actualmente, la quinina tiene un nuevo uso en el mercado como gin tonic; dando el sabor amargo a este tónico que es usado en bebidas gaseosas, especialmente en Europa y Estados Unidos (Ulloa 2006).

d) Historia del comercio de la corteza

La explotación de las poblaciones naturales de quina se inició en el siglo XVII, en un primer momento sólo en las cercanías de Loja y Cuenca, actualmente Ecuador. Posteriormente, en el siglo XVIII se extendió hacia Colombia, Perú y Bolivia, dado el descubrimiento de poblaciones de nuevas especies de quina (Hodge 1948). El aumento de la demanda de corteza estuvo asociado al proceso de expansión de las colonias en las regiones tropicales, incrementándose también el número de casos de malaria en los países europeos, requiriendo para ello el uso de los alcaloides (Nieto 2004). Pero la importación de corteza desde Sudamérica era un proceso costoso y de mucho tiempo, por lo cual algunos países establecieron sus plantaciones y a principios del siglo XX Holanda ya tenía establecido un monopolio. (Taylor 1943, Hodge 1948). En 1940 se logró sintetizar una nueva droga antipalúdica, la cloroquina, la cual reemplazó la quinina, aunque en la actualidad la quinina es usada en los casos de malaria más resistentes (PRO-MANU y IIAP 2001).

Desde el año 2000 la producción mundial anual de quina se estima en 8 a 10 mil toneladas aproximadamente (Ríos 2001) y aproximadamente el 60% de cortezas de *Cinchona* se utiliza en la producción de medicamentos y el 40% restante se utiliza principalmente en la industria de alimentos y bebidas, siendo el mayor productor de las aguas tónicas, sabor amargo (Verpoorte, citado por Condor *et al.* 2009).

2.2.2. Dendrometría

Según Prodan *et al.* (1997), la mensura forestal es la ciencia que se ocupa de la medición de los bosques y sus productos; usando principios básicos matemáticos, estadísticos, geométricos y físicos. Calderón (s.f.) la define como el conjunto de técnicas y metodologías que permiten resolver problemas de medición en todos los aspectos de las Ciencias forestales y está compuesta por tres ramas:

- Dendrometría: Estudia la medición y descripción cuantitativa estática del árbol (medición de diámetros, alturas; cubicación de árboles, madera apilada y la construcción de tablas de volumen).
- Dasometría: Estudia los mismos parámetros que la dendrometría, pero para el rodal o la masa forestal, está ligada al inventario forestal.
- Epidometría: Estudia la dinámica de parámetros de árboles y bosques en función a su crecimiento e incremento, además de estimaciones de producción futura.

Por otro lado, Imaña-Encinas *et al.* (2002) mencionan que la dasometría es la especialidad de la Ingeniería Forestal que trata de la determinación y/o estimación de las dimensiones de variables de medida en individuos arbóreos y está compuesta por:

- Dendrometría: Mediciones de las dimensiones del árbol como “ente individual”, del estudio de su forma y de la determinación de su volumen.
- Estereometría: Mediaciones relacionadas con las estimaciones métricas y el cálculo del volumen (cubicación) de la masa forestal, entendida esta como conjunto de árboles que conviven en un espacio común.
- Epidometría: Técnicas de medición y las leyes que regulan el crecimiento y producción de los árboles y masas forestales.

Existen otros autores que dividen la Mensura forestal en dos, la primera rama, la dendrometría encargada de la medición y estimación de las dimensiones de árboles y/o bosques desde un punto de vista estático. Y la otra rama la Epidometría, encargada de medir el crecimiento del árbol y bosque, análisis dinámico. Mas el objetivo de la mensura no sólo es saber las características del bosque, sino también servir como instrumento que permita obtener información para el manejo del recurso. Villanueva y Jiménez (1982) citan que su importancia en la ciencia forestal radica en el hecho de constituir base fundamental para otras ramas, dentro de las cuales podemos mencionar la silvicultura, inventario forestal, ordenamiento forestal, entre otras.

En el sector forestal, el conocimiento sobre los recursos se da mediante la medición o estimación de atributos de árboles o de los bosques. Dentro de este contexto, encuadra la dendrometría, (*dendron* = árbol y *metrón* = medida), es decir la medición, cálculo y/o estimación de las dimensiones de los árboles (Romahn y Ramírez 2010).

Silva y Neto (1979) mencionan que las mediciones pueden ser directas o indirectas, una medición directa es una determinación; como en el caso del DAP y circunferencia a la altura del pecho (CAP), y una indirecta es una estimación efectuada cuando está fuera del alcance directo del hombre, como la altura y volumen del árbol en pie. También es considerada medición cuando existe

contacto instrumento - objetivo y estimación cuando el valor o dimensión es obtenido mediante un estimador que puede ser un instrumento (Prodan *et al.* 1997).

a) Diámetro a la altura del pecho (DAP)

La medida más típica de un árbol es el diámetro a la altura del pecho, que es representado con las letras DAP, siendo la operación más corriente y sencilla de la mensura forestal; efectuándose sólo en árboles no apeados a una altura de 1.3 m desde el nivel del suelo, medidos sobre la pendiente; esta medición puede ser hecha con forcípula, cinta diamétrica o wincha. El DAP tiene una estrecha relación con la altura total y el volumen del fuste, variables importantes y de difícil medición en árboles en pie; constituyendo este diámetro del árbol la base para otros cálculos dendrométricos (Imaña-Encinas 2011, Prodan *et al.* 1997, Soares *et al.* 2011, Cancino 2006, Villanueva y Jiménez 1982).

b) Altura

La altura es un parámetro que corresponde a una variable continua y sus límites extremos, inferior y superior, no corresponden a puntos fijos sino relativos de acuerdo al uso, características o estados de los árboles (Malleux 1982); a pesar de ser menos accesible que el diámetro, se estima para poder obtener el volumen de madera del árbol y la calidad de sitio. Pero, dada la dificultad de emplear instrumentos de contacto o de medición directa como reglas o varas, se usa en general instrumentos denominados hipsómetros; los cuales pueden estar basados en principios geométricos y trigonométricos (Da Cunha 2004, Prodan *et al.* 1997).

- Principio geométrico: Los instrumentos fundamentados en este principio se basan en las relaciones de triángulos semejantes. Son de fácil construcción, su manipulación es simple y se necesita sólo de una lectura para medir la altura

del árbol. Sin embargo, son menos precisos que los contruidos con principios trigonométricos, entre los instrumentos más comunes se encuentran los hipsómetros de Christen y Merritt (Villanueva y Jiménez 1982, Imaña-Encinas 2011, Prodan *et al.* 1997).

- Principio trigonométrico: Para la utilización correcta de los instrumentos con este principio se debe conocer la distancia entre el observador y el árbol. En la estimación de la altura se requiere efectuar dos lecturas: una orientada a la base del árbol y la otra hacia el ápice de la copa, a partir de una distancia horizontal fija. Considerando un triángulo rectángulo el principio se fundamenta en el cálculo de la tangente del ángulo β ; entre los instrumentos más comunes son los hipsómetros Blume-Leiss, Haga y Suunto (Imaña-Encinas 2011, Prodan *et al.* 1997).

Se puede considerar principalmente dos tipos de altura, la total (H_t) que es la distancia entre el suelo y el final de la copa del árbol; altura utilizada para estimar el volumen del fuste en ecuaciones de volumétricas y para determinar la calidad de sitio; y la comercial (H_c) que es la distancia entre la base del árbol y algún punto en la parte superior del fuste en un diámetro comercial, definido para determinado uso.

c) Volumen

El volumen representa la parte más importante de una masa forestal producto de un inventario forestal, debido a que una vez estimado se puede planificar el manejo actual y futuro de los bosques, así como la forma en que deberá desarrollarse dicho manejo (Cubillos 1987, Malleux 1982). Drescher *et al.* (2001) comenta que cuando se necesita determinar el valor de los recursos forestales disponibles en una población, la variable volumen es una de las más importantes variables a ser evaluadas.

El volumen cúbico es el volumen de madera contenido en una porción del fuste, distinguiéndose varios tipos de volúmenes en un árbol, como el volumen total (VT) para todo el fuste del árbol desde su base hasta el ápice; o comercial (VC), desde el tocón hasta donde el fuste alcanza un diámetro límite para una determinada industria (García 1995).

Philip (1994), indica que todas las partes del fuste son más o menos irregulares y su descripción por cualquier figura geométrica regular es imprecisa. Sin embargo, para estimar el volumen se asume un cierto grado de regularidad en la forma de los fustes, utilizando figuras geométricas que pertenecen a la familia de los sólidos de revolución. Barrena (1990) afirma que es válido admitir que la forma de los fustes se aproxima más o menos a la forma de un cilindro, de un paraboloides, de un cono o de un neloide, generados por la rotación de una línea plana que gira alrededor de un eje situado en su plano. Estos sólidos son llamados “dendrométricos” y a partir de ellos se determinan algunas fórmulas como de Huber, Smalian y Newton.

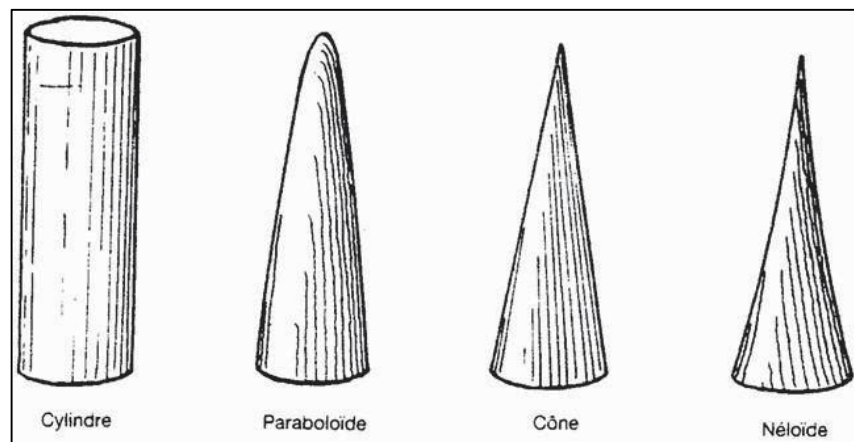


Figura 2. Sólidos dendrométricos (Pardé 1961).

Los métodos de determinación del volumen real de árbol más importantes en el campo de Ingeniería Forestal son el analítico, gráfico o por desplazamiento de líquidos. Siendo el más usado el analítico, donde se asume que la forma del fuste del árbol, ya sea como un todo o por secciones, es semejante a sólidos geométricos

básicos (cilindro, paraboloides, cono o neiloide). El volumen de esos sólidos se obtiene mediante fórmulas específicas, las más utilizadas son las de Huber, Smalian y Newton (Cancino 2006, Higuchi 1978).

Tabla 1. Fórmulas de sólidos para determinar volúmenes de madera.

Tronco de sólido	Fórmula	Denominación
Paraboloides	$V = \left[\frac{A_s + A_b}{2} \right] L$	Smalian
	$V = A_m L$	Huber
Cono	$V = \left[\frac{A_b + \sqrt{A_b A_s} + A_s}{3} \right] L$	
Neiloide	$V = \left[\frac{A_b + \sqrt[3]{A_b^2 A_s} + \sqrt[3]{A_b A_s^2} + A_s}{4} \right] \frac{L}{4}$ $V = \left[A_s \frac{A_s - A_b}{(A_s/A_b)^{1/3} - 1} \right] L$	Northway
Paraboloides, cono, neiloide	$V = \left[\frac{A_b + A_m + A_s}{6} \right] L$	Newton

Donde: A_b : Área de la base, A_s : Área superior,

A_m : Área en la mitad de la longitud del tronco

Fuente: Cancino (2006)

Da Cunha (2004) menciona que en la actividad forestal, la cubicación de madera es una práctica constante y tiene la finalidad de calcular el volumen real de especies valiosas y ordenar las operaciones de compra y venta de madera. Los troncos de los árboles no son perfectamente regulares, y por eso, si se subdividen en secciones menores y a través de la suma de los volúmenes parciales, se llega al

volumen del árbol; cuanto menor sea la longitud de la sección, más próximo será el volumen calculado del verdadero. El seccionamiento no implica el corte del tronco en partes, sino sólo la marcación a lo largo del tronco de las posiciones de medición. A continuación, se muestra el cálculo del volumen real usando la fórmula de Smalian.

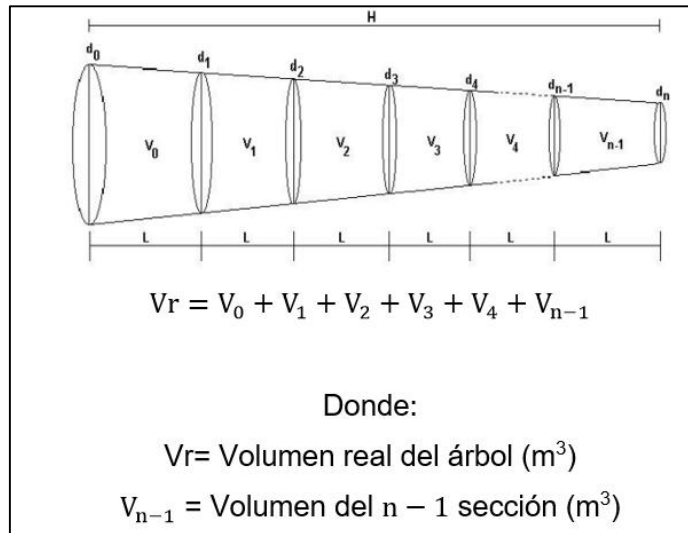


Figura 3. Volumen real de fuste (Amparado *et al.* 2008).

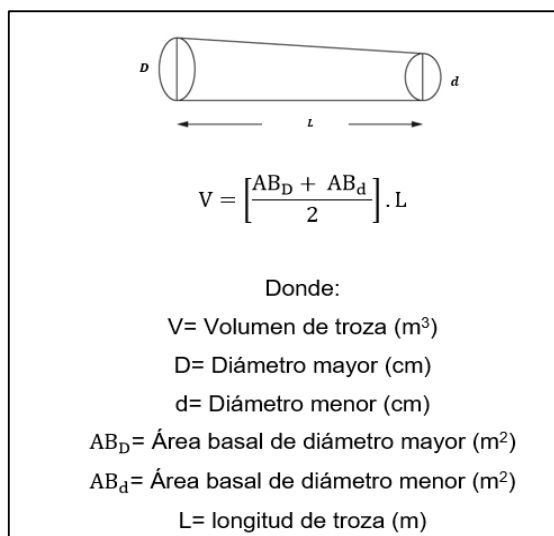


Figura 4. Volumen real de fuste (Amparado *et al.* 2008).

Soares *et al.* (2011) indica que el volumen del fuste de un árbol puede ser expresado como un porcentaje del volumen de un cilindro, pudiendo ser obtenido de la siguiente forma.

$$V = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4} \times Hc \times f$$

Donde:

V = Volumen (m³)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)

Hc = Altura comercial (m)

f = Forma del fuste

d) Forma

El factor de forma es un factor de reducción del volumen del cilindro para obtener el volumen real del árbol, depende de factores genéricos y de factores mensurables, los primeros como la especie, edad de la población, calidad de sitio y densidad de la población pueden tener cierta dificultad de determinarse y comprobarse. Ya los factores mensurables como el diámetro, altura, tamaño de copa son más fáciles de medir dentro de una población; debido a esto, en la práctica y científicamente, el factor de forma es expresado en función de factores mensurables (Silva 1974, Silva 1977, Prodan *et al.* 1997).

Para obtener el volumen del fuste se necesita conocer la forma de este, porque están íntimamente relacionados. Las variaciones existentes a lo largo del perfil de fuste son debidas a la disminución sucesiva de los diámetros de la base a la punta del árbol; esta disminución es conocida como ahusamiento y depende de la especie, edad, tamaño de los árboles, factores asociados al manejo del rodal y a

las condiciones de sitio. En la bibliografía tradicionalmente se reconocen cuatro métodos para determinar la forma, pero los más conocidos son el factor de forma y cuociente de forma (Cancino 2006, Villanueva y Jiménez 1982).

- Factor de forma: Es calculado por la razón del volumen real del fuste y el volumen de un cuerpo cilindro generado por el mismo DAP y altura, la relación entre estos dos volúmenes define el llamado factor de forma, f (Soares *et al.* 2011).

$$f = \frac{V_r}{V_c}$$

Donde:

V_r = Volumen real, suma de secciones del árbol (m³)

V_c = Volumen cilíndrico, generado por el DAP (m³)

- Cuociente de forma: Se obtiene a partir de dos diámetros del fuste medidos a diferentes alturas. Existen varios cuocientes de forma; todos ellos utilizan el DAP del árbol como diámetro de referencia, variando la altura de medición del diámetro superior (Cancino 2006).

$$C = \frac{d_s}{d_i}$$

Donde:

d_s = Diámetro del fuste superior

d_i = Diámetro del fuste inferior

Los métodos para determinar la forma del fuste dan valores entre 0 y 1, los cuales cuando se aproximen a 1, indica que el fuste es más cilíndrico y caso contrario son

cónicos; pero factores igual a 1 no son obtenidos ya que un árbol siempre tiene un afinamiento a lo largo del fuste (Da Cunha 2004).

2.2.3. Modelos de regresión en la mensura forestal

Rodríguez y Steegmann (s.f.) definen a un modelo de regresión como una descripción, en lenguaje matemático, de un objeto que existe en un universo no-matemático. El éxito o fracaso de ellos es un reflejo de la precisión con que dicho modelo representa al objeto inicial y no de la exactitud con que las matemáticas analizan el modelo, pudiendo ser expresado a través de una función. Herrerías y Palacios (2007) define un modelo como una representación simplificada de cualquier sistema, entendiéndose por sistema cualquier conjunto de elementos vinculados por determinadas relaciones; entonces es una presentación simplificada, en símbolos matemáticos de un conjunto determinado de relaciones.

Los modelos de regresión usados en la mensura forestal se basan en la alometría, que son las relaciones de escala por las cuales los rangos entre los distintos aspectos del tamaño del árbol cambian según la dimensión del individuo dentro de una misma especie (Hairiah *et al.* 2001). También es definida como la medición y el estudio del crecimiento o parte de un individuo en relación a un organismo completo (Parresol 1999). La alometría permite estudiar las relaciones existentes entre las características dimensionales de los individuos en una población, relacionado estadísticamente cantidades fáciles de medir a gran escala como el DAP, la altura o la densidad de la madera y variables complejas como la biomasa o el volumen (Picard *et al.* 2012).

a) Modelos hipsométricos

En áreas de población forestal, es necesario estimar la altura de los árboles por medio de ecuaciones específicas, definidas con base en datos disponibles y

ajustadas a partir de modelos usualmente denominados hipsométricos, siendo fundamental en los procedimientos de inventario forestal, pues expresando correctamente esta relación implica reducción de costos de inventario. Para lo cual se usa una muestra de árboles, midiendo sus alturas y DAPs, se ajusta un modelo y luego se puede estimar las alturas de cualquier árbol del rodal a partir del DAP (Campos y Leite 2013, Cancino 2006, Soares 2005).

b) Modelos volumétricos

Aguilar y Velarde (2001) indican que la gran diversidad que presentan las áreas boscosas en cuanto a composición de especies y dimensiones hace de la estimación de volúmenes una tarea sumamente compleja, puesto que, si un árbol tiene dimensiones similares a otro, los volúmenes pueden ser significativamente diferentes entre sí. Por lo que la determinación volumétrica en árboles individuales es un problema de naturaleza estadística y por ello su principal limitante es que se pueden determinar con un cierto nivel de precisión, pero no exactamente, pues no se trata de cuerpos regulares.

Cailliez (1980) define una función volumétrica o modelo volumétrico como una expresión sistemática del volumen de un árbol y/o de un rodal en función de variables o dimensiones fáciles de obtener como el DAP y altura de los árboles. El modelamiento del volumen individual de árboles comenzó a desarrollarse en la primera mitad del siglo XX, tras el desarrollo de técnicas de análisis de regresión; sin embargo, el uso de estas técnicas realmente tomó mayor impulso después del surgimiento de las computadoras, especialmente a partir de la década de los 50 (Girard 2005).

Según Guimarães y Leite (1996), el empleo de ecuaciones volumétricas constituye el procedimiento más eficiente para la cuantificación de la producción en volumen de una población forestal. La fórmula de volumen se calcula por regresión

matemática, donde se toman datos (variables) de una muestra de árboles y se calcula la fórmula estadística que se ajuste mejor a los datos. Una regresión tiene dos componentes: las variables independientes, datos que se utilizan para calcular el valor deseado como la altura y/o DAP y la variable dependiente, o sea, el valor calculado como el volumen, peso, etc. (Ladrach 2010). Siendo una herramienta de vital importancia para el profesional forestal, pues le permite agilizar el proceso de la toma de decisiones, facilitar el procesamiento y sistematización de la información colectada, reduciendo el tiempo necesario para su análisis y la obtención de los resultados (Ruiz 2007).

Muchos modelos de regresión fueron creados y probados para el ajuste de ecuaciones de volumen, pero a pesar de que algunos modelos tienen su eficacia consagrada, ninguno de ellos tendrá siempre el mejor desempeño para todas las especies y condiciones; por eso, es recomendable probar varios modelos y por medio de análisis estadísticos identificar el mejor para cada caso (Da Silva *et al.* 2011). Thomas *et al.* (2006) y Lojan (1966) indican lo mismo que, a pesar de la eficiencia de algunos modelos no siempre se ajustarán a todas las especies y condiciones, siendo recomendable probarlos por medio de estadísticas adecuadas, identificando el mejor; no pudiéndose adoptar ningún modelo para un bosque sin un estudio previo de exactitud o proximidad que hay entre los datos reales y los obtenidos con la ecuación. La elección de ecuaciones es una fase importante en el trabajo del inventario forestal, puesto que cualquier error de tendencia en la estimación del volumen por árbol tendrá reflejos en la estimación de la población, causando una sub o sobrevaloración de la producción (Campos *et al.* 1985).

De acuerdo con Ladrach (2010), la validez de una fórmula de volumen depende de varios factores:

- Los árboles medidos en el muestreo en el campo deben tener tamaños similares a los árboles en el inventario, donde se aplicará la fórmula de

volumen. Una formula puede producir información errónea si está basada en un muestreo de árboles de tamaños diferentes a los árboles medidos en un inventario. Es por esta razón que es importante conocer el origen de la formula a emplear.

- El muestreo tiene que incluir suficientes árboles para generar una regresión representativa. Normalmente, es aceptable medir entre 50 y 100 árboles en una plantación para tener suficiente información para producir una regresión confiable y buen ajuste.
- La fórmula debe calcular el volumen con las mismas especificaciones que se desea en un inventario. Por ejemplo, si se desea calcular el volumen/ha de madera con corteza a un tope mínimo de 10 cm, hay que utilizar una fórmula que haya sido elaborada con las mismas variables dependientes e independientes.

Dependiendo de las variables independientes usadas para las estimaciones, existen tres tipos de modelos volumétricos (Campos 1970).

- Funciones de volumen local: Requieren de una sola variable, el diámetro; pero para su elaboración se necesita conocer el diámetro y la altura. Su uso se restringe a un área determinada, cuando otras variables como la altura y la forma del fuste, son constantes o presentan una variabilidad baja. Por lo cual no pueden usarse para varias localidades pues la relación diámetro/altura del árbol varía de un sitio a otro.

$$V = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP} + \varepsilon$$

Donde:

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)

β_0 y β_1 = Parámetros de la regresión.

ε = Error estándar residual.

- Funciones de volumen general: Para su empleo, además del diámetro requieren del parámetro altura, tiene un uso más generalizado y pueden servir tanto para una sola especie o grupo de especies cuando sus variables hipsométricas son similares, además cuando se requiere una función aplicable a variadas condiciones de sitio, manejo y edad; la variabilidad en la calidad de sitio se refleja en las alturas y la variabilidad en manejo se refleja en los diámetros. Pero igual no es aplicada si existe mucha variación entre los individuos de los rodales.

$$VC = \beta_0 + \beta_1 (DAP^2 \times Hc) + \varepsilon$$

Donde:

V = Volumen (m³)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

Hc = Altura comerciales (m)

β_0 y β_1 = Parámetros de la regresión

ε = Error estándar residual

- Funciones de volumen con clase de forma: Además de la altura y diámetro del árbol, requieren del factor de forma para su construcción

Uno de los modelos más conocidos en la mensura y manejo forestal, es el modelo volumétrico de Schumacher e Hall (Soares *et al.* 2011), fue desarrollado por el Profesor Schumacher de la Universidad de Duke, EE. UU., como un modelo de

regresión no lineal, siendo más confiable cuando se hacen extrapolaciones de una fórmula para árboles de un tamaño superior a la población de muestreo utilizada para generar la regresión y muy útil para inventarios en bosque natural, en donde pueden presentarse árboles individuales de tamaños excepcionales. No obstante, cualquier extrapolación de un modelo a una población de un tamaño muy diferente a la población de muestreo con lleva el riesgo de cometer un error en su aplicación (Ladrach 2010). El modelo Schumacher es el siguiente.

$$\text{Ln } V = \beta_0 + \beta_1 \text{LnDAP} + \beta_2 \text{Ln Ht} + \varepsilon$$

Donde:

$\text{Ln } V$ = Logaritmo natural del volumen (m^3)

LnDAP = Logaritmo natural del diámetro a la altura del pecho (m)

Ln Ht = Logaritmo natural de la altura total (m)

β_0 , β_1 y β_2 = Parámetros de la regresión

ε = Error estándar residual.

Según Malleux (1982) no es posible establecer con certeza cuál es el diámetro mínimo para hacer mediciones en un Inventario Forestal en bosques naturales, dependiendo de muchos factores como el objetivo principal del inventario, que está en función del concepto de uso o aprovechamiento de especies para un determinado fin industrial. Además, menciona que el diámetro es una variable continua y por lo tanto teóricamente puede adquirir cualquier valor dentro de los límites extremos, por lo que recomienda establecer rangos a fin de ahorrar el máximo de tiempo, esfuerzo y costos en el inventario.

Campos y Leite (2013), indican que la frecuencia de los árboles inventariados para realizar la cubicación está directamente relacionada con la variación en el diámetro y la forma de los individuos de la población; y para mejor entendimiento de esta variación, los árboles muestreados deben abarcar todas las clases de diámetro

(DAP) a partir de un diámetro mínimo especificado y preferiblemente en una misma frecuencia por clase. Así mismo Ladrach (2010), menciona que los árboles medidos en el campo para estimar volúmenes deben ser de tamaños similares a los del inventario donde se aplicará la fórmula y que no es recomendable incluir individuos bifurcados o mal formados cuando se desea producir una fórmula típica para árboles normales.

Macdiken (1997), Cabrera (2015) y Catpo (2004), indican que el número de individuos necesarios para realizar regresiones de volumen y/o biomasa es de mínimo 30 árboles. Caso contrario, Guimarães y Leite (1996) determinaron que, ecuaciones volumétricas de doble entrada basadas en un número reducido de árboles, inferior a 100 individuos, presentan altas probabilidades de proporcionar estimaciones volumétricas tendenciosas y que las ecuaciones ajustadas a partir de 150 árboles proporcionaron estimaciones volumétricas buenas.

c) Modelos usando el diámetro del tocón

En ocasiones los bosques son afectados por diversos fenómenos que dejan sólo como evidencia el tocón de los árboles; no obstante, esta evidencia permite la reconstrucción del tamaño de los árboles removidos y es tal su importancia que resulta de utilidad para revisar volúmenes de cosecha, venta de madera basada en diámetro del tocón, valorar daños causados por eventos catastróficos, registros históricos de actividades de manejo y establecimiento de pérdidas por aprovechamientos clandestinos (McClure 1968, Wharton 1984). Lo mencionado se debe a que es posible determinar una relación funcional entre el diámetro del tocón con otras variables dasométricas como el DAP, altura o volumen, haciendo uso de la regresión (lineal o no lineal); realizándose en dos fases, en primer lugar, se predice el diámetro normal en función del diámetro del tocón y a continuación se obtiene el volumen del árbol utilizando una tarifa de cubicación (Bylin 1982; Westfall 2010).

Raile citado por Báes y Gra (1990) plantea tres aspectos por los cuales es necesario conocer la relación entre el diámetro del tocón y el diámetro a 1.30 m sobre el nivel del suelo:

- Se puede determinar el volumen extraído de cortas furtivas, usando las tablas de volumen locales.
- Si no se recogió la información o se perdió, se puede determinar la distribución de los diámetros y área basal de parcelas y rodales.
- Se puede determinar el volumen extraído en grandes extensiones.

En la última década ha aumentado la cantidad de trabajos en predicción del DAP a partir de las dimensiones del tocón, no obstante, la cantidad de esfuerzos es muy limitada y se ha concentrado principalmente en coníferas (Martínez y Acosta 2014).

d) Otros modelos usados en la mensura forestal

Existen muchos modelos aplicados en la mensura forestal, estos sirven como herramientas para el manejo y aprovechamiento forestal como son los modelos del diámetro cuadrático a lo largo del tiempo, usados para la conducción de raleos; modelos de masa de madera, aplicados cuando la madera es utilizada en la producción de energía o celulosa; modelos de afilamiento o de Taper, sirven para expresar el perfil del tronco de un árbol por medio de un modelo de regresión y cuantificar los multipoductos de madera disponible para cada industria; modelos de volumen de fuste y ramas en árboles de bosque natural; modelos para determinar la calidad de sitio y modelos de crecimiento y producción a nivel de población, sirven para estimar el crecimiento o producción a partir de atributos a nivel de población como edad, área basal e índice local. (Campos y Leite 2013, Figueiredo *et al.* 2014).

2.2.4. Tablas de cubicación

Una tabla de volúmenes o tarifas de cubicación se define como la expresión tabular de los valores predichos por una ecuación, las cuales deben ser elaboradas por taxón y para cada localidad, debido a que los ámbitos de crecimiento pueden variar entre taxa y de un lugar a otro (Fucaraccio y Staffieri 1999), pues una misma especie, con idénticos diámetros a la altura del pecho (DAP) y alturas totales, no necesariamente tienen el mismo volumen; por esta razón, una tabla de volumen universal, aplicable a todas las condiciones y especies, es imposible, generando un gran número de fórmulas (Chapman y Meyer 1949, Higuchi 1978).

Cada vez se hace más urgente contar con tablas de volumen de especies forestales pues facilitan las labores del inventario forestal y son una de las principales herramientas para conocer, de manera confiable, las existencias reales de volumen y realizar un manejo sostenible; así como para la gestión forestal, la comercialización de productos leñosos y la investigación; pero muchas veces no se cuenta con esta herramienta debido a los costos para su elaboración y el escaso personal especializado necesario para su construcción (Muñoz et al. 2003, Del Águila 2013).

Las tablas de volumen pueden ser construidas por métodos gráficos o analíticos; siendo preferido el último. En el primero se calcula volúmenes de cierto número de árboles, estos son agrupados por clases (cálculo del volumen medio por cada clase) y ploteados en pares de valores (volumen - DAP) en un eje de coordenadas, luego se traza la tendencia balanceada de tal manera que los desvíos sean iguales y finalmente se leen los volúmenes sobre la curva para elaborar la tabla. El otro método analítico o modelos, el trabajo se resume a estimar los coeficientes de la expresión admitida por la aplicación a los datos del método de ajustamiento analítico de los mínimos cuadrados, establecida la ecuación se elaboran las tablas numéricas de forma que resulte práctico su aplicación (Villanueva y Jiménez 1982).

Cuando la tarifa se ha construido para determinar volúmenes de árboles se denomina tarifa de cubicación de árbol individual y en el caso de que se haya construido para obtener directamente el volumen de una masa se denomina tarifa de cubicación de masa (Diéguez *et al.* 2005). Las tablas de volumen en la actualidad han sido hoy reemplazadas por las ecuaciones de volumen, sin embargo, el término tabla ha persistido para expresar una tabla de volumen derivada de un modelo volumétrico (Del Águila 2013).

Una tabla de volumen debe incluir información descriptiva que permita su correcta aplicación, la cual es la siguiente: las especies (Grupo de especies a las que se aplica la tabla o la localidad en el que se aplica la tabla), definición de variable dependiente e independiente (unidades en las que se expresan), autor, fecha de preparación, número de árboles en los que se basa la muestra, alcance de los datos básicos, método de determinación de volúmenes de árboles individuales, método de construcción y medidas apropiadas de exactitud. Los primeros tres elementos siempre deben darse, los restantes son de menor interés y algunas veces se omiten (Husch *et al.* 2003)

2.2.5. Regresión

Gomes (2009) cita que el Análisis de Varianza tal como es hecho usualmente supone la independencia de los diversos tratamientos utilizado, cuando esta hipótesis no se verifica el Análisis de Varianza debe reflejar la dependencia entre los tratamientos. Así acontece en el caso en que los tratamientos son cuantitativos con más de dos niveles y se justifica la existencia de una correspondida funcional (llamada ecuación de regresión) que une los valores de los tratamientos X a los datos analizado en Y.

Según Kunter citado por Mello y Peternelli (2013), el análisis de regresión consiste en la realización de un análisis estadístico con el objetivo de verificar si hay una

relación funcional entre una variable dependiente y una o más variables independientes. En otras palabras, consiste en obtener una ecuación que muestre la variación de la variable dependiente por la variación de los niveles de las variables independientes. De igual forma Garcia y Leite (2013), indican que la regresión estudia como una a más variables independientes (X_1, X_2, X_n) influyen en el comportamiento de otra variable dependiente Y ; desde el punto de vista estadístico hacer un análisis de regresión consiste en establecer una relación funcional entre estos dos tipos de variables, esta relación es llamada modelo; el problema básico de la teoría de regresión consta en estimar el valor de los parámetros y realizar su prueba de significancia. El cálculo de estos parámetros puede ser hecha por medio de métodos, con el de mínimo cuadrados ordinarios.

Calzada (1970) cita que las regresiones pueden clasificarse por la forma en que las variables se influncian, cuando las variaciones de la variable independiente pueden provocar variaciones proporcionales en la variable dependiente, la relación de tipo lineal y la representación es una línea recta. Por otro lado, si las variaciones de la variable independiente pueden ser que no provoquen variaciones proporcionales en la variable dependiente, este tipo de relaciones debe efectuarse por regresiones curvilínea. Otra clasificación que se puede hacer es por el número de variables independiente que influyen en la variable dependiente, si una variable independiente influencia sobre la variable dependiente, tenemos una regresión simple y si son varias las variables que influyen en la variable dependiente, tenemos una regresión múltiple. Júnior (2013) menciona que la regresión puede ser clasificada en función del número de variables dependientes, así como el grado de potencia de esta variable o el tipo de la función que será ajustada.

a) Regresión de un grado o lineal

Este tipo de regresión es expresada por una función de línea recta, consta de una variable independiente y dependiente, así como de dos parámetros, β_0 y β_1 (Júnior 2013), el modelo estadístico está expresado por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon$$

Donde:

Y_i = Valor observado de Y en la observación i (i = 1,2,...,n)

β_0 = Constante de regresión (intercepto de la ecuación de regresión en el eje Y)

β_1 = Constante de regresión (variación de Y en función de la variación de una unidad de X)

X_i = Valor de X en la observación i

ε = Error de la regresión asociado a el valor de observado

El primer paso en el análisis de regresión es obtener las estimaciones de los parámetros de β_0 y β_1 . A partir de una muestra de datos de N pares de valores. El método de mínimos cuadrados consiste en determinar valores de los parámetros que minimizan la suma de cuadrados de los errores (Júnior 2013).

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}$$
$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X}$$

Donde:

\bar{X} = Media de la muestra de la variable independiente

\bar{Y} = Media de la muestra de la variable dependiente

Vásquez (2014) indica que la validez de los resultados obtenidos en cualquier ANOVA queda supeditada a que los supuestos del modelo se cumplan, que son normalidad, varianza constante e independencia de las variables respuesta Y_i ; estos supuestos se dan sobre el termino error (e) en los diferentes modelos. De la misma forma una regresión debe cumplir supuestos que hacen sobre la variable aleatoria error ε de modelo, lo cuales son:

- Supuesto 1: Y es una variable aleatoria cuya distribución probabilística depende de X. Este supuesto quiere decir que para cualquier valor de X, Y es una variable aleatoria con cierta distribución probabilística con media $\mu_{Y/X}$ y $\sigma_{Y/X}^2$. Por otra parte, significa que la variable X se mide sin error y fijada por el investigador.
- Supuesto 2: Modelo de la línea recta. Esta suposición requiere que la ecuación para $\mu_{Y/X}$ sea una línea recta, es decir que $\mu_{Y/X} = \beta_0 + \beta_1 X$; por lo tanto que la ecuación de dependencia sea $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$
- Supuesto 3: Homogeneidad de varianza. (Homocedasticidad). Esta suposición es muy importante en el análisis de regresión. La varianza de las distribuciones de “Y” son idénticas para todos los valores de X. En otras palabras, se supone que $\sigma_{Y/X1}^2 = \sigma_{Y/X2}^2 = \sigma_{Y/Xn}^2 = \sigma^2$, donde σ^2 es la varianza común (desconocida) para todas las distribuciones de “y”, independiente del valor de X. Esto quiere decir, que la media de la Y se modifica con el valor de X, pero la varianza se mantiene constante.
- Supuesto 4. Independencia. Los valores de Y deberán ser estadísticamente independientes.

- Supuesto 5. Normalidad. La distribución normal de Y para cualquier valor de X es normal. Esto equivale a suponer que la variable aleatoria no observable e es normal y su media es cero ya que X se toma como variable no aleatoria susceptible a ser manipulada por el investigador.

Cecon *et al.* (2012) y Steel y Torrie (1992), indican que existen algunas suposiciones para establecer el modelo de regresión lineal:

- La relación entre X y Y es lineal.
- Los valores de X son fijos, esto quiere decir que X no es un variable aleatoria.
- Para un dado valor de X, la varianza del error es siempre σ^2 ; dícese entonces, que el error es homocedastico o que hay homocedasticidad.
- El error de una observación es independiente de error de otra observación.
- Los errores tienen una distribución normal.

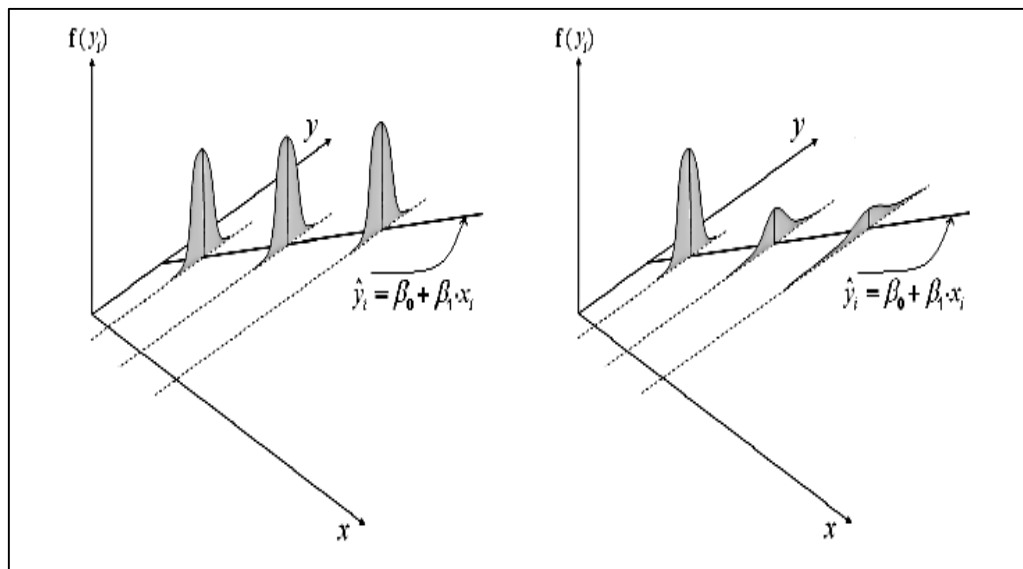


Figura 5. Varianzas de regresiones (Cancino 2006).

Izquierda: Homogeneidad de varianza – derecha: Heterogeneidad de varianza

b) Regresión lineal múltiple

Esta regresión consiste en describir una relación funcional entre una variable dependiente Y con p variables independientes X_{1i} , (Júnior 2013), siendo el modelo estadístico el siguiente.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_p X_{pi} + \dots + \varepsilon$$

Donde:

Y_i = Valor observado de Y en la observación i ($i = 1, 2, \dots, n$)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = Constante de regresión

β_1 = Constante de regresión (variación de Y en función de la variación de una unidad en X)

X_{1i} = Valor al cuadrado de X_1 en la observación i

X_{2i} = Valor al cuadrado de X_2 en la observación i

X_{pi} = Valor al cuadrado de X_p en la observación i

ε = Error de la regresión asociado a el valor de observado

c) Regresión no lineal

Cuando se hace un estudio de regresión para verificar la relación funcional entre Y y X , la mejor ecuación ajustada a los datos puede ser la no lineal. Como ejemplo de ecuaciones no lineales pueden ser utilizados las funciones potencia y exponencial (Júnior 2013).

$$Y_i = \beta_0 X_i^{\beta_1}$$

$$Y_i = \beta_0 e^{\beta_1 X_i}$$

2.2.6. Validación estadística de regresiones

La validación consiste en ver si los parámetros estimados del modelo son estadísticamente válidos basándose en dos hipótesis. La primera de Fisher (F) comprueba la existencia de la regresión, sin embargo, no garantiza que todos los parámetros sean estadísticamente significativos a un nivel de probabilidad (Soares *et al.* 2011). Además, Da Cunha y Guimaraes (2009) y Vélez (2003), expresan que Fisher (F) permite determinar si la regresión lineal simple es globalmente significativa; siendo una comparación entre la variabilidad dada por el modelo y por los errores. Cuando mayor es la variación explicada por el modelo y menor por el error, mayor es el valor del F calculado, indicando que el modelo tiene buen ajuste.

$$F = \frac{CMR}{CME}$$

Dónde:

CMR: Cuadrado medio de la regresión

CME: Cuadrado medio del error

Cuando el F calculado es mayor que el F tabulado se acepta la hipótesis alterna, caso contrario se rechaza.

$$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0$$

Ha: . Por lo menos uno de los parámetros es estadísticamente diferente de cero.

Una vez validada la primera hipótesis se hace la segunda, el test de “t” (Student) para la evaluación estadística por parámetro. Donde sí “t” calculado > “t” tabulado,

quiere decir que se acepta la hipótesis H_a , indicando que ese parámetro es estadísticamente diferente de cero y ayuda al ajuste del modelo (Soares *et al.* 2011).

$$H_0: \beta_x = 0$$

$$H_a: \beta_x \neq 0$$

Validado estadísticamente la existencia de los modelos, para escoger cuál de ellos se debe usar en las estimaciones no es fácil definir un criterio o estadística que indique que un modelo es aceptable o mejor que otro. Pero se debe tener en cuenta para la selección la precisión, realismo biológico, flexibilidad y simplicidad; pero independientemente del método de validación, esta debe ser hecha con datos que no fueron utilizados en el ajuste (Campos y Leite 2013, Cancino 2006). De igual forma Alder (1980) expresa que una vez ajustado el modelo, debe ser probado para determinar su validez y precisión; siendo realizado preferiblemente con datos que no fueron usados en el ajuste.

Ortiz (1993) recomienda construir gráficos entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes, para probar cuales modelos o ecuaciones de regresión explican mejor esta relación y escoger el o los modelos de mejor ajuste, además de la ayuda de estadígrafos o indicadores estadísticos. Segura y Venegas (1999) citan que los indicadores más conocidos y ampliamente usados en el campo forestal son el Coeficiente de determinación (R^2), Coeficiente de correlación ($R_{\hat{Y}Y}$), Coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajustado), Error padrón residual (S_{yx}), el Coeficiente de variación e Índice de Furnival (IF).

a) Coeficiente de determinación (R^2)

Es una medida descriptiva de la calidad del ajustamiento obtenido; en otras palabras, indica la proporción de la variación de Y que es explicada por la regresión

o cuanto de la Suma de Cuadrados Total está siendo explicado por la regresión o cuanto de la variación en la variable dependiente Y es debida a la variación en la variable independiente X (Cecon *et al.* 2012). Esta estadística tiene una magnitud entre 0 y 1, significando que cuando el coeficiente es igual a 1, todas observaciones coincidieron con la curva de la regresión y la suma de cuadrado será cero, lo que sería ideal (Campos y Leite 2013).

$$R^2 = 1 - \frac{SC \text{ Residuos}}{SCTotal} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Donde:

\hat{Y}_i = Valor estimado por el modelo

Y_i = Valor observado en campo de la variable dependiente

\bar{Y} = Promedio de los valores observados en campo de la variable dependiente

En la fórmula anterior la Suma de los Cuadrados de los Residuos (SC Residuos) indica la variación residual de los valores observados en relación a los valores estimados del modelo, esto es la variación de los valores observados no explicado por el modelo; y la Suma Total de los Cuadrados (SCTotal) de los desvíos de los valores observados indica la variación total de los valores observados en relación a la media (Cadima 2003).

Vásquez (2014) señala que el R^2 representa la reducción relativa de la Suma de Cuadrados del Error total gracias al uso de la recta de regresión, siendo la media de la bondad del ajuste en el sentido que indica la cantidad de mejoramiento en términos de reducción de error total gracias al uso de la recta de regresión; si el R^2 es igual a 1, indica que la reducción de la suma de cuadrados del error total fue de 100 % (un ajuste perfecto) o si el R^2 es igual a 0, indica que la suma de cuadrados del error total no ha sido reducido por aplicación de la recta de regresión (no es

recomendable usar una recta). Para clasificar la bondad del ajuste se puede usar las siguientes categorías.

$R^2 = 1$; Ajuste perfecto

$0.8 \leq R^2 \leq 1$; Ajuste excelente

$0.5 \leq R^2 \leq 0.8$; Ajuste regular

$0 \leq R^2 \leq 0.5$; Ajuste pobre

Acuña (2010) y Alvarado y Obagi (2008) resaltan que cuando un R^2 es mayor a 0.7 indica una buena asociación lineal entre las variables y recomiendan que el mínimo valor para un estudio de ciencias exactas es de 0.75.

b) Coeficiente de correlación ($R_{\hat{Y}Y}$)

Campos y Leite (2013) indica que en el caso de modelos no lineales el Coeficiente de determinación (R^2) es sustituido por el Coeficiente de correlación ($R_{\hat{Y}Y}$) entre los valores observados y los valores estimados por la regresión. Júnior (2013) resalta que este indicador estadístico mide la intensidad con que se manifiesta una relación lineal entre dos variables aleatorias Y_1 y Y_2 , siendo un número adimensional, que varía entre -1 y 1. Un valor próximo de la unidad positiva o negativa significa grande concentración de puntos en torno a una recta imaginaria, considerando valor de fuerte correlación positiva o negativa. Un valor próximo de cero significa mayor dispersión de los puntos en la relación a esta recta y es considerado valor de débil correlación positiva o negativa. Valores positivos indican la tendencia de una variable aleatoria aumentar cuando la otra aumente; cuando son negativos, la relación es inversa.

$$R_{\hat{Y}Y} = \sqrt{R^2}$$

c) El error padrón residual (S_{yx})

Mide la dispersión media entre los valores observados y estimados a lo largo de la línea de regresión, cuanto más bajo sea el valor del S_{yx} , mejor será el ajuste. (Machado *et al.* 2002).

$$S_{yx} = \sqrt{QM Res}$$
$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n - p - 1)}}$$

Donde:

\hat{Y}_i = Valor estimado por el modelo

Y_i = Valor observado en campo de la variable dependiente

n = Número de árboles usados en el ajuste

p = Número de variables independientes en el modelo

d) Validación gráfica de los modelos

Según Cailliez (1980) la calidad de una regresión no solamente se debe jugar por un valor numérico, el ajuste puede ser malo y el valor del R^2 elevado. De igual forma Machado *et al.* (2005) resaltan que, aun siendo los indicadores estadísticos fundamentales para la elección del mejor modelo, se considera también como indispensable el análisis gráfico de residuos, pues permite detectar si existe o no tendencias en la estimación de la variable dependiente a lo largo de la línea de regresión.

El residuo se evalúa por cada observación y es la diferencia entre el valor realmente observado y el valor medio previsto a partir del modelo, siendo los valores de las perturbaciones aleatorias en cada observación (Cailliez 1980). Las gráficas de residuos son los elementos más importantes para visualizar el desempeño de la ecuación de regresión, pues manifiestan el cumplimiento de los supuestos del modelo, es decir que sus residuos no estén correlacionados, tener normalidad y varianza uniforme (Da Cunha *et al.* 2009, Romero y Zunica 1993).

Campos y Leite (2013) indican que los principales indicadores gráficos son los siguientes.

- Distribución de residuos: Permite la interpretación directa de sub o sobreestimación de la variable dependiente, siendo expresado en porcentaje el error de estimación (Campos y Leite 2013).

$$d\% = 100\left(\frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i}\right).$$

Donde:

\hat{Y}_i = Valor estimado por el modelo

Y_i = Valor observado en campo de la variable dependiente

Además, permite observar el supuesto de homogeneidad de varianza, el termino homocedasticidad se refiere al supuesto de que las variables dependientes exhiban iguales niveles de varianza a lo largo del rango del predictor de las variables (Benítez *et al.* 2010), como se observa en la Figura 6.

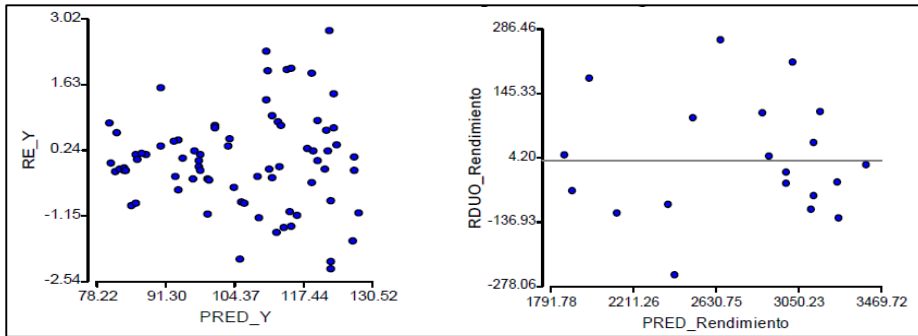


Figura 6. Distribución de residuos (Di Rienzo *et al.* (2006).
 Heterogeneidad de varianza, heterocedasticidad (izquierda) y
 Homogeneidad de varianza, homocedasticidad (derecha).

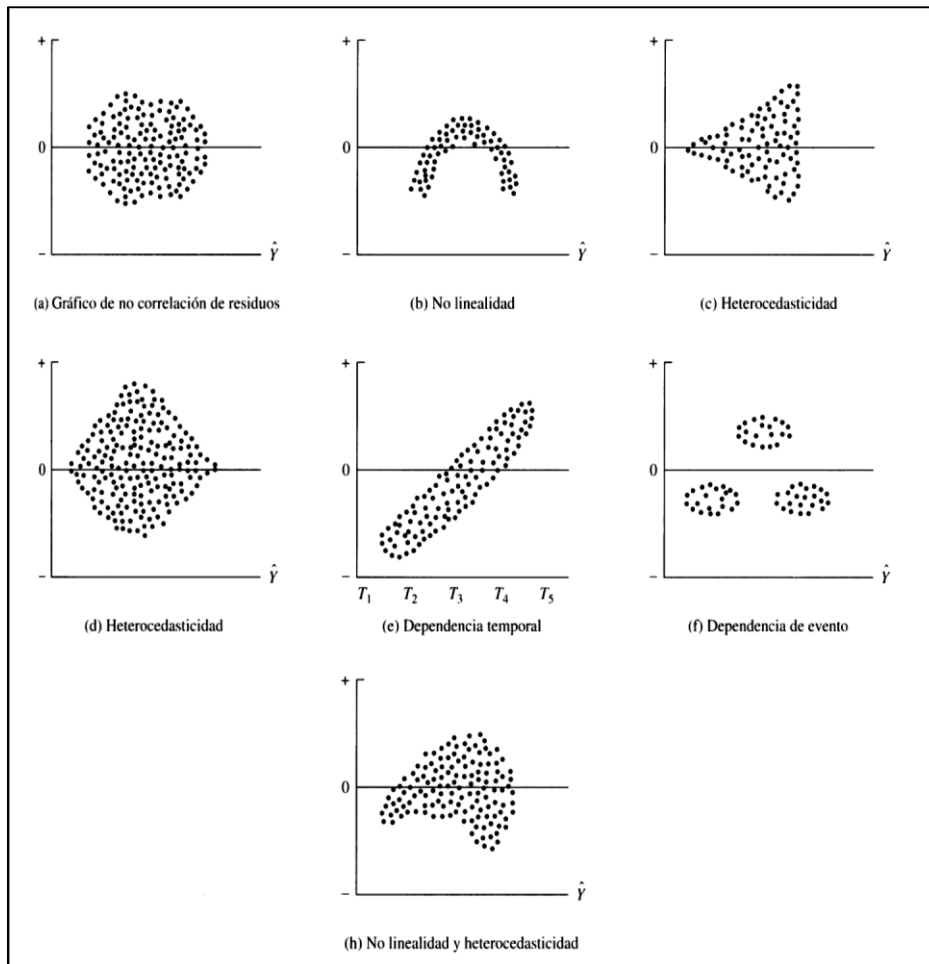


Figura 7. Comportamiento de los residuos (Romero y Zunica 1993).

Di Rienzo *et al.* (2006) mencionan que, si al realizar un gráfico de dispersión de los residuos en función de la variable que generaría dependencia, presenta agrupamiento de los residuos positivos y/o negativos indica la falta de independencia, Figura 7.

- Histogramas de residuo: Los residuos son agrupados en clases, que permite validar la precisión del ajuste, cuanto más cerrada entorno a cero mejor es el ajuste del modelo (Campos y Leite 2013).

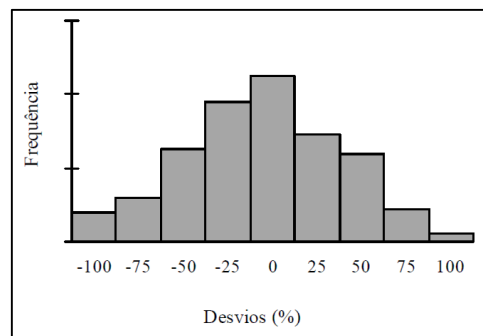


Figura 8. Histogramas de residuos (García y Leite 2013).

- Correlación gráfica: En un sistema de coordenadas son ploteados los valores observados y estimados, a lo largo de una línea partiendo del origen. Cuando el gráfico es una línea partiendo del origen y con un ángulo de 45° el modelo ha tenido un buen ajuste (Campos y Leite 2013).

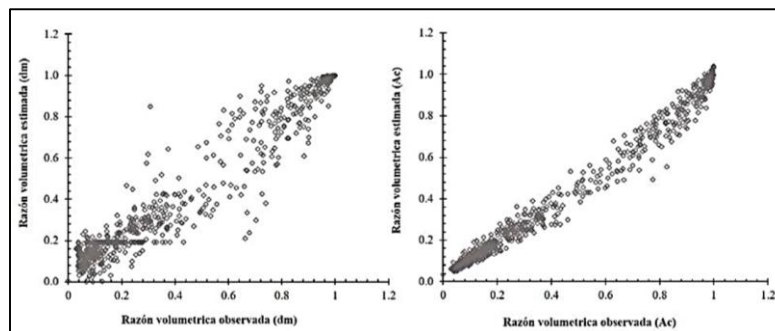


Figura 9. Grados de Correlación (Hernández *et al.* 2017).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

El Bosque de Protección de Paigabamba es un Área Natural Protegida y está ubicado en el distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca; antes de su creación formaba parte de la hacienda Pagaibamba, de propiedad de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. En el año 1972 mediante una Resolución Suprema se transfiere la hacienda Pagaibamba a favor del Ministerio de Agricultura, durante la Reforma Agraria. El 19 de junio de 1987 fue establecida como Área Natural mediante la R.S. N° 0222 – 1987 – AG/DGFF, con una extensión de 2 078.38 hectáreas y la Zona de Amortiguamiento con 4 100.1 hectáreas. El objetivo principal de su creación fue garantizar el normal abastecimiento de agua para el beneficio de las poblaciones locales, principalmente para el uso agrícola y consumo humano de los distritos de Querocoto, Llama y Huambos (Resolución N° 130 2017- SERNANP).

Pagaibamba forma parte de los ecosistemas de bosque altoandinos que juegan un rol fundamental en la regulación hídrica de las cuencas, dentro de sus muchas funciones hay una que resalta y es que estos bosques se encargan de atrapar el agua de la atmósfera presente en forma de niebla para condensarla, almacenarla y filtrarla, generando un servicio ambiental valioso para las zonas medias y bajas de las cuencas que son las principales beneficiarias (Gobierno Regional de Cajamarca 2018).

3.1.1. Ubicación

El Bosque de Protección de Pagaibamba se encuentra ubicado en el distrito de Querocoto, provincia de Chota en el departamento de Cajamarca, al Norte del Perú

en altitudes que van desde los 2 400 msnm en su cota más baja hasta los 3 511 metros en su cota más alta en las laderas del cerro Ocshahuilca. El Área Natural se encuentra delimitada por la Zona de Amortiguamiento, que abarca a la ciudad de Querocoto por el Norte, por el Este con los distritos de Querocoto y Huambos; por el Sur con Huambos y Llama y por el Oeste con Llama y Querocoto (Gobierno Regional de Cajamarca 2018). El presente trabajo de investigación se realizó en la parte Noreste de la Zona de Amortiguamiento, específicamente en los alrededores de los Centros Poblados de San Luis y Paraguay, Tabla 2 y Figura 10.

Tabla 2. Ubicación del área de estudio.

Departamento/ Provincia / Distrito	Coordenadas UTM 17S – WGS 84		Altitud msnm
	Norte	Este	
	9295941	715019	2598
Cajamarca/ Chota/ Querocoto	9293831	713420	2637
	9294202	713115	2552
	9295792	715316	2565

3.1.2. Accesibilidad

El acceso desde la ciudad de Cajamarca es por vía asfaltada Cajamarca – Chota – Huambos y la trocha carrozable Huambos – Querocoto - San Luis, en un tiempo de 7 horas aproximadamente (Gobierno Regional de Cajamarca 2018), como se puede apreciar en la Figura 11.

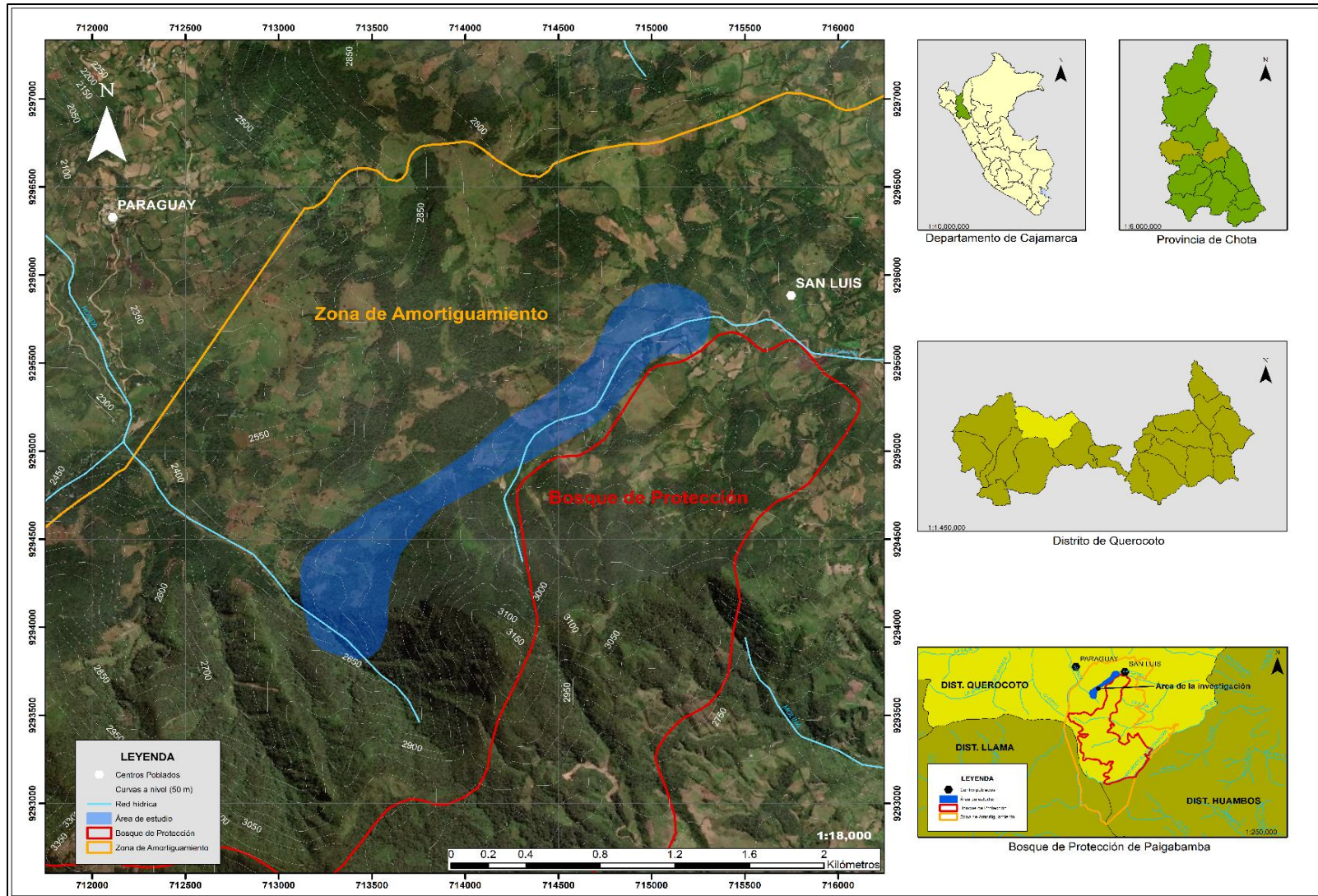


Figura 10. Ubicación del área de estudio.

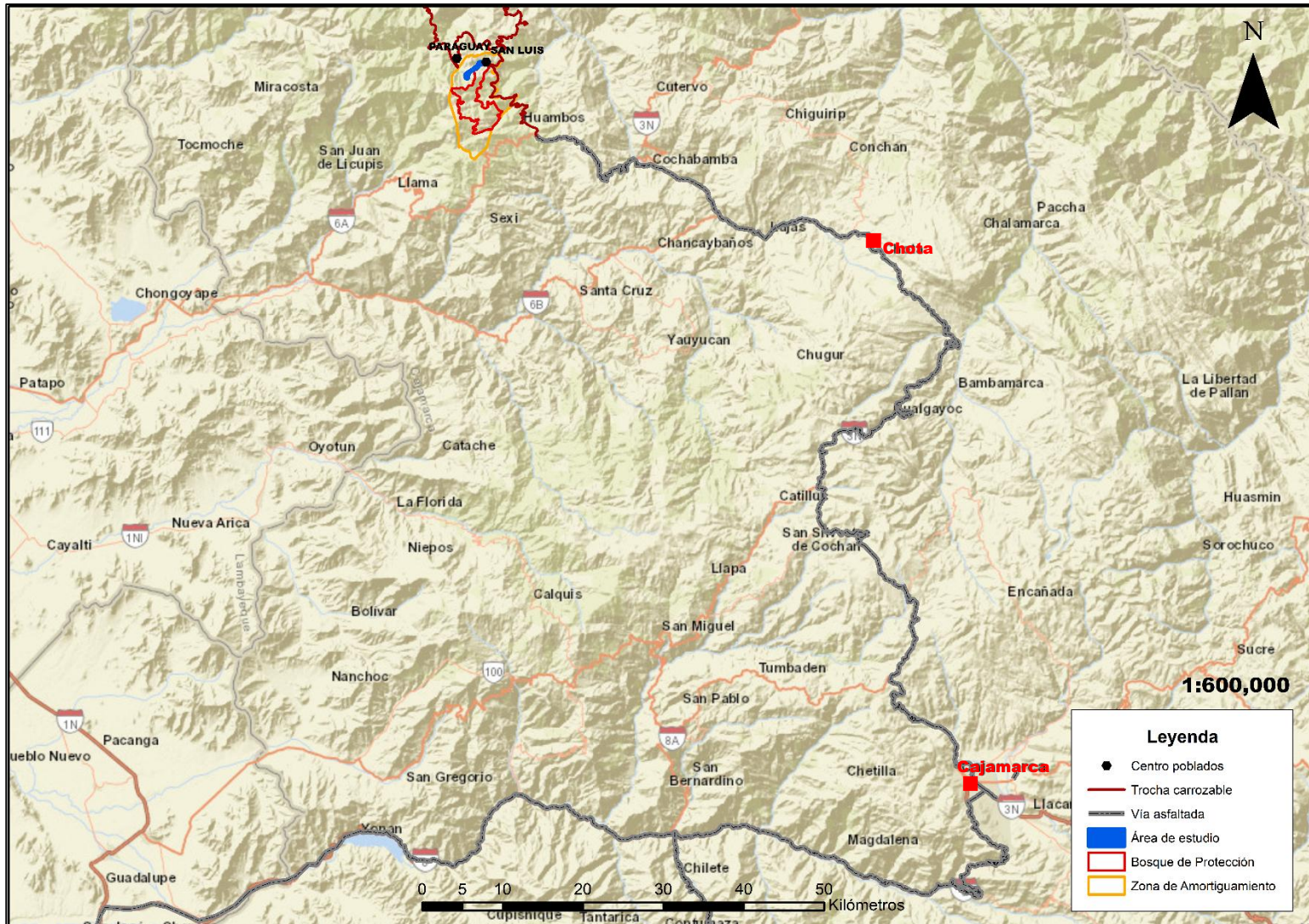


Figura 11. Mapa acceso al área de estudio.

3.1.3. Zonas de vida

Según el Estudio de Línea Base realizado por el Gobierno Regional de Cajamarca (2018), en el marco del proyecto “Recuperación del servicio hídrico de área de amortiguamiento del bosque de protección Pagaibamba, distrito de Querocoto, provincia de Chota, región Cajamarca”; en la Zona de Amortiguamiento y en el Bosque de Protección de Pagaibamba hay 3 zonas de vidas, que son las siguientes.

- Bosque húmedo Montano Tropical (bh – MT): Entre 2 700 y 3 400 msnm, con un accidentado de fuertes pendientes. El clima se caracteriza por ser muy húmedo, con temperatura media anual entre los 12°C y 13°C y precipitación total anual entre 500 y 1 000 mm. La cobertura vegetal presenta bosque nublados densos, con especies *Podocarpus oleifolius*, *Weinmannia cymbifolia*, *Weinmannia elliptica*, *Werneria stuebelii*, *Miconia bracteolata*, *Miconia centrophora* y *Miconia denticulata*, las zonas expuestas a fuertes vientos presentan matorrales achaparrados y gramíneas de los géneros *Stipa*, *Festuca* y *Calamagrostis*.
- Bosque húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT): Entre 2 300 y 2 600 msnm, con pendientes medias con predominio de laderas pronunciadas. El clima es húmedo, con temperatura media anual entre 13 °C y 15 °C y precipitación total anual entre los 600 y 1 000 mm. La cubierta vegetal se caracteriza por bosques nublados conformados por especies arbóreas perennifolias con especies como la “romerillo” *Podocarpus oleifolius*, y “lanche” *Myrcianthes discolor*; en zonas más baja se encuentra el “aliso” *Alnus acuminata*, “cholán morado” *Delostoma integrifolium*, “Chilca” *Baccharis sp.* y “pigala” *Solanum oblongifolium*.

- Bosque seco Montano Bajo Tropical (bs-MBT): Se ubica principalmente en las zonas más bajas del área de amortiguamiento, bajo los 2 300 m. El relieve del terreno es accidentado, con quebradas y hondonadas escarpadas, y áreas de menor pendiente con predominio de agricultura. El clima es seco a lo largo de la mayor parte del año, con temperatura media anual entre los 15° C y 19 °C y precipitación total anual entre 500 y 600. La cobertura vegetal se caracteriza por presencia de matorrales, principalmente con especies arbustivas caducifolias como el “Hualango” *Acacia spp*, “Taya” *Caesalpinia spinosa* y “molle” *Schinus molle*.

En la presente investigación los árboles evaluados se encuentran en las Zona de Vida, bosque húmedo – Montano Bajo Tropical (bh-MBT) para los alrededores del Centro Poblado de San Luis y bosque húmedo – Montano Tropical (bh – MT) para Paraguay, como se puede observar en la Figura 12.

3.1.4. Clima

Presenta temperaturas máximas que van desde 19.7 a 20.4 °C y mínimas de 12 a 12.9 °C, sin un régimen marcado durante todo el año. La precipitación juega un rol fundamental para el sustento de la biodiversidad del Bosque, con inicio de lluvias en el mes de octubre y culmina en el mes de mayo y el periodo seco inicia a fines de mayo hasta el mes de septiembre. El Área Natural es un importante espacio hidrológico y aportador de agua a las partes medias y bajas de las cuencas Chamaya y Chancay Lambayeque. La principal entrada de agua es la precipitación, pero también recibe entradas adicionales por interceptación de la neblina (Gobierno Regional de Cajamarca 2018).

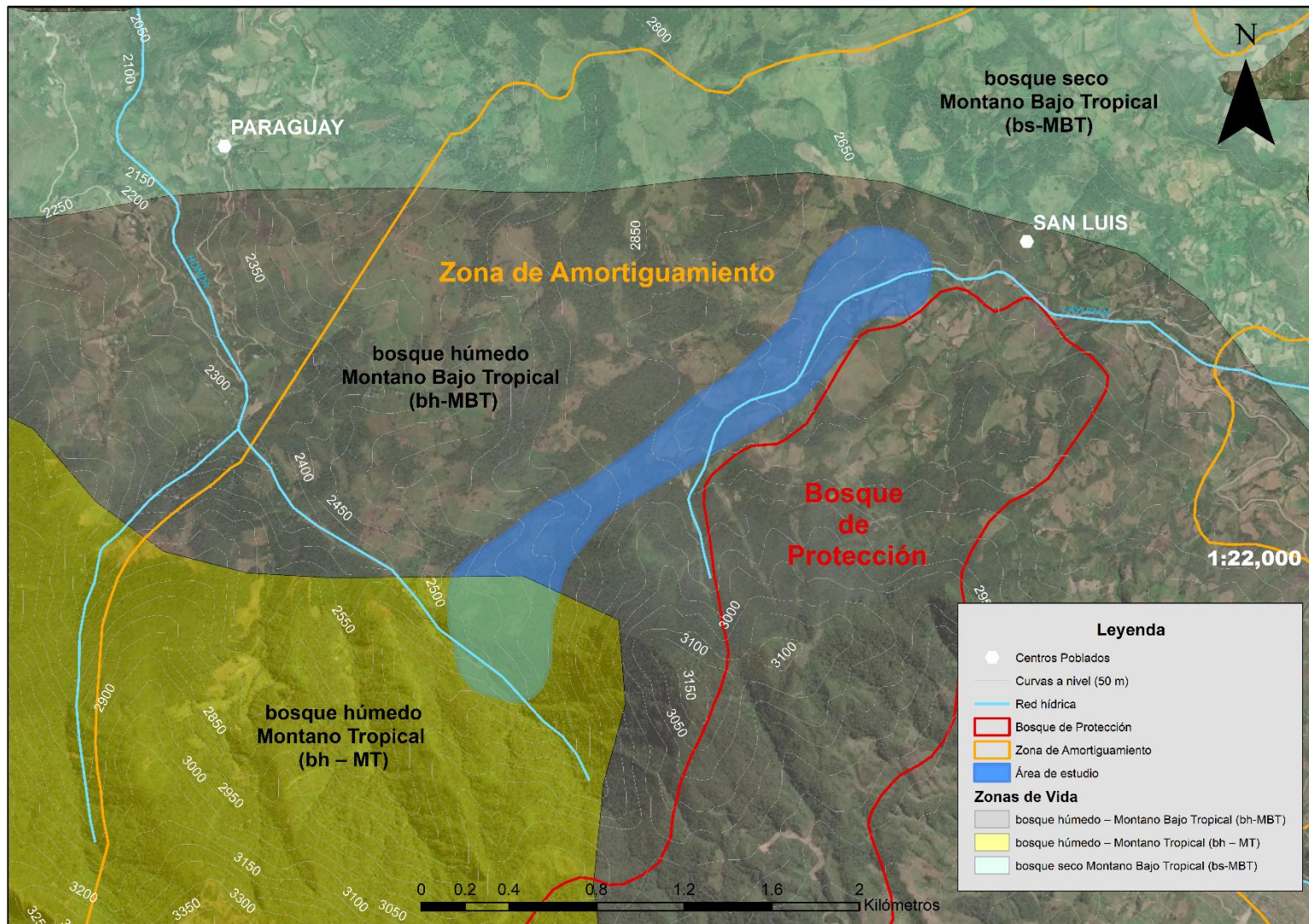


Figura 12. Zonas de Vida del área de Estudio.



Figura 13. Neblina en la Zona de Amortiguamiento.

3.1.5. Geomorfología y suelos

Pagaibamba desde el punto de vista geomorfológico presenta: vertientes montañosas escarpadas (Vs2-e), con relieve accidentado que corresponden a las estribaciones de la cordillera occidental andina, sus pendientes oscilan de 50 a 70 %; estas áreas han sido moldeadas por las glaciaciones durante el Plio pleistoceno. vertientes montañosas moderadas (Vs2-d), presentan topografía relativamente accidentada, corresponden a sectores de baja vertiente, donde la presencia de rocas blandas y depósitos coluviales permitió la formación de valles amplios y zonas convexas y cóncavas. Y por último vertientes montañosas y colina empinadas a escarpadas, son áreas de relieve accidentado, con pendientes de 50 a 70%, originadas por disección cuaternaria de las formaciones geológicas, su potencial agropecuario es inexistente debido a las limitaciones topográficas y edáficas, por otro lado, estos espacios son frágiles y de alta susceptibilidad erosiva (Cruzado y Crisólogo citado por Gobierno Regional de Cajamarca 2018).

Los suelos en el área de estudio son de origen coluvial (con piedras angulares que conforme van acercándose a la roca madre son de mayor tamaño), casi homogéneos, conformados generalmente por tres horizontes (O, A y B), con una profundidad efectiva promedio de 64 cm. Presentan contenidos bajos a muy bajos en fósforo (4.62-1.90 ppm) y muy bajos en potasio (142.5-105.0 ppm); con pH de ligero a fuertemente ácido (6.18 – 4.83); aluminio en concentraciones altas a bajas (12.2 – 1.0 meq/100g) y clases texturales predominantemente Franco Arcillo arenoso y Franco Arenoso, con densidades aparentes de 1.29 a 1.48 g/cm³ (Villar *et al.* 2018).

3.1.6. Dinámica de la quina en el bosque

Según el trabajo realizado por Villar *et al.* (2018) en la parte Noreste de la Zona de Amortiguamiento, las familias más representativas del bosque son la Rubiaceae (34.3 %), Chloranthaceae (11.1%) y Lauraceae (17.4%); donde la especie con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) es la *Cinchona officinalis* con una 45.01 %, seguido de la *Nectandra sp.* 1 con un 18.04 % y la *Brunellia sp.* con un 11.93 %. La quina presenta la distribución diamétrica de “J” invertida, pudiendo ser expresada por el modelo N° de quina/ha = $\exp^{5.08144-(0.08812 \times \text{Marca de clase})}$ con un Coeficiente de correlación de 0.725. Está asociada a especies como el *Alnus acuminata* (Aliso), *Rubus spp.* (Zarza), *Pteridium arachnoideum* (Gara gara) y *Baccharis sp.* (Chilca); indicadoras de suelos con pH ácido y humedad. Pero la regeneración natural en el área de estudio está siendo alterada, lo cual se debe a factores antrópicos como la ganadería y la extracción de brinzales para su venta.

3.2. Materiales

3.2.1. Material biológico

Individuos de la especie de *Cinchona Officinalis* L. mayores de 10 cm de DAP, fustales y maduros, considerando que árboles menores de esa medida presenta subestimación de sus volúmenes cuando se ajusta modelos.

3.2.2. Material y equipo de campo

Material: Libreta de apuntes, tableros, formatos de campo, marcadores indelebles, capa de agua, bolsas ziploc, indumentaria de protección, agua y lápices.

Herramientas y equipos: Tijera telescópica, tijera de podar, machete, escalera, cinta métrica, wincha métrica, cuchilla, regla metálica, GPS, cámara digital y brújula, hipsómetro Suunto y forcípula.

3.2.3. Material y equipo de laboratorio

Material: Formatos de evaluación, lápices, regla metálica y vasos de precipitación.

Equipos e instrumentos: Balanza analítica y estufa.

3.2.4. Material de gabinete

Material: Lapiceros, papel bond A4.

Equipos: Computadora e impresora.

Software: Microsoft office 2016, InfoStat, Statistica 13 y ArcGis 10.4.1

3.3. Metodología

3.3.1. Trabajo de campo

a) Selección, marcación y georreferenciación de los individuos

En la presente investigación se tuvo en cuenta las consideraciones mencionadas en el marco teórico (Dendrometría 2.2.2); la identificación de los individuos fue hecha en transectos teniendo como DAP mínimo de 10 cm, pues las quinas ya presentan dimensiones para ser usadas y por ende cortadas. Cada árbol seleccionado fue marcado y georreferenciado con GPS, determinando sus coordenadas (UTM en el Datum Horizontal WGS 84).



Figura 14. Reconocimiento de la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba, C.P. de Paraguay.

b) Medición dasométrica de individuos

Usando forcípula se midió el DAP y el diámetro del tocón (dt) a 30 cm de la altura sobre el suelo de cada árbol en pie, realizándose dos mediciones en cada uno de estos diámetros de forma perpendicular y obteniendo su diámetro promedio; considerando lo mencionado por Soares *et al.* (2011) y Campos y Leite (2013) que en árboles con desvío de forma, se debe tomar más de un diámetro en posiciones perpendiculares en el fuste para reducir el error de sobrestimación del área transversal. Además, el espesor de la corteza fue medida donde los brazos de la forcípula hicieron contacto al medir el DAP, para lo cual se usó una cuchilla y regla metálica; las alturas fueron estimadas usando Hipsómetro Suunto y wincha métrica. El registro de toda la información se realizó en el Formato 1, detallado en el Anexo 3.1.

Para realizar un ajuste de modelos volumétricos es necesario determinar el volumen real de los individuos que fueron usados en la regresión, para lo cual los árboles son apeados o se usan instrumentos laser como el relascopio de Bitterlich o Field-map, obtenido diámetros a diferentes alturas y las alturas de estos y el volumen es calculado usando la fórmula de Smalian o Huber. En la presente investigación al contar solo con hipsómetro Suunto y forcípula, se escogió al azar una pre-muestra de árboles donde se estimó su factor de forma y se usó este valor en las estimaciones de los volúmenes de todos los árboles. Como se mencionará en los resultados, se identificaron dos clases diamétricas, para lo cual en campo se mesuraron de forma preliminar 10 individuos de quina por clase para determinar su factor forma. La cubicación se realizó midiendo los diámetros del fuste cada uno o dos metros y así como su espesor de corteza, siguiendo la misma metodología usada para medir el DAP y dt. El registro de las evaluaciones fue hecha usando el Formato 2 del Anexo 3.2.

La *Cinchona officinalis* L. tiene una ramificación simpodial y copa globosa (Figura 15); por lo cual, los datos anteriormente evaluados sólo sirvieron para estimar los volúmenes comerciales comprendidos en el fuste; pero como el principal valor comercial de esta especie es la corteza, se evaluó la existente en las ramas. El volumen de corteza comprendido en las ramas fue estimado, midiendo 3 o 4 ramas principales y secundarias más representativas, en cada una de ellas se midió los diámetros cada 1 o 2 metros desde la inserción hasta los 3 cm de diámetro, además se midió el espesor de corteza en cada diámetro. El volumen total de corteza fue estimado por una regla de tres simple en función a la muestra de ramas medidas y el total de estas en el árbol, utilizando el Formato 3 detallado en el Anexo 3.3.



Figura 15. Individuo de quina en el área de estudio.

c) Determinación de la relación volumen – masa

Considerando que la corteza se vende en peso se colectó muestras, se las trasladó al laboratorio en bolsas ziploc., para obtener su relación masa-volumen (m^3/Kg),

3.3.2. Trabajo de gabinete y laboratorio

La investigación fue realizada en las instalaciones del Programa Nacional de Desarrollo Forestal de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca del Instituto Nacional de Innovación Agraria.

a) Procesamiento de datos geográficos

Las coordenadas UTM obtenidas con el GPS de cada árbol fueron procesadas con el software ArcGis 10.4.1, elaborándose un plano de localización y ubicación.

b) Determinación del factor de forma de los individuos de la quina

Para calcular el factor de forma por clase diamétrica se utilizó la siguiente expresión de acuerdo a Campos y Leite (2013).

$$f = \frac{V_r}{V_c}$$

Donde:

V_r = Volumen real, suma de secciones del árbol (m^3) con y sin corteza;

V_c = Volumen cilíndrico, generado por el DAP (m^3) con y sin corteza.

El volumen de las secciones del árbol fue calculado usando la fórmula de Smalian, con una longitud de 1 o 2 metros.

$$V = \left[\frac{AB_D + AB_d}{2} \right] \cdot L$$

Donde:

V = Volumen de troza (m³)

AB_D = Área basal de diámetro mayor con y sin corteza (m²)

AB_d = Área basal de diámetro menor con y sin corteza (m²)

L = Longitud de troza (m)

Se seleccionó al azar 10 árboles como pre-muestreo para determinar el N° de árboles necesarios para obtener el factor forma y su valor; se usó la fórmula de muestreo para poblaciones infinitas, donde el valor de "t" fue determinado a un nivel de probabilidad de 95% y 9 grados de libertad (número de árboles evaluados en el pre-muestreo – 1) y el Error admisible considerado fue de 10% (Soares *et al.* 2011).

$$n = \frac{t^2 \cdot CV^2}{E\%^2}$$

n = Tamaño de la muestra

t = Valor estadístico tabulado, "t" de Student

CV = Coeficiente de Variación, %

E = Error admisible, %

Finalmente se usó el test de Student "t" para determinar la existencia de diferencia estadísticas significativa entre los factores de forma con y sin corteza a nivel de clases y entre estas, realizando comparaciones para muestras independientes dependientes y los tests de Shapiro-Wilk y F.

c) Estimación de los volúmenes de madera y corteza de la quina

Las estimaciones fueron hechas a nivel comercial, los datos colectados en campo y el factor de forma obtenido, se insertaron en una planilla digital creada en Microsoft Excel, donde se sistematizaron y procesaron para calcular las variables como Área basal (AB), Altura comercial (Hc), Volumen comercial con corteza (VCc/c), Volumen comercial sin corteza (VCs/c), entre otras; los cálculos volumétricos se realizaron por cada individuo con la ecuación tradicional por clase diamétrica.

$$VC = AB * HC * f$$

VC: Volumen comercial del individuo con o sin corteza (m³)

AB: área basal del individuo con y sin corteza (m²)

Hc: altura comercial del individuo (m)

f: factor mórfico del individuo en área de estudio con o sin corteza.

Usando los datos obtenidos y los Softwares Statistica y Microsoft Excel se realizó el ajuste de 5 modelos volumétricos para estimar los volúmenes comerciales de madera y corteza de árboles en pie de quina, Tabla 3.

Tabla 3. Modelos volumétricos.

Número	Modelo	Nombre
01	$\text{Ln}(VC) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(DAP) + \varepsilon$	Husch
02	$VC = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 \times Hc + \varepsilon$	Stepwise
03	$VC = \beta_0 + \beta_1 (DAP^2 \times Hc) + \varepsilon$	Spurr
04	$\text{Log}(VC) = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(DAP^2 \times Hc) + \varepsilon$	Spurr
05	$\text{Log}(VC) = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(DAP) + \beta_2 \text{Log}(Hc) + \varepsilon$	Schumacher e Hall

Fuente: Filho *et al.* (2014), Campos y Leite (2013).

Donde:

Ln = Logaritmo neperiano

VC = Volumen comercial del individuo con o sin corteza (m^3)

DAP = Diámetro a 1.3 m de la altura del suelo con o sin corteza (cm)

Hc : Altura comercial del individuo (m)

β_0, β_1 y β_2 = Parámetros del modelo

ε = Error estándar residual.

De igual forma, usando la base de datos obtenidos de campo y los Softwares Statistica y Microsoft Excel se realizó el ajuste de 5 modelos para estimar el volumen de corteza en las ramas de la quina en pie, Tabla 4.

Tabla 4. Modelos para estimar el volumen de corteza en las ramas (VCc/r).

Número	Modelo
01	$\text{VCc/r} = \beta_0 + \beta_1 (\text{DAPc/c})$
02	$\text{VCc/r} = \beta_0 + \beta_1 (\text{DAPc/c}^2)$
03	$\text{Ln}(\text{VCc/r}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{DAPc/c})$
04	$\text{VCc/r} = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP c/c} + \beta_2 \text{DAPc/c}^2$
05	$\text{Ln}(\text{VCc/r}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{DAP c/c}) + \beta_2 1/\text{DAP c/c}$

Fuente: Picard *et al.* (2012).

Donde:

Ln =logaritmo neperiano

VCc/r = Volumen comercial de corteza en las ramas (m^3)

DAPc/c = Diámetro a 1.3 m de la altura del suelo con o sin corteza (cm)

β_0, β_1 y β_2 = Parámetros del modelo

ε = Error estándar residual.

Una vez ajustados los modelos como menciona Soares *et al.* (2011), se realizó el análisis de varianza de la regresión, determinando su existencia estadística mediante las pruebas de “F” y “t”, realizándose a una significancia de $\alpha \leq 0.05$ y un 95 % de confianza. La elección del mejor ajuste se determinó a través del Coeficiente de determinación (R^2), Coeficiente de correlación ($R_{\hat{Y}Y}$), Error padrón residual (S_{yx}) y gráficas de residuos (Campos y Leite 2013). La validación final de los modelos que estiman mejor los volúmenes (VCc/c, VCs/c, VCc, VCc/r) se realizó comparando los volúmenes estimados con reales obtenidos en la cubicación para determinar el factor forma.

d) Estimación de variables dasométricas en función del diámetro del tocón

Todos los cálculos se realizaron usando el diámetro del tocón con corteza (dt), para lo cual se evaluó su grado de correlación con el DAP, la altura y volúmenes comerciales (madera y corteza del fuste y corteza de ramas); determinando las variables independientes y dependientes para hacer las estimaciones. En el caso que el DAP presente más alta correlación, se estimó en función de dt con los siguientes modelos.

Tabla 5. Modelos para estimar el DAP en función del diámetro del tocón (dt).

Número	Modelo
01	$DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 dt + \varepsilon$
02	$DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{dt^2} + \varepsilon$
03	$\ln DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 \ln dt + \varepsilon$
04	$\ln DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dt} + \varepsilon$
05	$DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 dt + \beta_2 dt^2 + \varepsilon$

Fuente: Picard *et al.* (2012).

Donde:

\ln =Logaritmo neperiano

DAPc/c =Diámetro a la altura del pecho con corteza (cm)

dt =Diámetro a 30 cm de la altura del suelo con corteza (cm)

β_0 , β_1 y β_2 = Parámetros del modelo

ε = Error estándar residual.

Además, si otra variable fuera la altura comercial se estimó usando el DAP con los siguientes modelos.

Tabla 6. Modelos para estimar la altura comercial (Hc).

Número	Modelo
01	$Hc = \beta_0 + \beta_1 \text{DAPc}/c + \varepsilon$
02	$Hc = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{\text{DAPc}/c^2} + \varepsilon$
03	$\ln Hc = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{DAP} + \varepsilon$
04	$\ln Hc = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\text{DAPc}/c} + \varepsilon$
05	$Hc = \beta_0 + \beta_1 \text{DAPc}/c + \beta_2 \text{DAPc}/c^2 + \varepsilon$

Fuente: Soares *et al.* (2011).

Donde:

\ln = Logaritmo neperiano

DAPc/c =Diámetro a la altura del pecho con corteza (cm)

Hc: Altura comercial del individuo (m)

β_0 , β_1 y β_2 = Parámetros del modelo

ε = Error estándar residual.

Para estimar el Volumen comercial sin corteza (VCs/c), el espesor de corteza fue calculado usando los modelos de la Tabla 8. Finalmente, los volúmenes de corteza en las ramas fueron estimados usando los modelos de la Tabla 4.

Tabla 7. Modelos para estimar el Espesor de corteza (Ec).

Número	Modelo
01	$E_c = \beta_0 + \beta_1 \text{DAPc/c} + \varepsilon$
02	$E_c = \frac{\text{DAPc/c}}{\beta_0 + \beta_1 \text{DAPc/c}} + \varepsilon$
03	$\text{Ln } E_c = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln DAPc/c} + \varepsilon$

Fuente: Caillez (1980).

Donde:

Ln = Logaritmo neperiano

DAPc/c = Diámetro a la altura del pecho con corteza (cm)

Ec = Espesor promedio de corteza (cm)

β_0, β_1 y β_2 = Parámetros del modelo

ε = Error estándar residual.

La verificación del error de estimación de los volúmenes comerciales se determinó usando los datos de los árboles en pie y los estimados a partir del diámetro del tocón, a través del Coeficiente de determinación (R^2), Coeficiente de correlación ($R_{\hat{Y}Y}$), Error padrón residual (S_{yx}) y gráficas de residuos. La validación final de los modelos que estiman mejor los volúmenes (VCc/c, VCs/c, VCc, VCc/r) se realizó comparando los volúmenes estimados con reales obtenidos en la cubicación para determinar el factor forma.

e) **Elaboración de tablas de cubicación**

Al determinar los mejores modelos que estiman los volúmenes comerciales y sus parámetros para los árboles de la quina, se elaboraron tablas de cubicación para los individuos en pie y las variables dasométricas mediante el diámetro del tocón. Estas herramientas tienen como objetivo el fácil uso en campo por profesionales a fines a las carreras de las ciencias naturales.

f) **Determinación del valor comercial de la quina**

Usando los modelos que estimaron mejor los volúmenes comerciales y la distribución diamétrica obtenida por Villar *et al.* (2018) de la quina en el bosque, se estimó los volúmenes comerciales de madera y corteza por clase.

Las muestras de corteza fueron picadas con tijeras de podar y usando vasos de precipitación se determinó la relación m³/Kg húmedo y seco; para el secado de la corteza se usó una estufa a 103°C, hasta tener peso constante. Husch *et al.* (2003) indica que siempre hay necesidad de conocer precisamente el volumen de corteza en el caso que esta sea utilizada, por lo cual el porcentaje de corteza fue calculada con la siguiente formula.

$$C (\%) = \frac{V_{c/c} - V_{s/c}}{V_{c/c}} \times 100$$

Donde:

C (%) = Porcentaje de corteza

V_{c/c} = Volumen con corteza (m³)

V_{c/s} = Volumen sin corteza (m³)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estimación de los volúmenes de madera y corteza de árboles en pie de la quina

Al realizar un ajuste de prueba con los modelos de la Tabla 4 y los volúmenes calculados usando factor de forma de 0.65 recomendado por SERFOR mediante la Resolución de Dirección Ejecutiva N°046, se obtuvo que sólo el modelo de Husch pudo ser ajustado, pero la existencia de la regresión no pudo ser validada estadísticamente. Luego al ajustar la ecuación $Vc = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 Hc + \varepsilon$, dio buenos indicadores estadísticos como un coeficiente de correlación de 0.94, sin embargo al evaluar la distribución de residuos los volúmenes comerciales de los árboles con DAPs cercanos a 10 cm presentaron gran subestimación de sus volúmenes, llegando hasta un 564%; y conforme los diámetros van siendo más próximos a 20 cm, el error va disminuyendo hasta estabilizarse, como se muestra en la Figura 16, indicándonos que los volúmenes de los árboles evaluados entre los 10 a 20 cm DAP presentan una determinada tendencia y los comprendidos entre 20 y 50 presentaban otra tendencia.

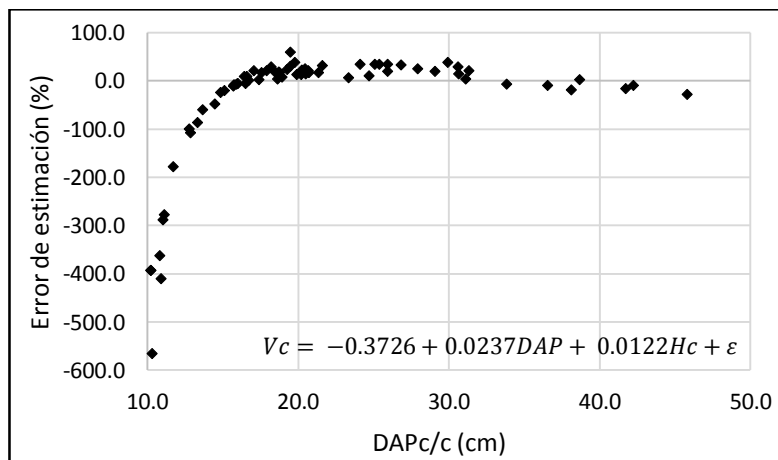


Figura 16. Gráfica de distribución de residuos usando un sólo factor de forma en el ajuste para estimar el volumen comercial.

Lo mencionado en el párrafo anterior se puede comprobar pues al diagramar el DAP vs la Hc y Ht, se puede apreciar que estas relaciones no son constantes (líneas punteadas), pues hasta los 20 cm de DAP existe una relación más fuerte entre el crecimiento en DAP y altura y después disminuye, siendo más notorio en la altura comercial, Figura 17 y 18. Daniel *et al.* 1982, indican que el crecimiento en altura de cualquier organismo como es un árbol, se adecua a una curva sigmoide común, en que en los primeros años es lento, después es exponencial hasta llegar a un punto de inflexión y estabilización, por lo cual la relación existente entre las dimensiones de los árboles está en constante cambio. El crecimiento de la altura total de la *Cinchona officinalis* disminuye cuando los individuos obtienen aproximadamente 20 DAP y empiezan a generar ramificaciones, generado que la altura comercial sea casi constante y el grado de relación entre las variables cambie.

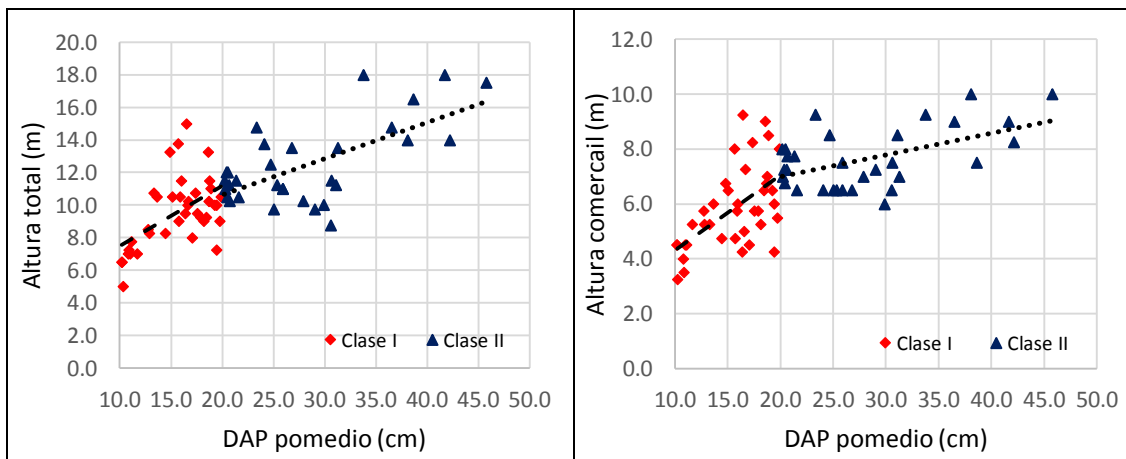


Figura 17 y 18. Gráficas de relación de alturas y diámetro de la Clase I y II de árboles de quina.

Teniendo en cuenta lo mencionado se estableció dos clases diamétricas para los individuos de la quina, la Clase I va de 10 a 20 cm, conformada por 38 individuos y clase II de 20 a 50 cm, conformada por 31 individuos.

En la Tabla 8 se tiene la estadística descriptiva de los factores de forma (f) de los árboles evaluados por clase (con y sin corteza), evidenciándose que los factores obtenidos son homogéneos, pues el Coeficientes de variación (CV) más alto fue de 12.84%, y del mismo modo los rangos (Max-Min) tienen valores casi similares, 0.23. En la Clase I el f fue casi similar en árboles con y sin corteza, 0.73 y 0.70 respectivamente; y de la misma manera en la clase II existió poca diferencia entre estos valores de forma, 0.61 y 0.60. Los datos obtenidos de las evaluaciones para determinar el factor de forma están en el Anexo 4.1.

Tabla 8. Estadística descriptiva de los valores de factor de forma (f).

Variables estadísticas	Clase I DAP 10 - 20 cm		Clase II DAP 20 - 50 cm	
	Con corteza	Sin corteza	Con corteza	Sin corteza
	Media	0.73	0.70	0.61
Máximo	0.81	0.81	0.74	0.72
Mínimo	0.58	0.56	0.50	0.52
Rango	0.23	0.25	0.24	0.20
Des. Estand.	0.08	0.09	0.07	0.06
CV %	10.37	12.84	11.03	10.47

Tabla 9. Determinación del número de árboles para el factor de forma (f).

Variables estadísticas	Clase I DAP 10 - 20 cm		Clase II DAP 20 - 50 cm		
	Con corteza	Sin corteza	Con corteza	Sin corteza	
	t	2.262	2.262	2.262	2.262
Cálculo de muestra	CV %	10.39	12.84	11.03	10.47
	Error (E%)	10.00	10.00	10.00	10.00
	N° individuos	6	8	6	6
	N° individuos/clase	7		6	

En la Tabla 9 se aprecia los valores de las variables estadísticas usadas para determinar el número de árboles necesarios en la obtención de una muestra representativa de una población infinita a un 95 % de probabilidad. Los resultados

nos indican que sólo era necesario evaluar 7 árboles por clase diamétrica, pero para tener datos más representativos de la población en los siguientes análisis estadísticos se usó los 20 árboles evaluados.

Seguidamente se muestra los resultados del análisis estadístico, Test de Student “t”, para determinar si existe diferencia significativa del factor de forma con y sin corteza al nivel de clases y entre cada una de ellas.

a) Análisis del factor de forma de los árboles de la clase I (DAP 10 - 20 cm)

Teniendo en cuenta que se comparó el factor de forma con y sin corteza del mismo individuo, se realizó el test de Student para dos muestras dependientes. Los datos presentan una distribución normal, pues los valores obtenidos mediante el test de Shapiro-Wilk para los factores de forma con y sin corteza son mayores que 0.05 (0.231 y 0.318) como se muestra en la Tabla 10. Además, basándose en el test de Student se determinó que no existe diferencia estadística significativa entre las medias del factor de forma con y sin corteza en la Clase I, pues el p-valor es mayor que 0.05, Tabla 11 y Figura 19.

Tabla 10. Test de normalidad del factor de forma de individuos en la Clase I.

Factor de forma	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Con corteza	0.902	10	0.231
Sin corteza	0.915	10	0.318

Tabla 11. Test de Student para el factor de forma de árboles en la Clase I.

Factor de forma	Diferencias emparejadas				t	gl	Sig. (bilatera I) p-valor
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
		Inferior	Superior				
con - sin	0.02700	0.00153	0.05247	2.398	9	0.051	

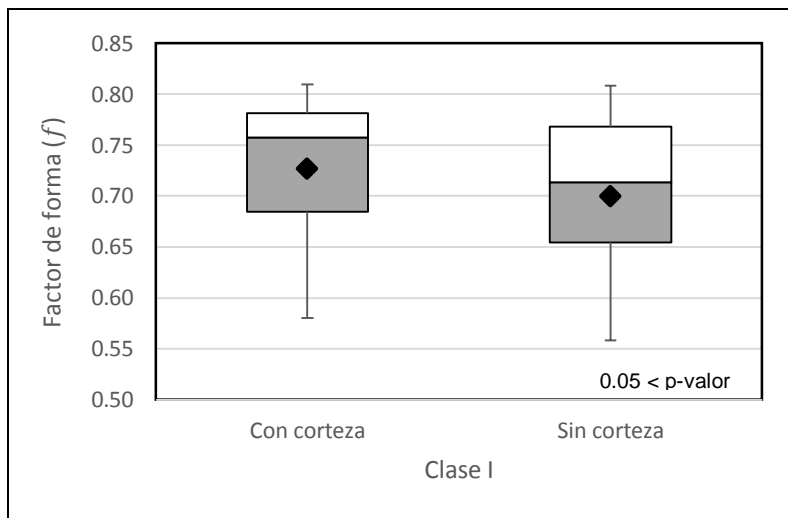


Figura 19. Diagramas de caja y bigote de factores de forma – Clase I.

b) Factor de forma de árboles de la clase II (DAP 20 - 50 cm)

De igual forma se realizó el test de Student para dos muestras dependientes. Los datos presentan una distribución normal y no existe diferencia estadística significativa entre las medias del factor de forma con y sin corteza en la Clase II, Tabla 12 y 13 y Figura 20.

Tabla 12. Test de normalidad del factor de forma de árboles en la Clase II.

Factor de forma	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Con corteza	0.973	10	0.917
Sin corteza	0.961	10	0.800

Tabla 13. Test de Student para el factor de forma de árboles en la Clase II.

Factor de forma	Diferencias emparejadas			t	gl	Sig. (bilatera I) p-valor
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior	Superior			
con - sin	0.02283	0.00733	0.02533	1.247	9	0.244

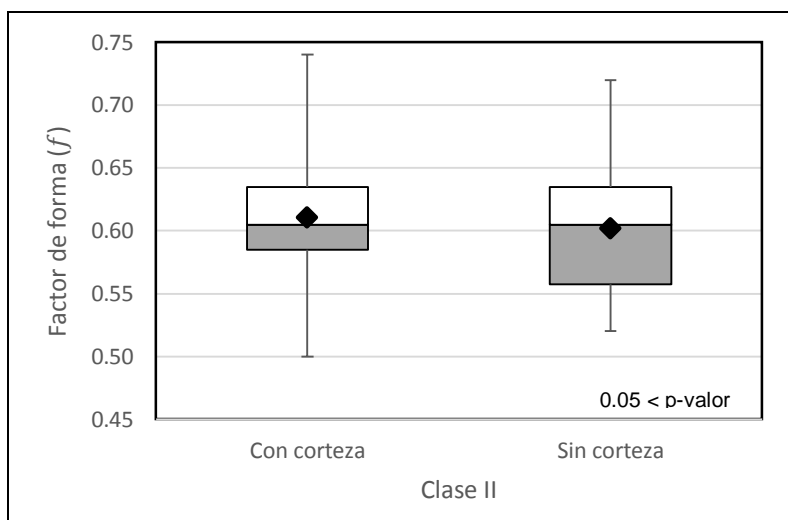


Figura 20. Diagramas de caja y bigote de factores de forma – Clase II.

c) Factor de forma de árboles a nivel de clases

Teniendo en cuenta que se comparará el factor de forma al nivel de Clases (I y II), se realizó el test de Student para dos muestras independientes. Los datos presentan una distribución normal (Tabla 14); además, basándose en el test de

Levene se determinó las varianzas de los factores en las clases son iguales, pues el p-valor es de 0.100, siendo mayor que 0.05 (Tabla 15). Finalmente, basándose en el test de Student se determinó que existe diferencia altamente significativa entre las medias del factor de forma a nivel de clases, Tabla 15 y Figura 21 y que el factor forma disminuye con el aumento del DAP como se observa en la Figura 22.

Tabla 14. Test de normalidad del factor de forma de árboles a nivel de clases.

Factor de forma	Media	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Clase I	0.71	0.897	20	0.083
Clase II	0.61	0.968	20	0.711

Tabla 15. Test de Student para el factor de forma de árboles a nivel de clases.

	Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral) p-valor	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
							Inferior	Superior	
Se asumen varianzas iguales	2.836	0.100	4.570	38	0.000	0.10600	0.05905	0.15295	
F No se asumen varianzas iguales			4.570	35.829	0.000	0.10600	0.05895	0.15305	

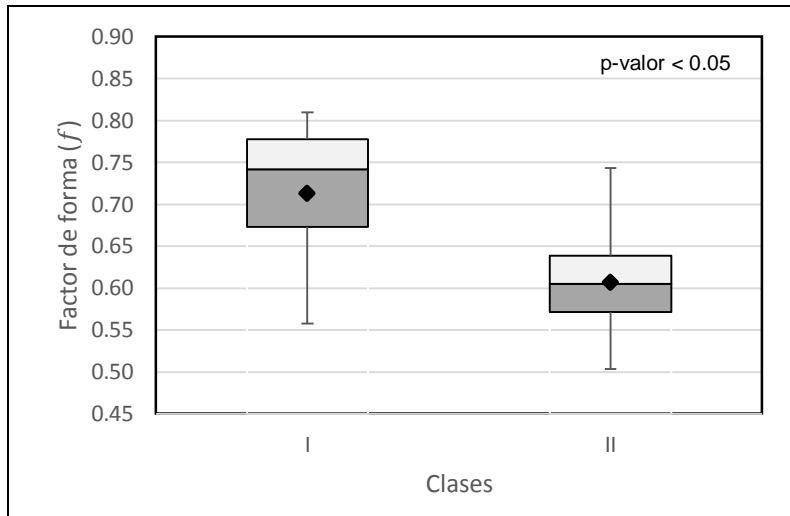


Figura 21. Diagramas de caja y bigote de factores de forma a nivel de Clase I y II.

Teniendo en cuenta el análisis estadístico del factor de forma realizado anteriormente, se consideró el promedio a nivel de clase para los cálculos de los volúmenes comerciales de la quina, siendo de 0.71 y 0.61 para la clase I y II, respectivamente. De forma general la especie *Cinchona officinalis* tiene un factor de forma promedio de 0.66.

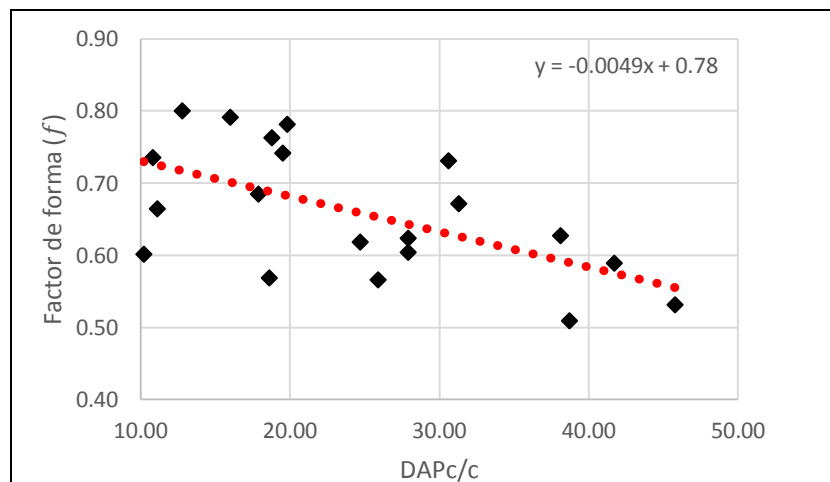


Figura 22. Relación factor forma y DAPc/c.

Los resultados a nivel de las clases son similares a los obtenidos por Colpini *et al.* (2009), en un bosque natural donde los factores medios con y sin corteza fueron de 0.7424 e 0.7297, respectivamente; pero no fueron igual a los obtenidos por Ojeda (2001), que encontró diferencia significativa. Al evaluar el factor de forma a nivel de clases se observa que la forma de la quina disminuyó con el aumento de DAP y existió diferencia altamente significativa entre clases (Tabla 8, 14 y 15). Disminución que fue registrada igualmente por Ojeda (2001), Escobar (2018), Ruiz (2007), Drescher *et al.* (2001) al estudiar el factor de forma de otras especies forestales. Lo cual se complementa con lo mencionado anteriormente e indica que hasta determinada edad el incremento en altura de los árboles es mayor que en el diámetro, generando fustes con forma cilíndricos; pero en determinado punto este incremento en altura disminuye y el árbol empieza a obtener forma más cónica.

En la Tabla 16 se observa la estadística descriptiva de las variables dasométricas de los árboles evaluados en la Clase I, donde un árbol promedio tuvo un DAP de 15.6 cm, con espesor de corteza de 1.2 cm, altura comercial de 5.84 m y total de 9.53 m; además el volumen comercial del fuste con y sin corteza y de sólo corteza fue de 0.0865, 0.0630 y 0.0234 m³, respectivamente, representado un 28.43 % la corteza y el volumen de corteza en las ramas fue de 0.0123 m³. De forma general los datos fueron heterogéneos, pues los Coeficientes de variación (CV) tuvieron valores superiores al 19.1% y llegaron a un 89.9% (Anexo 3.2 y 4.2).

En la Tabla 17 se observa la estadística descriptiva de las variables dasométricas de la Clase II, donde un árbol promedio tuvo un DAP de 28.2 cm, con espesor de corteza de 1.9 cm, altura comercial de 7.64 m y total de 12.44 m; además el volumen comercial del fuste con y sin corteza y de sólo corteza fue de 0.3226, 0.2437 y 0.0799 m³, respectivamente, representado un 24.86 % la corteza y el volumen de corteza en las ramas de 0.0825 m³. Los datos fueron heterogéneos con CV entre 20.1 y 91.2 %, estado los porcentajes más altos en los volúmenes comerciales, reflejando la alta variabilidad existente el bosque.

Tabla 16. Estadística descriptiva de las variables dasométrias de los árboles de quina en la clase I.

Variables estadísticas	DAPc/c (cm)	E (cm)	AB (m ²)		dt	Altura (m)		VC fuste (m ³)			Corteza %	VCc/r (m ³)
			con corteza	Sin corteza		Comercial (Hc)	Total (Ht)	con corteza	Sin corteza	Corteza		
Media	15.6	1.2	0.0198	0.0144	18.9	5.84	9.53	0.0865	0.0630	0.0234	28.43	0.0123
Máximo	19.9	1.7	0.0311	0.0241	27.1	9.25	15.00	0.1767	0.1366	0.0443	40.46	0.0361
Mínimo	10.2	0.7	0.0082	0.0052	10.5	3.25	5.00	0.0192	0.0129	0.0063	20.25	0.0023
Rango	9.7	1.0	0.0229	0.0189	16.6	6.0	10.0	0.1574	0.1237	0.0381	20.21	0.0338
Des. Estand.	3.1	0.2	0.0074	0.0058	4.0	1.51	2.16	0.0452	0.0348	0.0110	4.72	0.0111
CV %	20.2	19.1	37.4	40.6	21.0	25.9	22.7	52.3	55.1	47.0	16.59	89.9

Donde, **DAPc/c**: diámetro promedio a la altura del pecho con corteza; **E**: Espesor promedio de corteza; **AB**: Área Basal; **dt**: Diámetro del tocón a 30 cm de la altura del suelo con corteza; **VC**: Volumen comercial; **VCc/r**: Volumen comercial de corteza en las ramas; **f**: Factor de forma de 0.71.

Tabla 17. Estadística descriptiva de las variables dasométrias de los árboles de quina en la clase II.

Variables estadísticas	DAPc/c (cm)	E (cm)	AB (m ²)		dt	Altura (m)		VC fuste (m ³)			Corteza %	VCc/r (m ³)
			con corteza	con corteza		Comercial (Hc)	Total (Ht)	con corteza	Sin corteza	corteza		
Media	28.2	1.9	0.0666	0.0502	33.3	7.64	12.44	0.3236	0.2437	0.0799	24.86	0.0825
Máximo	45.8	3.3	0.1647	0.1269	51.6	10.00	18.00	1.0050	0.7742	0.2307	31.86	0.2267
Mínimo	20.2	1.2	0.0320	0.0238	20.6	6.00	8.75	0.1352	0.0979	0.0314	15.92	0.0025
Rango	25.6	2.2	0.1327	0.1031	31.0	4.0	9.3	0.8697	0.6763	0.1993	15.94	0.2242
Des. Estand.	7.4	0.5	0.0362	0.0275	8.8	1.10	2.50	0.2199	0.1664	0.0559	3.37	0.0752
CV %	26.1	29.2	54.3	54.9	26.3	14.4	20.1	68.0	68.3	69.9	13.57	91.2

Donde, **DAPc/c**: diámetro promedio a la altura del pecho con corteza; **E**: Espesor promedio de corteza; **AB**: Área Basal; **dt**: Diámetro del tocón a 30 cm de la altura del suelo con corteza; **VC**: Volumen comercial; **VCc/r**: Volumen comercial de corteza en las ramas; **f**: Factor de forma de 0.71.

Los árboles de quina comprendidos en la clase I tienen 28.43 % de corteza y los de la clase II tienen 24.86 %, siendo valores cercanos a los obtenidos por Azevêdo *et al.* (2014) en *Mimosa tenuiflora*, determinando que el porcentaje de corteza es de 29.34 % del volumen total, cabe resaltar que la corteza de esta especie es usada para curar quemaduras y regenerar la piel (Camargo 2000), pero no a los obtenidos por Ovalle (2008) que determinó para *Dipteryx micrantha* un porcentaje de corteza de 3.40% con respecto al volumen real. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Ladrach (2010), que el volumen de corteza varía entre especies y también según las edades de los árboles de la misma especie. Ahí viene la importancia de determinar este valor, aun cuando el uso del árbol sea maderable, al realizar los cálculos incluido el volumen de corteza se está sobreestimado la cantidad de madera y más aún que el principal producto de la especie forestal sea la corteza, es necesario conocer precisamente este volumen (Husch *et al.* 2003).

a) Volúmenes comerciales con corteza del fuste (VCc/c)

En la Tabla 18 se aprecia el ANOVA de los ajustes realizados para estimar el volumen comercial con corteza (volumen de madera y corteza comprendido en el fuste), donde se observa que todas las regresiones existieron pues los F calculados son muy superiores a los tabulados (Modelo 1, $1491.16 > 4$), indicando que por lo menos uno de los parámetros de los modelos fue estadísticamente diferente de cero. Además, al analizar los resultados del test de Student de igual forma en todas las regresiones los “t” calculados fueron mayores que los tabulados (Modelo 1 β_0 , $49.46 > 2$), señalando que todos los parámetros fueron estadísticamente diferentes de cero y ayudaron a los ajustes.

Producto de los ajustes se obtuvieron los parámetros de todas las regresiones, usando estos valores en cada uno de los modelos se pudo realizar las estimaciones volumétricas, Tabla 19.

Tabla 18. Análisis ANOVA de las regresiones de volumen comercial con corteza del fuste (VCc/c).

N°	Modelos	Grados de libertad			Tabulado		Calculado			
		Regresión	Residuos	Total	"F"	"t"	"F"	β_0	β_1	β_2
1	$\text{Ln}(\text{VCc}/c) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{DAPc}/c)$	1	67	68	4	2	1491.16	-49.46	38.62	-
2	$\text{VCc}/c = \beta_0 + \beta_1 \text{DAPc}/c^2 + \beta_2 \text{DAPc}/c^2 \times \text{Hc}$	2	66	68	3.15	2	26763.51	7.71	-2.37	44.75
3	$\text{VCc}/c = \beta_0 + \beta_1 (\text{DAPc}/c^2 \times \text{Hc})$	1	67	68	3.15	2	50086.29	8.32	223.80	-
4	$\text{Log}(\text{VCc}/c) = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(\text{DAPc}/c^2 \times \text{Hc})$	1	67	68	3.15	2	22690.25	-190.78	150.63	-
5	$\text{Log}(\text{VCc}/c) = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(\text{DAPc}/c) + \beta_2 \text{Log}(\text{Hc})$	2	66	68	3.15	2	11787.54	-194.04	82.67	30.83

* El "F" y "t" Tabulado fueron obtenidos a los 60 Grados de libertad de residuos.

Tabla 19. Valores de los parámetros de los modelos para volumen comercial con corteza del fuste (VCc/c).

Parámetro	Modelos				
	1	2	3	4	5
β_0	-8.991897	0.012556	0.009806	-4.071232	-4.074253
β_1	2.332390	-0.000025	0.000047	0.937704	1.840094
β_2	-	0.000050	-	-	0.998038

En el Tabla 20 se aprecia los indicadores estadísticos para los modelos ajustados para estimar el volumen comercial con corteza, donde se puede observar que todos tuvieron ajustes excelentes con coeficientes de correlación cercanos a 1; de igual manera los errores padrones residuales fueron casi cercanos a 0.

Tabla 20. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de volumen comercial con corteza (VCc/c).

Indicador	Modelos				
	1	2	3	4	5
Coefficiente de correlación ($R_{Y\hat{Y}}$)	0.978	0.999	0.999	0.999	0.999
Coefficiente de determinación (R^2)	0.957	0.999	0.999	0.997	0.997
Error padrón residual ($S_{y\hat{x}}$)	0.034	0.007	0.007	0.010	0.011

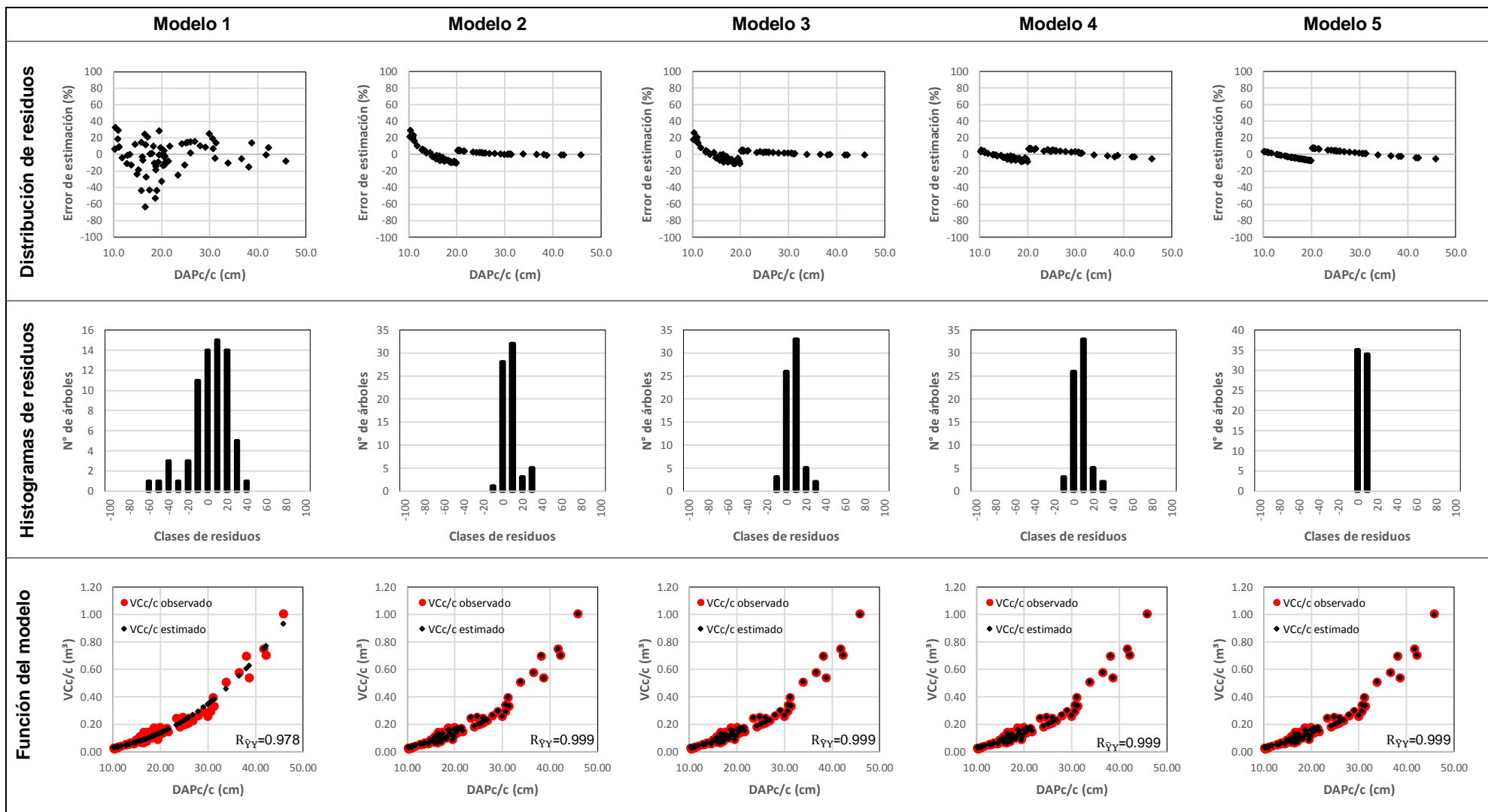


Figura 23. Gráficos del grado de ajuste de los modelos para volumen comercial con corteza del fuste (VCc/c).

En la Figura 23 se tienen los gráficos usados para determinar el grado de ajuste de los modelos, analizando la distribución de residuos se observa que el modelo 1 presentó mayor subestimación de los volúmenes comprendidos entre los 10 y 20 cm de DAP, llegando aproximadamente a un error de estimación del 60 %; caso contrario se observó en el modelo 5, donde la distribución de residuos fue homogénea a lo largo de todos los individuos, indicado una homogeneidad de varianza. Al evaluar el histograma de residuos, el modelo 5 tuvo mejor distribución residual (normalidad), pues presenta un mayor número de árboles en la clase de residuo 0; y en su gráfica de función sus valores observados y estimados estuvieron igualmente distribuidos. Por lo tanto, el modelo Schumacher e Hall estimó mejor el volumen comercial con corteza de los árboles de quina, siendo representado por la función $\text{Log}(VCc/c) = -4.074253 + 1.840094 \text{Log}(DAPc/c) + 0.998038 \text{Log}(Hc) + \varepsilon$, con un coeficiente de determinación de 0.999, indicando que el 99.9 % de la variación del volumen con corteza del fuste (m^3) fue explicado por el DAP con corteza y la altura comercial.

b) Volúmenes comerciales sin corteza del fuste (VCs/c)

En la Tabla 21 se aprecia el ANOVA de los ajustes realizados para estimar el volumen comercial sin corteza (volumen de solo madera comprendida en el fuste), donde se observa que en todas las regresiones existieron pues los F calculados son muy superiores a los tabulados, indicando que por lo menos uno de los parámetros de los modelos fue estadísticamente diferente de cero. Además, al analizar los resultados del test de Student de igual forma en todas las regresiones los “t” calculados fueron mayores que los tabulados, señalando que todos los parámetros fueron estadísticamente diferentes de cero y ayudaron a los ajustes.

Producto de los ajustes se obtuvieron los valores de los parámetros de todas las regresiones, usando estos se pueden realizar las estimaciones volumétricas, Tabla 22.

Tabla 21. Análisis ANOVA de las regresiones de volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c).

N°	Modelos	Grados de libertad			Tabulado		Calculado			
		Regresión	Residuos	Total	"F"	"t"	"F"	β_0	β_1	β_2
1	$\text{Ln}(Vs/c) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(DAPs/c)$	1	67	68	4	2	1654.09	-54.63	40.67	-
2	$Vs/c = \beta_0 + \beta_1 DAPs/c^2 + \beta_2 DAPs/c^2 \times Hc$	2	66	68	3.15	2	27106.86	7.47	-2.16	44.86
3	$Vc = \beta_0 + \beta_1 (DAPs/c^2 \times Hc)$	1	67	68	3.15	2	51409.19	8.09	226.74	-
4	$\text{Log}(Vs/c) = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(DAPs/c^2 \times Hc)$	1	67	68	3.15	2	24310.94	-205.77	155.92	-
5	$\text{Log}(Vs/c) = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(DAPs/c) + \beta_2 \text{Log}(Hc)$	2	66	68	3.15	2	12620.59	-205.88	85.05	30.32

* El "F" y "t" Tabulado fueron obtenidos a los 60 Grados de libertad de residuos.

Tabla 22. Valores de los parámetros de los modelos para volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c).

Parámetro	Modelos				
	1	2	3	4	5
β_0	-8.917388	0.008867	0.007090	-4.087883	-4.095310
β_1	2.324514	-0.000022	0.000047	0.940198	1.846095
β_2	-	0.000049	-	-	1.001462

En la Tabla 23 se aprecia los indicadores estadísticos para los modelos ajustados para estimar el volumen comercial sin corteza, donde se puede apreciar que todos tuvieron ajustes excelentes con $R_{\hat{Y}Y}$ cercanos a 1 y S_{yx} muy cercanos a 0.

Tabla 23. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c).

Indicador	Modelos				
	1	2	3	4	5
Coefficiente de correlación ($R_{\hat{Y}Y}$)	0.980	0.999	0.999	0.999	0.999
Coefficiente de determinación (R^2)	0.961	0.999	0.999	0.997	0.997
Error padrón residual (S_{yx})	0.026	0.005	0.005	0.008	0.008

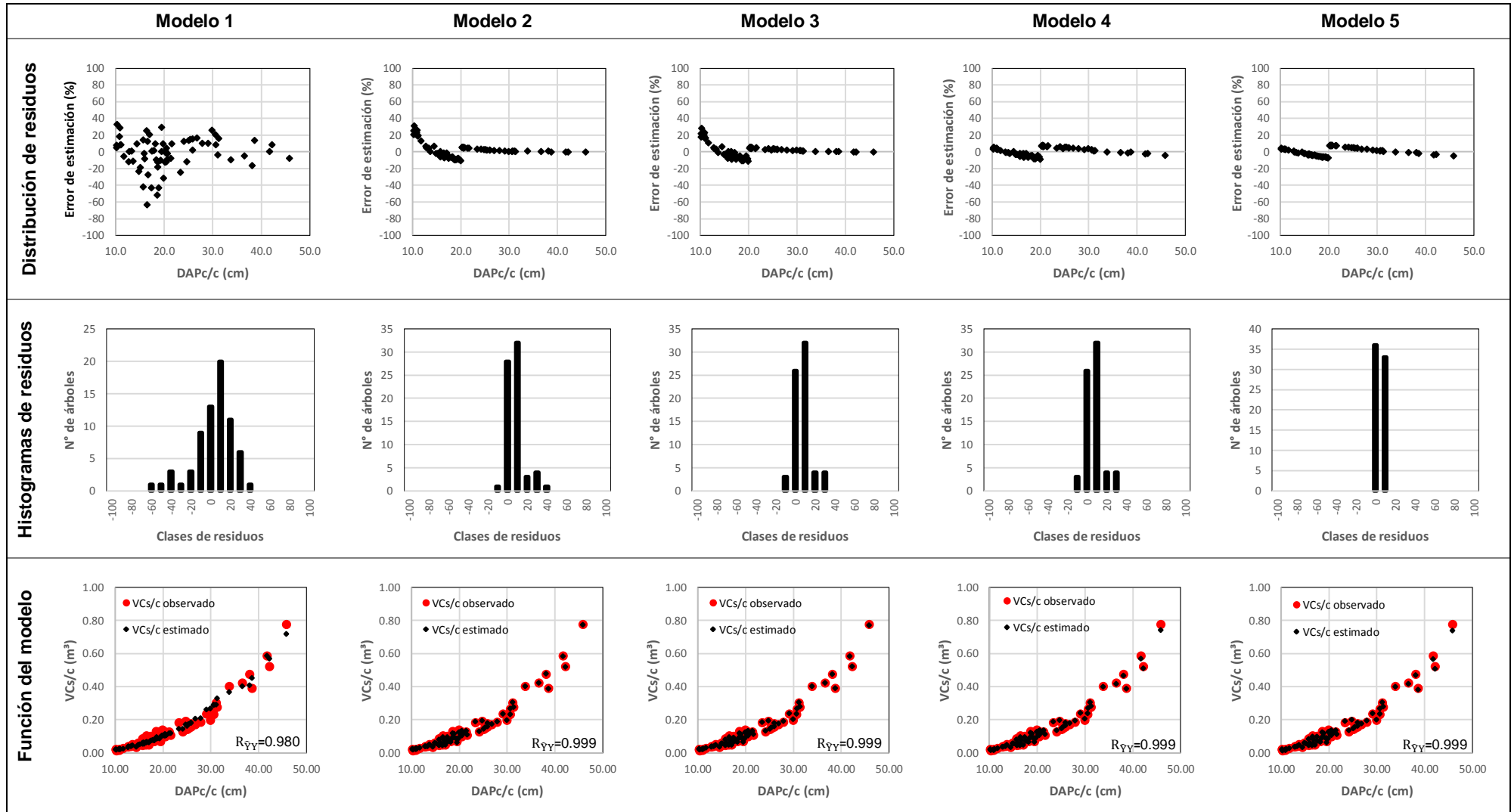


Figura 24. Gráficos del grado de ajuste de los modelos para volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c).

El modelo Schumacher e Hall estimó mejor el volumen comercial sin corteza de los árboles de quina (VCs/c); pues la distribución de sus residuos fue homogénea de forma constante ($\pm 7\%$), además al evaluar su histograma de residuos, presentó un mayor número de árboles en la clase de residuo 0 (normalidad) y en su gráfica de función los valores observados y estimados estuvieron igualmente distribuidos; siendo estos resultados similares a los obtenidos con el volumen comercial con corteza (VCc/c), Figura 24. El modelo fue representado por la función $\text{Log}(\text{VCs}/c) = -4.095310 + 1.846095 \text{Log}(\text{DAPs}/c) + 1.001462 \text{Log}(\text{Hc}) + \varepsilon.$, con un coeficiente de determinación de 0.999, indicando que el 99.9 % de la variación del volumen sin corteza del fuste (m^3) fue explicado por el DAP sin corteza y la altura comercial.

c) Volumen comercial de corteza (VCc/r) en las ramas

Todas las regresiones ajustadas para estimar el Volumen de corteza en las ramas existieron, pero los modelos 2 y 4 fueron descartados pues sus “t” calculados tuvieron menores valores que los tabulados, Tabla 24. Los parámetros obtenidos en los ajustes se muestran en la Tabla 25.

Tabla 24. Análisis ANOVA de las regresiones de volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).

N°	Modelos	Grados de libertad			Tabulado		Calculado			
		Regresión	Residuos	Total	“F”	“t”	“F”	β_0	β_1	β_2
1	$\text{VCc}/r = \beta_0 + \beta_1 (\text{DAPc}/c)$	1	18	19	4.41	2.10	33.13	-3.44	5.76	-
2	$\text{VCc}/r = \beta_0 + \beta_1 (\text{DAPc}/c^2)$	1	18	19	4.41	2.10	41.44	-1.72	6.44	-
3	$\text{Ln}(\text{VCc}/r) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{DAPc}/c)$	1	18	19	4.41	2.10	37.03	-8.28	6.09	-
4	$\text{VCc}/r = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP } c/c + \beta_2 \text{DAPc}/c^2$	2	17	19	3.59	2.11	20.84	0.50	-0.88	1.91
5	$\text{Ln}(\text{VCc}/r) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{DAP } c/c) + \beta_2 1/\text{DAP } c/c$	2	17	19	3.59	2.11	18.75	-2.48	2.37	0.91

* El “F” y “t” Tabulado fueron obtenidos a los 19 Grados de libertad de residuos.

Tabla 25. Valores de los parámetros de los modelos de volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).

Parámetro	Modelos				
	1	2	3	4	5
β_0	-0.094484	-0.025962	-13.963285	0.036944	-21.802115
β_1	0.005596	0.000101	3.169212	-0.004858	5.049605
β_2				0.000184	41.571280

Tabla 26. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).

Indicador	Modelos				
	1	2	3	4	5
Coefficiente de correlación (R_{YY})	0.805	0.835	0.820	0.843	0.829
Coefficiente de determinación (R^2)	0.648	0.697	0.673	0.710	0.688
Error padrón residual (S_{yx})	0.042	0.039	0.043	0.040	0.041

Los modelos 1, 3 y 5 tuvieron un regular ajuste, pues sus coeficientes de correlación están alrededor de 0.8 y los errores padrones residuales son casi iguales. El modelo 5 estimó mejor el volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r), puesto que su histograma de residuos presenta una mejor conformación en el centro como se puede observar en la Figura 25; siendo representado VCc/r por la función $\text{Ln}(\text{VCc}/r) = -21.802115 + 5.049605\text{Ln}(\text{DAP } c/c) + 41.571280 \frac{1}{\text{DAP}c/c} + \varepsilon.$, con un coeficiente de determinación de 0.688, indicando que el 68.8 % de la variación del volumen de corteza en las ramas (m^3) fue explicado por el DAP con corteza y el inverso de este.

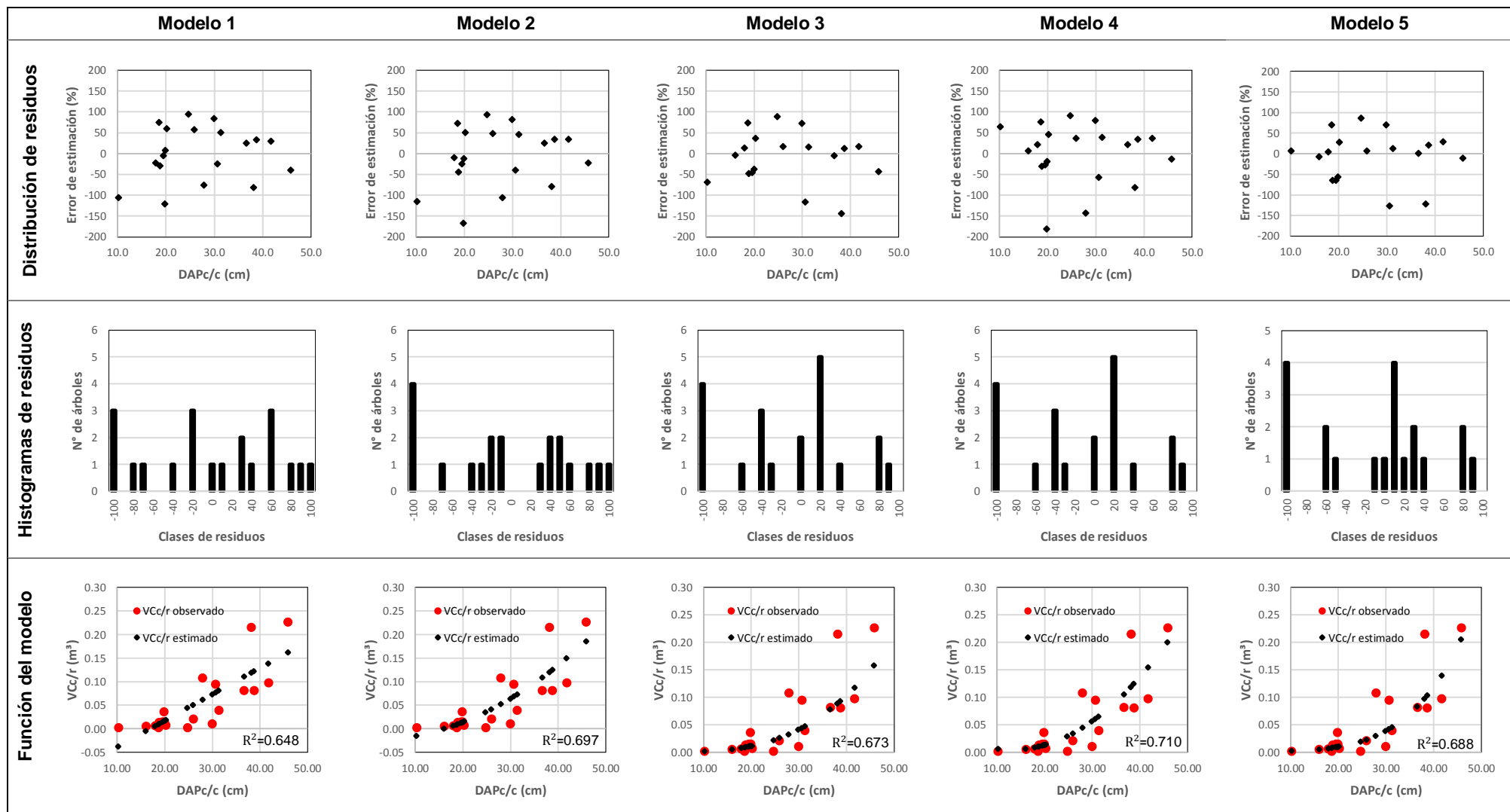


Figura 25. Gráficos del grado de ajuste de los modelos volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).

d. Validación de modelos volumétricos de árboles en pie

Al realizar la validación final de los modelos, se determinó que los modelos elegidos para estimar los volúmenes comerciales en el fuste del árbol (VCc/c, VCs/c y VCc) tuvieron buena precisión, evidenciándose en los altos valores de sus indicadores estadísticos ($R_{\hat{Y}Y} = 0.993$ y $S_{yx} = 0.017$) y buenas gráficas de residuos; y el modelo elegido para estimar el volumen de corteza en las ramas (VCc/r) tiene menor grado de estimación, reflejado en un R^2 y S_{yx} de 0.688 y 0.021, respectivamente, como se muestra en el Tabla 27 y Figura 26.

Tabla 27. Validación de estimación de los VC de árboles en pie.

Indicador	Volumen comercial con corteza del fuste (VCc/c)	Volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c)	Volumen comercial de corteza en el fuste (VCc)	Volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r)
Coeficiente de correlación ($R_{\hat{Y}Y}$)	0.994	0.993	0.987	0.829
Coeficiente de determinación (R^2)	0.988	0.985	0.973	0.688
Error padrón residual (S_{yx})	0.017	0.014	0.006	0.021

Los volúmenes obtenidos en la Zona Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba tuvieron alta heterogeneidad que se reflejó en Coeficientes de Variación superiores al 50% (Tabla 17 y 16) y ajuste malos (Figura 16), pero al estratificar los árboles en dos clases diamétricas se obtuvieron buenos ajustes de los modelos volumétricos (Tabla 27 y Figura 26), resultados parecidos a los de Dos Santos *et al.* (2006), quienes estratificaron su población de árboles nativos en tres clases diamétricas para reducir los altos errores de estimación al realizar ajustes con los datos de todas las clases.

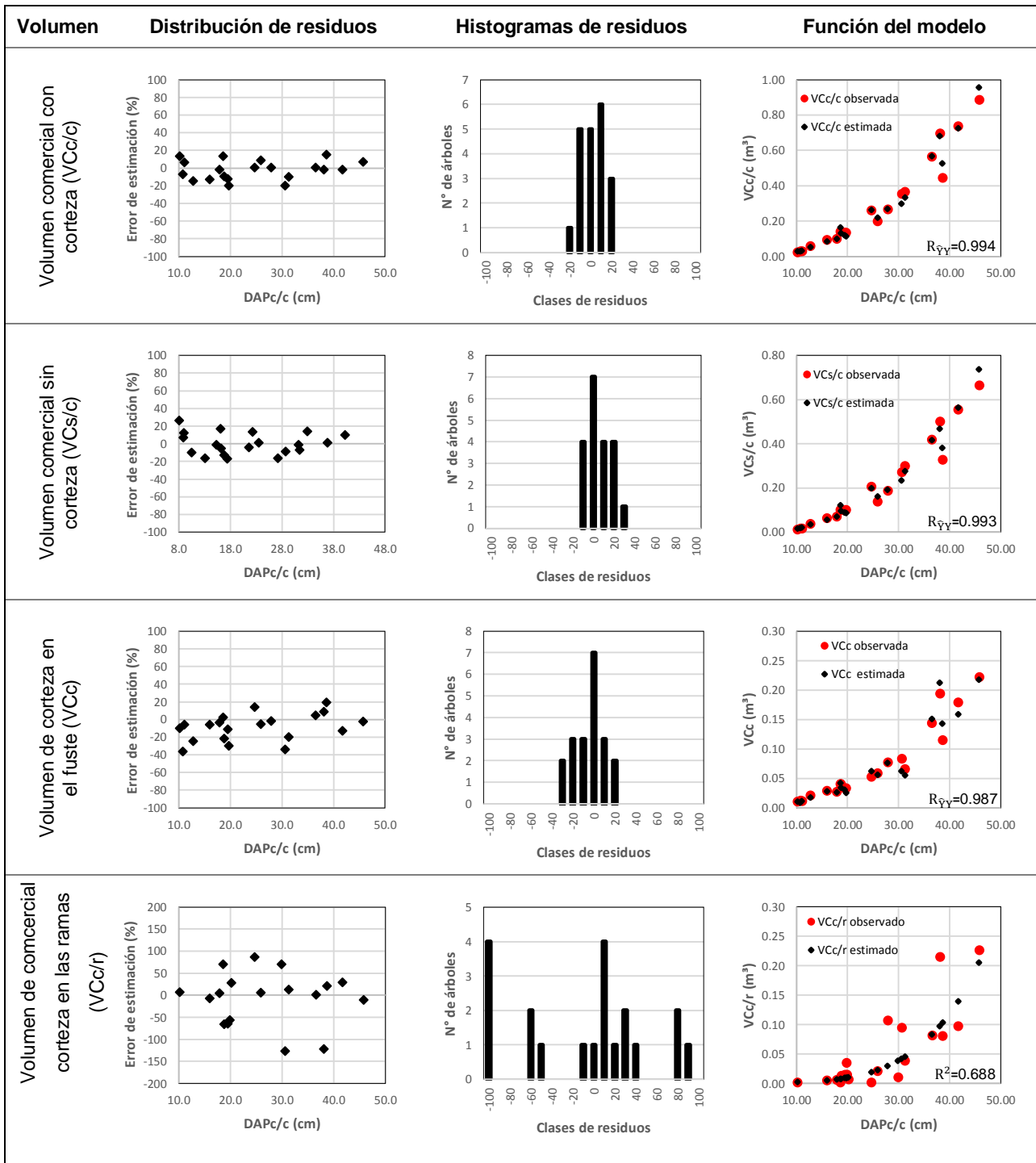


Figura 26. Gráficos de validación de modelos volumétricos de árboles en pie.

Al evaluar el grado de estimación de los modelos ajustados se puede observar que el modelo Husch y Stepwise presentaron menor grado de estimación a comparación de los modelos Spurr y Schumacher e Hall como se puede observar en la Tabla 20 y 23 y Figuras 22 y 23, estos resultados concuerdan con los

obtenidos por De Lima *et al.* (s.f) y Machado *et al.* (2003), debiéndose a que sólo usan una variable dependiente para estimar (DAP) y no se explica la alta variación existente en el bosque natural de acuerdo a los supuestos de la regresión (homogeneidad de varianza y distribución normal de los residuos). Resultados esperados, pues estos modelos consideran que los árboles de la misma especie con la misma calidad de sitio y del mismo diámetro tienen el mismo volumen, por lo cual su ámbito de aplicación es reducido (Diéguez *et al.* 2005). Otros autores como Rolim *et al.* citados por Azevedo *et al.* (2011) indican que por lo general son tendenciosos y para su evaluación los gráficos de residuos son de gran utilidad, por motivo por el cual no fueron considerado para estimar los volúmenes comerciales de la quina.

Diéguez *et al.* (2005) mencionan que la precisión en la estimación de los modelos aumenta a medida que se incrementa el número de entradas (variables), afirmación que fue demostrada en el trabajo de Ruiz (2007), donde se determinó que el mejor modelo para estimar los volúmenes de un bosque húmedo de Terrazas Altas fue $V = -3,68 + 1,56 \text{ DAP} + 0,0405 \text{ H} + 0,433 \text{ HDAP}^2 + 3,28 \text{ q}$, donde incluyó la variable Cociente de Forma “q” que es la relación entre el diámetro a la mitad del fuste y DAP. De igual forma Escobar (2018) determinó que el mejor modelo para *Swietenia macrophylla* fue $V = -0.16073 + 0.01130 \text{ DAP} + 0.00039772 \text{ DAPH} + 0.0002287 \text{ DAP}^2 + 0.00006968 \text{ Hq5qpc}$, incluyendo las variables q5 que es el cociente de forma a los 5 m., qpc el cociente a la punta de la copa y q5qpc su multiplicación. Para el caso de la quina solo fue necesario usar las variables DAP y altura comercial para estimar adecuadamente sus volúmenes comerciales como es demostrado en los ajustes de los modelos Spurr y Schumacher e Hall (Tabla 20 y 23 y Figuras 22 y 23) y no es necesario incorporar otras variables. Lo cual simplifica los trabajos que serán realizados en campo pues la medición de diámetros superiores requiere mucho tiempo, costoso y en algunos casos de difícil acceso (Clutter citado Husch *et al.* 2003, Escobar 2018) y se corre menos riesgo que las variables se vuelvan muy sensible a las relaciones existente entre ellas especialmente si están altamente correlacionada como señala Alder (1980).

De los modelos ajustados que usan el DAP y la altura comercial para estimar los volúmenes comerciales (VC_{cc} y VC_{sc}), el modelo Schumacher-Hall proporcionó las mejores estimaciones para la quina con buenos indicadores estadísticos como son de un $R_{\hat{Y}Y}$ de 0.993, R^2 de 0.985 y S_{yx} de 0.017 (Tabla 20, 23 y 27) y buena distribución de sus residuos cumpliendo con los supuestos de regresión de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de residuos (Figuras 22, 23 y 25); estos resultados concuerdan con otros trabajos de investigación que obtuvieron los mejores ajustes con Schumacher como Azevedo *et al.* (2011) quienes obtuvieron R^2 ajustados de 0.8745 y 0.8737 y $S_{yx}\%$ de 10,3672 y 10,4276, para volúmenes comerciales con y sin corteza, o por Guerra *et al.* (2008) para *Guazuma crinita* con R^2 de 0.983 y 0.982, respectivamente o por Colpini, *et al.* (2009), quienes indican que generó las mejores estimaciones para volúmenes con y sin cascara, por no presentar tendencias de superestimación o subestimación de los volúmenes. De igual forma en otras investigaciones, este modelo (lineal o no lineal) fue el mejor para estimar diversos tipos de volúmenes, comercial o total, con muy buenos indicadores estadísticos y buena distribución de sus residuos, pudiéndose mencionar a Lansanova *et al.* (2018), Navar y Domínguez (1997), Erazo (2009), Ramos *et al.* (2014) y Ovalle (2008), Ticono (2019). La bondad de ajustes del modelo es mencionada por Ladrach (2010) y Leite y Campos (2013), quienes resaltan que es muy útil para inventarios en bosque natural, en donde pueden presentarse árboles individuales de tamaños excepcionales, siendo uno de los modelos más difundidos por sus propiedades estadísticas pues casi siempre sus estimaciones no son tendenciosas.

De los modelos ajustados para estimar los volúmenes de corteza en las ramas, los lineales tuvieron menor grado de estimación (Modelo 1 y 2), caso contrario paso con los cuadráticos y logarítmicos (Modelos 3, 4 y 5) como se puede observar en la Tabla 26, esto se debe a que la tendencia de este volumen es exponencial y no lineal (Figura 24). El modelo $\ln(VC_c/r) = -21.802115 + 5.049605\ln(DAP_{c/c}) + 41.571280\frac{1}{DAP_{c/c}} + \varepsilon$. presentó las mejores estimaciones, con un coeficiente de determinación de 0.688, pero este coeficiente no supera el 75% establecido como valor mínimo aceptación por algunos autores como Campos y Leite (2013), Acuña (2010) y Alvarado y Obagi (2008). El menor grado de estimación obtenido a

comparación de los otros volúmenes comerciales se debió a su alta variación, reflejado en un CV de 47 y 69 % (Tabla 16 y 17) y por el número bajo de observaciones lo que generó una tendencia no bien definida; por lo cual se debe tener cuidado al usar este modelo.

e. Tablas de cubicación de volúmenes comerciales de los individuos en pie de la quina

Producto del uso de los modelos elejidos para estimar los volumenes comerciales de los árboles en pie se elaboró las siguientes tablas.

Tabla 28.A. Tabla de cubicación de volúmenes con corteza del fuste (VCc/c).

Especie: <i>Cinchona officinalis</i> L. Nombre común: quina o cascarilla Ámbito: Z.A del B.P Pagaibamba – Querocoto – Chota Variable dependiente: Volumen comercial con corteza, m ³ (VCc/c) Variables independientes: Diámetro a la altura del pecho con corteza, cm (DAPc/c) y altura comercial, m (Hc) Modelo: $\text{Log}(VCc/c) = -4.074253 + 1.840094 \text{Log}(DAPc/c) + 0.998038 \text{Log}(Hc) + \varepsilon$. $R_{\hat{Y}}: 0.994$ $S_{YX}: 0.017$ N° de árboles: 69														
DAPc/c (cm)	Hc (m)													
	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50
10	0.0189	0.0204	0.0218	0.0233	0.0247	0.0262	0.0276	0.0291	0.0305	0.0320	0.0334	0.0349	0.0363	0.0378
12	0.0264	0.0285	0.0305	0.0325	0.0346	0.0366	0.0386	0.0407	0.0427	0.0447	0.0467	0.0488	0.0508	0.0528
14	0.0351	0.0378	0.0405	0.0432	0.0459	0.0486	0.0513	0.0540	0.0567	0.0594	0.0621	0.0648	0.0675	0.0702
16	0.0449	0.0484	0.0518	0.0552	0.0587	0.0621	0.0656	0.0690	0.0725	0.0759	0.0794	0.0828	0.0863	0.0897
18	0.0558	0.0601	0.0643	0.0686	0.0729	0.0772	0.0815	0.0857	0.0900	0.0943	0.0986	0.1028	0.1071	0.1114
20	0.0677	0.0729	0.0781	0.0833	0.0885	0.0937	0.0989	0.1041	0.1093	0.1145	0.1197	0.1249	0.1300	0.1352
22	0.0807	0.0869	0.0931	0.0993	0.1055	0.1117	0.1178	0.1240	0.1302	0.1364	0.1426	0.1488	0.1550	0.1612
24	0.0947	0.1020	0.1092	0.1165	0.1238	0.1310	0.1383	0.1456	0.1528	0.1601	0.1674	0.1746	0.1819	0.1891
26	0.1097	0.1181	0.1266	0.1350	0.1434	0.1518	0.1602	0.1687	0.1771	0.1855	0.1939	0.2023	0.2107	0.2192
28	0.1258	0.1354	0.1451	0.1547	0.1644	0.1740	0.1837	0.1933	0.2030	0.2126	0.2222	0.2319	0.2415	0.2512
30	0.1428	0.1537	0.1647	0.1757	0.1866	0.1976	0.2085	0.2195	0.2304	0.2414	0.2523	0.2633	0.2742	0.2852
32	0.1608	0.1731	0.1855	0.1978	0.2101	0.2225	0.2348	0.2472	0.2595	0.2718	0.2841	0.2965	0.3088	0.3211
34	0.1798	0.1936	0.2074	0.2212	0.2349	0.2487	0.2625	0.2763	0.2901	0.3039	0.3177	0.3315	0.3452	0.3590
36	0.1997	0.2150	0.2304	0.2457	0.2610	0.2763	0.2916	0.3070	0.3223	0.3376	0.3529	0.3682	0.3835	0.3988
38	0.2206	0.2375	0.2545	0.2714	0.2883	0.3052	0.3222	0.3391	0.3560	0.3729	0.3898	0.4067	0.4237	0.4406
40	0.2424	0.2610	0.2796	0.2982	0.3168	0.3354	0.3540	0.3726	0.3912	0.4098	0.4284	0.4470	0.4656	0.4842
42	0.2652	0.2855	0.3059	0.3263	0.3466	0.3670	0.3873	0.4076	0.4280	0.4483	0.4687	0.4890	0.5093	0.5297
44	0.2889	0.3111	0.3332	0.3554	0.3776	0.3997	0.4219	0.4441	0.4662	0.4884	0.5105	0.5327	0.5548	0.5770
46	0.3135	0.3376	0.3616	0.3857	0.4098	0.4338	0.4579	0.4819	0.5060	0.5300	0.5541	0.5781	0.6021	0.6262

* Los números con negrita y cursiva indican la amplitud de los datos observados en campo;

Especie: <i>Cinchona officinalis</i> L. Nombre común: quina o cascarilla Ámbito: Z.A del B.P Pagaibamba – Querocoto – Chota Variable dependiente: Volumen comercial con corteza, m ³ (VCc/c) Variables independientes: Diámetro a la altura del pecho con corteza, cm (DAPc/c) y altura comercial, m (Hc) Modelo: $\text{Log}(\text{VCc}/c) = -4.074253 + 1.840094 \text{Log}(\text{DAPc}/c) + 0.998038 \text{Log}(\text{Hc}) + \epsilon$ $R_{\hat{y}y}: 0.994$ $S_{yx}: 0.017$ N° de árboles: 69														
DAPc/c (cm)	Altura comercial (m)													
	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75	8.00	8.25	8.50	8.75	9.00	9.25	9.50	9.75	10.00
10	0.0392	0.0407	0.0421	0.0436	0.0450	0.0465	0.0479	0.0494	0.0508	0.0523	0.0537	0.0552	0.0566	0.0581
12	0.0549	0.0569	0.0589	0.0609	0.0630	0.0650	0.0670	0.0690	0.0711	0.0731	0.0751	0.0772	0.0792	0.0812
14	0.0728	0.0755	0.0782	0.0809	0.0836	0.0863	0.0890	0.0917	0.0944	0.0971	0.0998	0.1025	0.1051	0.1078
16	0.0931	0.0966	0.1000	0.1035	0.1069	0.1103	0.1138	0.1172	0.1207	0.1241	0.1276	0.1310	0.1344	0.1379
18	0.1157	0.1200	0.1242	0.1285	0.1328	0.1371	0.1413	0.1456	0.1499	0.1541	0.1584	0.1627	0.1670	0.1712
20	0.1404	0.1456	0.1508	0.1560	0.1612	0.1664	0.1716	0.1768	0.1819	0.1871	0.1923	0.1975	0.2027	0.2079
22	0.1673	0.1735	0.1797	0.1859	0.1921	0.1983	0.2044	0.2106	0.2168	0.2230	0.2292	0.2354	0.2415	0.2477
24	0.1964	0.2037	0.2109	0.2182	0.2254	0.2327	0.2400	0.2472	0.2545	0.2617	0.2690	0.2762	0.2835	0.2907
26	0.2276	0.2360	0.2444	0.2528	0.2612	0.2696	0.2780	0.2864	0.2948	0.3033	0.3117	0.3201	0.3285	0.3369
28	0.2608	0.2705	0.2801	0.2897	0.2994	0.3090	0.3186	0.3283	0.3379	0.3476	0.3572	0.3668	0.3765	0.3861
30	0.2961	0.3071	0.3180	0.3290	0.3399	0.3508	0.3618	0.3727	0.3837	0.3946	0.4055	0.4165	0.4274	0.4384
32	0.3335	0.3458	0.3581	0.3704	0.3828	0.3951	0.4074	0.4197	0.4320	0.4444	0.4567	0.4690	0.4813	0.4936
34	0.3728	0.3866	0.4004	0.4141	0.4279	0.4417	0.4555	0.4693	0.4830	0.4968	0.5106	0.5243	0.5381	0.5519
36	0.4142	0.4295	0.4448	0.4601	0.4754	0.4907	0.5060	0.5213	0.5366	0.5519	0.5672	0.5825	0.5978	0.6131
38	0.4575	0.4744	0.4913	0.5082	0.5251	0.5420	0.5589	0.5758	0.5927	0.6096	0.6265	0.6434	0.6603	0.6772
40	0.5028	0.5213	0.5399	0.5585	0.5771	0.5957	0.6142	0.6328	0.6514	0.6700	0.6885	0.7071	0.7257	0.7443
42	0.5500	0.5703	0.5906	0.6110	0.6313	0.6516	0.6719	0.6923	0.7126	0.7329	0.7532	0.7735	0.7939	0.8142
44	0.5991	0.6213	0.6434	0.6656	0.6877	0.7099	0.7320	0.7541	0.7763	0.7984	0.8205	0.8427	0.8648	0.8869
46	0.6502	0.6742	0.6983	0.7223	0.7463	0.7704	0.7944	0.8184	0.8424	0.8665	0.8905	0.9145	0.9385	0.9625

* Los números con negrita y cursiva indican la amplitud de los datos observados en campo.

Tabla 29.A. Tabla de cubicación de volúmenes sin corteza del fuste (VCs/c).

<p>Especie: <i>Cinchona officinalis</i> L. Nombre común: quina o cascarilla Ámbito: Z.A del B.P Pagaibamba – Querocoto – Chota Variable dependiente: Volumen comercial sin corteza, m³ (VCs/c) Variables dependientes: Diámetro a la altura del pecho sin corteza, cm (DAPs/c) y altura comercial (Hc) Modelo: $\text{Log(VCs/c)} = -4.095310 + 1.846095 \text{ Log(DAPs/c)} + 1.001462 \text{ Log(Hc)} + \epsilon$. $R_{\text{PY}}: 0.993$ $S_{\text{yx}}: 0.014$ N° de árboles: 69</p>														
DAPs/c (cm)	Altura comercial (m)													
	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50
8	0.0121	0.0131	0.0140	0.0150	0.0159	0.0168	0.0178	0.0187	0.0196	0.0206	0.0215	0.0224	0.0234	0.0243
10	0.0183	0.0198	0.0212	0.0226	0.0240	0.0254	0.0268	0.0282	0.0296	0.0311	0.0325	0.0339	0.0353	0.0367
12	0.0257	0.0277	0.0296	0.0316	0.0336	0.0356	0.0376	0.0395	0.0415	0.0435	0.0455	0.0475	0.0494	0.0514
14	0.0341	0.0368	0.0394	0.0420	0.0447	0.0473	0.0499	0.0525	0.0552	0.0578	0.0604	0.0631	0.0657	0.0683
16	0.0437	0.0470	0.0504	0.0538	0.0571	0.0605	0.0639	0.0672	0.0706	0.0740	0.0773	0.0807	0.0841	0.0874
18	0.0543	0.0585	0.0626	0.0668	0.0710	0.0752	0.0794	0.0836	0.0878	0.0919	0.0961	0.1003	0.1045	0.1087
20	0.0659	0.0710	0.0761	0.0812	0.0863	0.0913	0.0964	0.1015	0.1066	0.1117	0.1168	0.1218	0.1269	0.1320
22	0.0786	0.0847	0.0907	0.0968	0.1029	0.1089	0.1150	0.1210	0.1271	0.1332	0.1392	0.1453	0.1513	0.1574
24	0.0923	0.0994	0.1066	0.1137	0.1208	0.1279	0.1350	0.1421	0.1492	0.1564	0.1635	0.1706	0.1777	0.1848
26	0.1070	0.1153	0.1235	0.1318	0.1400	0.1483	0.1565	0.1648	0.1730	0.1813	0.1895	0.1978	0.2060	0.2143
28	0.1227	0.1322	0.1416	0.1511	0.1605	0.1700	0.1795	0.1889	0.1984	0.2078	0.2173	0.2268	0.2362	0.2457
30	0.1394	0.1501	0.1609	0.1716	0.1823	0.1931	0.2038	0.2146	0.2253	0.2361	0.2468	0.2576	0.2683	0.2791
32	0.1570	0.1691	0.1812	0.1933	0.2054	0.2175	0.2296	0.2417	0.2538	0.2659	0.2780	0.2902	0.3023	0.3144
34	0.1756	0.1892	0.2027	0.2162	0.2297	0.2433	0.2568	0.2704	0.2839	0.2974	0.3110	0.3245	0.3381	0.3516
36	0.1952	0.2102	0.2252	0.2403	0.2553	0.2704	0.2854	0.3004	0.3155	0.3305	0.3456	0.3606	0.3757	0.3907
38	0.2157	0.2323	0.2489	0.2655	0.2821	0.2987	0.3154	0.3320	0.3486	0.3652	0.3819	0.3985	0.4151	0.4317
40	0.2371	0.2553	0.2736	0.2919	0.3101	0.3284	0.3467	0.3650	0.3832	0.4015	0.4198	0.4381	0.4563	0.4746
42	0.2594	0.2794	0.2994	0.3194	0.3394	0.3594	0.3794	0.3994	0.4193	0.4393	0.4593	0.4793	0.4994	0.5194
44	0.2827	0.3045	0.3262	0.3480	0.3698	0.3916	0.4134	0.4352	0.4570	0.4787	0.5005	0.5223	0.5441	0.5659
46	0.3069	0.3305	0.3541	0.3778	0.4014	0.4251	0.4487	0.4724	0.4960	0.5197	0.5433	0.5670	0.5907	0.6143

* Los números con negrita y cursiva indican la amplitud de los datos observados en campo

Tabla 29.B: Tabla de cubicación de volúmenes sin corteza del fuste (VCs/c).

<p>Especie: <i>Cinchona officinalis</i> L. Nombre común: quina o cascarilla Ambito: Z.A del B.P Pagaibamba – Querocoto – Chota Variable dependiente: Volumen comercial sin corteza, m³ (VCs/c) Variables dependientes: Diámetro a la altura del pecho sin corteza, cm (DAPs/c) y altura comercial (Hc) Modelo: $\text{Log(VCs/c)} = -4.095310 + 1.846095 \text{ Log(DAPs/c)} + 1.001462 \text{ Log(Hc)} + \varepsilon$. R_{YV}: 0.993 S_{yx}: 0.014 N° de árboles: 69</p>														
DAPs/c (cm)	Altura comercial (m)													
	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75	8.00	8.25	8.50	8.75	9.00	9.25	9.50	9.75	10.00
8	0.0253	0.0262	0.0271	0.0281	0.0290	0.0299	0.0309	0.0318	0.0328	0.0337	0.0346	0.0356	0.0365	0.0374
10	0.0381	0.0395	0.0410	0.0424	0.0438	0.0452	0.0466	0.0480	0.0495	0.0509	0.0523	0.0537	0.0551	0.0565
12	0.0534	0.0554	0.0574	0.0593	0.0613	0.0633	0.0653	0.0673	0.0692	0.0712	0.0732	0.0752	0.0772	0.0791
14	0.0710	0.0736	0.0762	0.0789	0.0815	0.0841	0.0868	0.0894	0.0920	0.0947	0.0973	0.0999	0.1026	0.1052
16	0.0908	0.0942	0.0975	0.1009	0.1043	0.1077	0.1110	0.1144	0.1178	0.1211	0.1245	0.1279	0.1312	0.1346
18	0.1129	0.1171	0.1212	0.1254	0.1296	0.1338	0.1380	0.1422	0.1464	0.1505	0.1547	0.1589	0.1631	0.1673
20	0.1371	0.1422	0.1473	0.1524	0.1574	0.1625	0.1676	0.1727	0.1778	0.1829	0.1880	0.1930	0.1981	0.2032
22	0.1635	0.1695	0.1756	0.1817	0.1877	0.1938	0.1999	0.2059	0.2120	0.2181	0.2241	0.2302	0.2363	0.2423
24	0.1920	0.1991	0.2062	0.2133	0.2204	0.2276	0.2347	0.2418	0.2489	0.2561	0.2632	0.2703	0.2774	0.2845
26	0.2225	0.2308	0.2390	0.2473	0.2555	0.2638	0.2721	0.2803	0.2886	0.2968	0.3051	0.3133	0.3216	0.3299
28	0.2552	0.2646	0.2741	0.2835	0.2930	0.3025	0.3119	0.3214	0.3309	0.3403	0.3498	0.3593	0.3687	0.3782
30	0.2898	0.3006	0.3113	0.3221	0.3328	0.3436	0.3543	0.3651	0.3758	0.3866	0.3973	0.4081	0.4188	0.4296
32	0.3265	0.3386	0.3507	0.3628	0.3749	0.3870	0.3991	0.4113	0.4234	0.4355	0.4476	0.4597	0.4718	0.4840
34	0.3651	0.3787	0.3922	0.4058	0.4193	0.4329	0.4464	0.4600	0.4735	0.4871	0.5006	0.5142	0.5277	0.5413
36	0.4058	0.4208	0.4359	0.4509	0.4660	0.4810	0.4961	0.5112	0.5262	0.5413	0.5563	0.5714	0.5864	0.6015
38	0.4484	0.4650	0.4816	0.4983	0.5149	0.5315	0.5482	0.5648	0.5814	0.5981	0.6147	0.6314	0.6480	0.6646
40	0.4929	0.5112	0.5295	0.5478	0.5660	0.5843	0.6026	0.6209	0.6392	0.6575	0.6758	0.6941	0.7124	0.7306
42	0.5394	0.5594	0.5794	0.5994	0.6194	0.6394	0.6594	0.6794	0.6994	0.7194	0.7395	0.7595	0.7795	0.7995
44	0.5877	0.6095	0.6313	0.6531	0.6749	0.6967	0.7185	0.7404	0.7622	0.7840	0.8058	0.8276	0.8494	0.8712
46	0.6380	0.6617	0.6853	0.7090	0.7327	0.7563	0.7800	0.8037	0.8273	0.8510	0.8747	0.8984	0.9220	0.9457

* Los números con negrita y cursiva indican la amplitud de los datos observados en campo

Tabla 30. Tabla de cubicación de volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r).

Especie: *Cinchona officinalis* L. **Nombre común:** quina o cascarilla
Ámbito: Z.A del B.P Pagaibamba – Querocoto – Chota
Variable dependiente: Volumen de corteza en las ramas, m³ (VCc/r)
Variable independiente: Diámetro a la altura del pecho con corteza, cm (DAPc/c)
Modelo: $\ln(Vc/r) = -21.802115 + 5.049605\ln(DAPc/c) + 41.571280 \frac{1}{DAPc/c} + \epsilon$
R²: 0.688 **S_{yx}:** 0.201 **N° de árboles:** 20

DAP c/c (cm)	VCc/r (m ³)	DAPc/c (cm)	VCc/r (m ³)	DAP c/c (cm)	VCc/r (m ³)	DAP c/c (cm)	VCc/r (m ³)
10.0	0.0024	20.5	0.0109	31.0	0.0441	41.5	0.1371
10.5	0.0026	21.0	0.0117	31.5	0.0468	42.0	0.1439
11.0	0.0027	21.5	0.0126	32.0	0.0497	42.5	0.1510
11.5	0.0029	22.0	0.0135	32.5	0.0526	43.0	0.1584
12.0	0.0031	22.5	0.0145	33.0	0.0558	43.5	0.1660
12.5	0.0033	23.0	0.0156	33.5	0.0591	44.0	0.1740
13.0	0.0035	23.5	0.0167	34.0	0.0625	44.5	0.1823
13.5	0.0038	24.0	0.0179	34.5	0.0661	45.0	0.1909
14.0	0.0041	24.5	0.0192	35.0	0.0699	45.5	0.1998
14.5	0.0044	25.0	0.0205	35.5	0.0738	46.0	0.2090
15.0	0.0047	25.5	0.0220	36.0	0.0779	46.5	0.2186
15.5	0.0051	26.0	0.0235	36.5	0.0822	47.0	0.2286
16.0	0.0055	26.5	0.0251	37.0	0.0867	47.5	0.2389
16.5	0.0059	27.0	0.0268	37.5	0.0914	48.0	0.2496
17.0	0.0064	27.5	0.0286	38.0	0.0964	48.5	0.2606
17.5	0.0069	28.0	0.0305	38.5	0.1015	49.0	0.2721
18.0	0.0075	28.5	0.0325	39.0	0.1068	49.5	0.2840
18.5	0.0081	29.0	0.0346	39.5	0.1124	50.0	0.2963
19.0	0.0087	29.5	0.0368	40.0	0.1182	50.5	0.3090
19.5	0.0094	30.0	0.0391	40.5	0.1242	51.0	0.3221
20.0	0.0101	30.5	0.0415	41.0	0.1305	51.5	0.3357

A modo de ilustración, si un árbol de quina en el bosque tiene un DAPc/c de 24.7 cm, espesor de corteza promedio de 1.6 cm y altura comercial de 8.5 m, para hallar el volumen con corteza del fuste (VCc/c), en la Tabla 28.B ubicar las entradas 24 y 26 cm de DAP y 8.5 m de altura comercial (0.2472 y 0.2864) y obtener el promedio de estos valores que sería de 0.2668 m³. Ahora para obtener el volumen sin corteza (VCs/c) primero calcular el DAP sin corteza que sería de 21.5 cm, usar Tabla 29.B y seguir los mismos pasos que para el VCc/c, obteniendo un valor de 0.1893 m³; mediante diferencia de volúmenes (VCc/c – VCs/c) el individuo de quina tendría 0.0775 m³ de corteza en el fuste. Finalmente, al buscar en la Tabla 30 de volumen comercial de corteza en las ramas, con 24.7 cm de DAPc/c se tendría 0.0198 m³.

4.2. Estimación de variables dasométricas en función del diámetro del tocón

Considerando que en árboles apeados sólo queda como evidencia el tocón, las estimaciones de las variables dasométricas usadas en los volúmenes comerciales (DAPc/c, Hc, Ec) se estimaron usando el diámetro a los 30 cm de altura de árboles en pie (dt).

a. Determinación del grado de correlación del diámetro del tocón (dt) con otras variables dasométricas

En la Tabla 31 y Figura 27 y 28, se observa que el diámetro del tocón (dt) tuvo correlación significativa con todas las variables (<.0001), siendo mayor con el DAP (0.970); pero lo más resaltante que este último diámetro presenta mayor correlación con las variables volumétricas (VCc/c, VCc/s y VCc/r) que el dt. Entonces primero se ajustó un modelo para estimar el DAPc/c, luego este diámetro fue considerado como variable independiente en los modelos estimación de la altura comercial (Hc) y espesor de corteza (Ec); entradas usadas en las Tablas volumétricas 28, 29 y 30.

Tabla 31. Coeficientes correlación del diámetro del tocón (dt) y otras variables.

	dt (cm)	DAPc/c (cm)	Ec (cm)	DAPs/c (cm)	Hc (m)	VCc/c (m ³)	VCs/c (m ³)	VCc/r (m ³)
dt (cm)	1.000	<i>0.970</i>	0.854	0.970	0.669	0.914	0.916	0.884
		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
DAPc/c (cm)	<i>0.970</i>	1.000	0.890	0.998	0.676	0.944	0.945	0.918
	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Ec (cm)	<i>0.854</i>	<i>0.890</i>	1.000	0.859	0.562	0.865	0.839	0.921
	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
DAPs/c (cm)	<i>0.970</i>	<i>0.998</i>	0.859	1.000	0.681	0.939	0.943	0.901
	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Hc (m)	<i>0.669</i>	<i>0.676</i>	0.562	0.681	1.000	0.696	0.694	0.684
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001
VCc/c (m³)	<i>0.914</i>	<i>0.944</i>	0.865	0.939	0.696	1.000	0.998	0.980
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
VCs/c (m³)	<i>0.916</i>	<i>0.945</i>	0.839	0.943	0.694	0.998	1.000	0.964
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001
VCc/r (m³)	<i>0.884</i>	<i>0.918</i>	0.921	0.901	0.684	0.980	0.964	1.000
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	

* Los valores en cursiva es la comparación de las correlaciones entre el dt y DAPc/c.

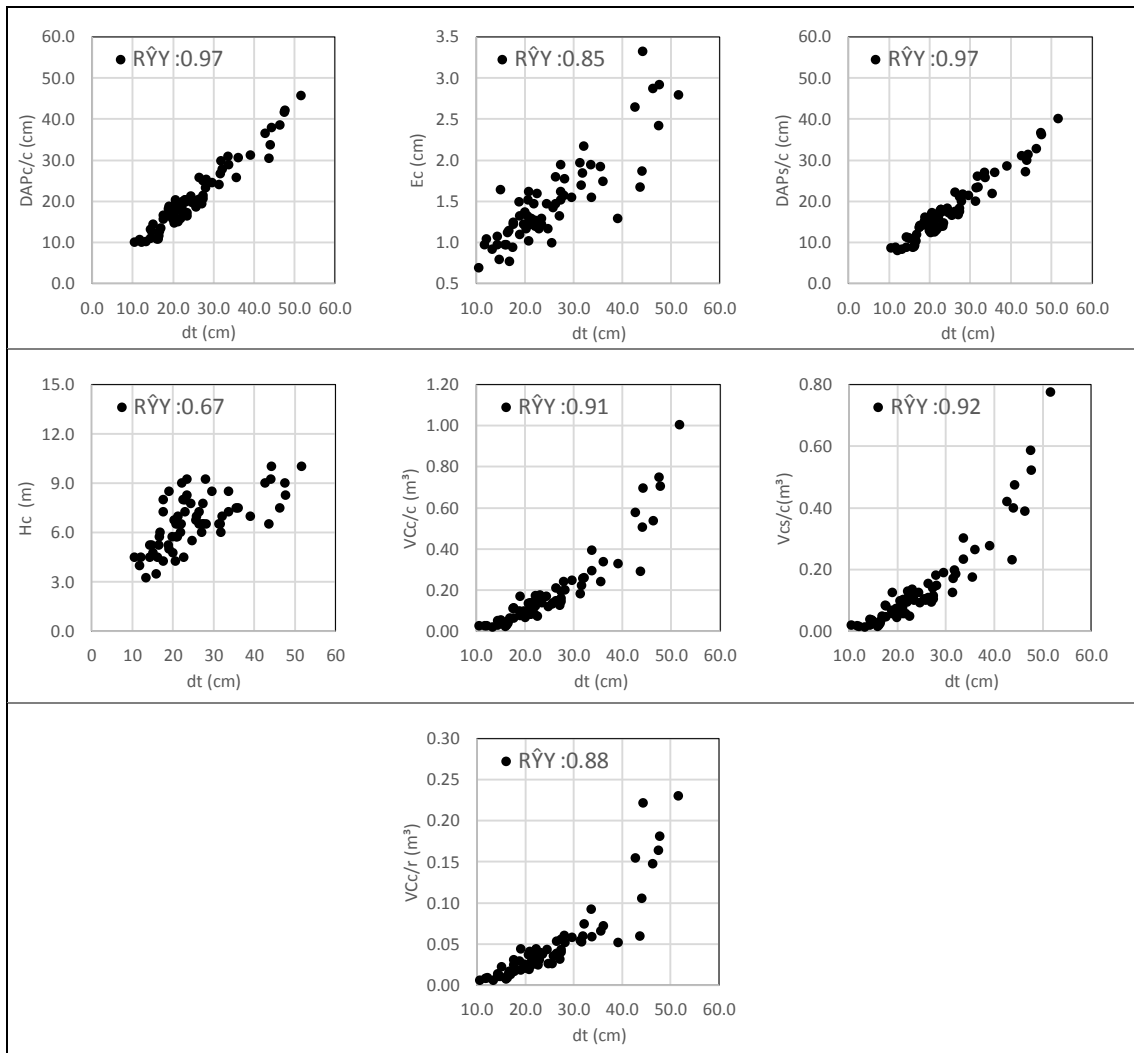


Figura 27. Gráficos de correlación del diámetro del tocón (dt) y otras variables.

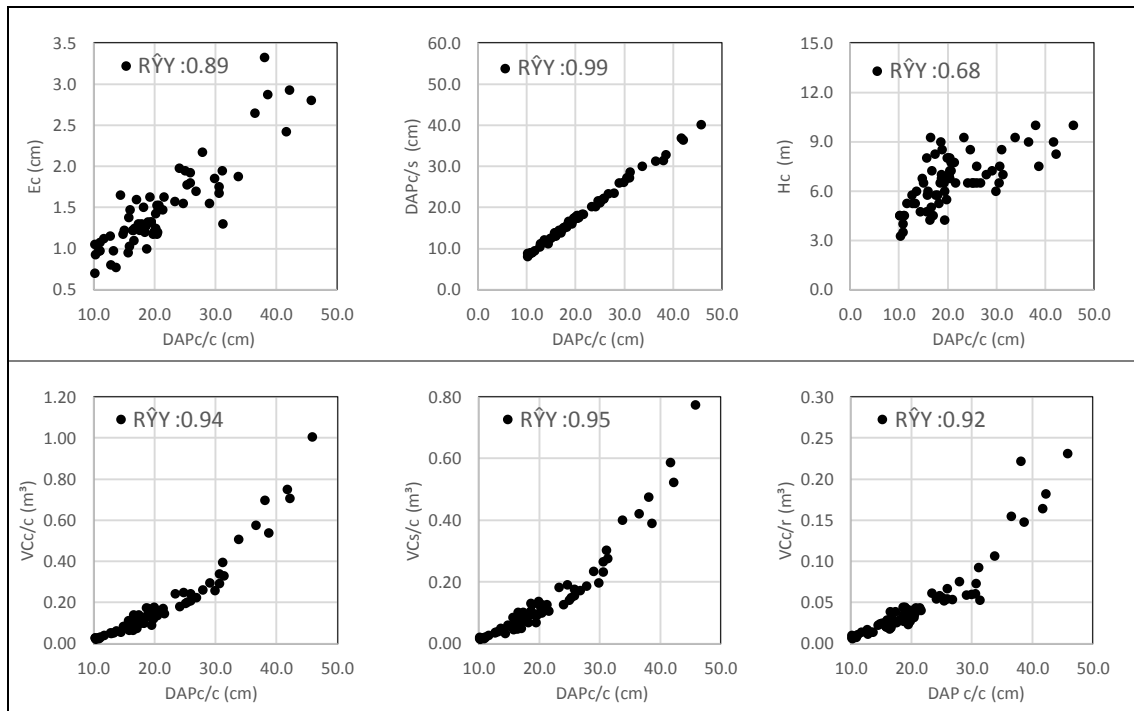


Figura 28. Gráficos de correlación del DAPc/c y otras variables.

Del análisis de correlación entre las variables dasométricas evaluadas de la quina se observó que todas tuvieron correlación altamente significativa en diferente grado entre ellas, (Tabla 31). Siendo lo más resaltante que el diámetro del tocón (dt) tuvo una correlación alta con el DAPc/c ($R_{YY}=0.970$), valor obtenido también por Benítez *et al.* (2004) entre estas dos variables para *Casuarina equisetifolia*, pero el DAP tuvo mayor grado de correlación con los todos volúmenes comerciales (VCc/c , VCc/s y VCc/r), obteniendo valores superiores a 0.918, valor cercano al reportado por Ramos *et al.* (2014).

a) Estimación del DAPc/c en función del diámetro del tocón (dt)

Todas las regresiones ajustadas para estimar el DAP en función del dt existieron, pero los modelos 1, 3 y 5 son descartados pues sus "t" calculados fueron menores que los tabulados, Tabla 32. Los parámetros obtenidos en los ajustes se muestran en la Tabla 33.

Los modelos 2 y 4 tuvieron ajustes regulares ($R_{\hat{Y}Y} = 0.760$) y excelentes ($R_{\hat{Y}Y} = 0.929$), pero su histograma de residuos presentaron una mayor subestimación; motivo por el cual se volvió a considerar al modelo 1 que tuvo buenos indicadores estadísticos ($R_{\hat{Y}Y} = 0.971$, $R^2 = 0.942$ y $S_{yx} = 2.036$). Siendo representado el diámetro a la altura del pecho por la función $DAPc/c = 0.133831 + 0.832530 dt$; indicando que el aumento de un centímetro del diámetro del tocón genera un aumento de 0.832 cm en el DAP y al tener un coeficiente de determinación de 0.942, el dt explicaría la variación del $DAPc/c$ en un 94.2 %.

Tabla 32. Análisis ANOVA para validación de modelos de estimación del $DAPc/c$.

N°	Modelos	Grados de libertad			Tabulado		Calculado			
		Regresión	Residuos	Total	"F"	"t"	"F"	β_0	β_1	β_2
1	$DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 dt$	1	67	68	4.00	2.00	1087.77	0.20	32.98	-
2	$DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dt^2}$	1	67	68	4.00	2.00	91.45	26.93	-9.56	-
3	$\ln DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 \ln dt$	1	67	68	4.00	2.00	848.74	-1.03	29.13	-
4	$\ln DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dt}$	1	67	68	4.00	2.00	423.89	79.94	-20.59	-
5	$DAPc/c = \beta_0 + \beta_1 dt + \beta_2 dt^2$	2	66	68	3.15	2.00	545.85	1.08	4.96	1.08

* El "F" y "t" Tabulado fueron obtenidos a los 60 Grados de libertad de residuos.

Tabla 33. Valores de los parámetros de los modelos de estimación del $DAPc/c$.

Parámetro	Modelos				
	1	2	3	4	5
β_0	0.133831	29.752006	-0.110083	3.942478	2.055143
β_1	0.832530	-3721.727017	0.978096	-21.250027	0.685508
β_2	-	-	-	-	0.002456

De los modelos ajustados para estimar el DAP en función del diámetros del tocón (dt), la regresión lineal presentó las mejores estimaciones para la quina con un $R^2 = 0.942$ y $S_{yx} = 2.036$ (Tabla 34) y buena distribución de sus residuos cumpliendo con los supuestos de regresión de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de residuos (Figura 28); este resultado concuerdan como Filio (2010) y Martínez y Acosta (2014), quienes obtuvieron R^2 superiores a 0.9870 y

resaltan que existe una relación lineal, directa, muy alta y significativa entre estas las viables y siendo explicada la variabilidad solo con una regresión lineal, sin necesidad de utilizar modelos más complejos; afirmación demostrada con los trabajos de Diéguez *et al.* (2003) quien concluyó que la altura del tocón no tiene influencia en la determinación del diámetro normal, pues su inclusión género no mejoras significativas en las estimación del DAP.

Tabla 34. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de estimación del DAPc/c.

Indicador	Modelos				
	1	2	3	4	5
Coefficiente de correlación ($R_{\hat{Y}Y}$)	0.971	0.760	0.963	0.929	0.971
Coefficiente de determinación (R^2)	0.942	0.577	0.927	0.864	0.943
Error padrón residual ($S_{y\hat{x}}$)	2.036	5.496	2.052	3.215	2.034

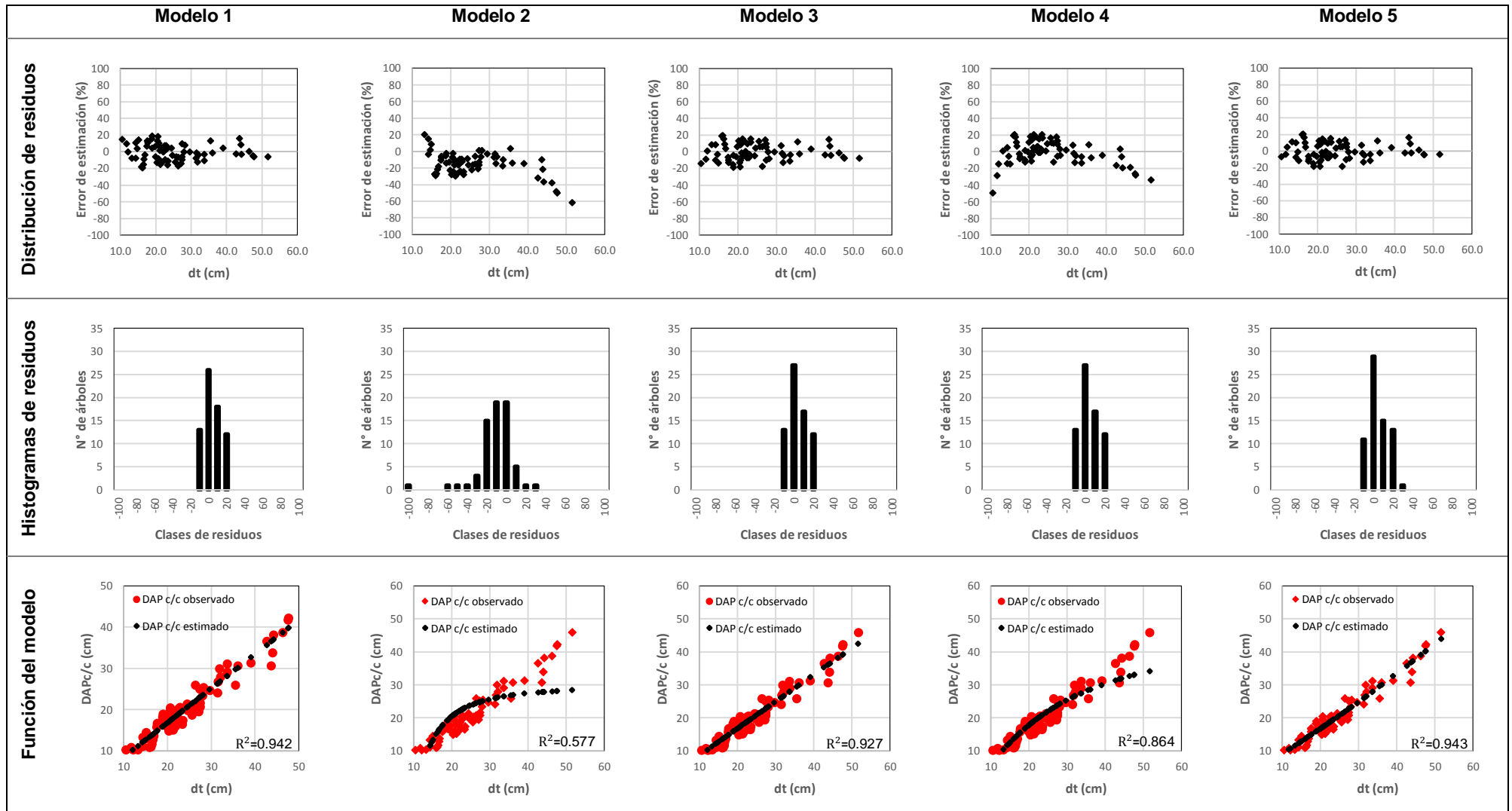


Figura 29. Gráficos del grado de ajuste de los modelos de estimación del DAPc/c.

b) Estimación de la Altura comercial (Hc) en función del DAPc/c

En todas las regresiones ajustadas para estimar la altura comercial (Hc) en función del DAPc/c, los F y t calculados fueron mayores a los tabulados, indicando existencias de las regresiones como se ve en la Tabla 35; los parámetros obtenidos en los ajustes se muestran en la Tabla 36.

Tabla 35. Análisis ANOVA para validación de modelos de estimación de Hc.

N°	Modelos	Grados de libertad			Tabulado		Calculado			
		Regresión	Residuos	Total	"F"	"t"	"F"	β_0	β_1	β_2
1	$Hc = \beta_0 + \beta_1 \text{ DAPc/c}$	1	67	68	4.00	2.00	56.50	9.77	7.52	-
2	$Hc = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\text{DAPc/c}^2}$	1	67	68	4.00	2.00	66.62	34.76	-8.16	-
3	$\text{Ln Hc} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Ln DAP}$	1	67	68	4.00	2.00	71.04	2.22	8.43	-
4	$\text{Ln Hc} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\text{DAPc/c}}$	1	67	68	4.00	2.00	83.61	39.15	-9.14	-
5	$Hc = \beta_0 + \beta_1 \text{ DAPc/c} + \beta_2 \text{ DAPc/c}^2$	2	66	68	3.15	2.00	31.62	1.95	3.50	-2.03

* El "F" y "t" Tabulado fueron obtenidos a los 60 Grados de libertad de residuos.

Tabla 36. Valores de los parámetros de los modelos de estimación de Hc.

Parámetro	Modelos				
	1	2	3	4	5
β_0	3.871685	8.213695	0.390184	2.388260	1.973870
β_1	0.130649	-476.751222	0.493263	-9.736169	0.302270
β_2	-	-	-	-	-0.003365

Los modelos tuvieron ajustes regulares, pues sus coeficientes de correlación están alrededor de 0.7 y los errores padrones residuales tuvieron casi el mismo valor, 1.1. El modelo 4 estimó mejor la altura comercial pues tuvo un $R_{\hat{Y}Y}$ de 0.745, un S_{yx} de 1.141 y una función sigmoideal, como se puede apreciar en la Figura 29 y Tabla 37; siendo representada la altura comercial por la función $\text{Ln Hc} = 2.38826 + (-9.736169 \frac{1}{\text{DAPc/c}}) + \varepsilon$.

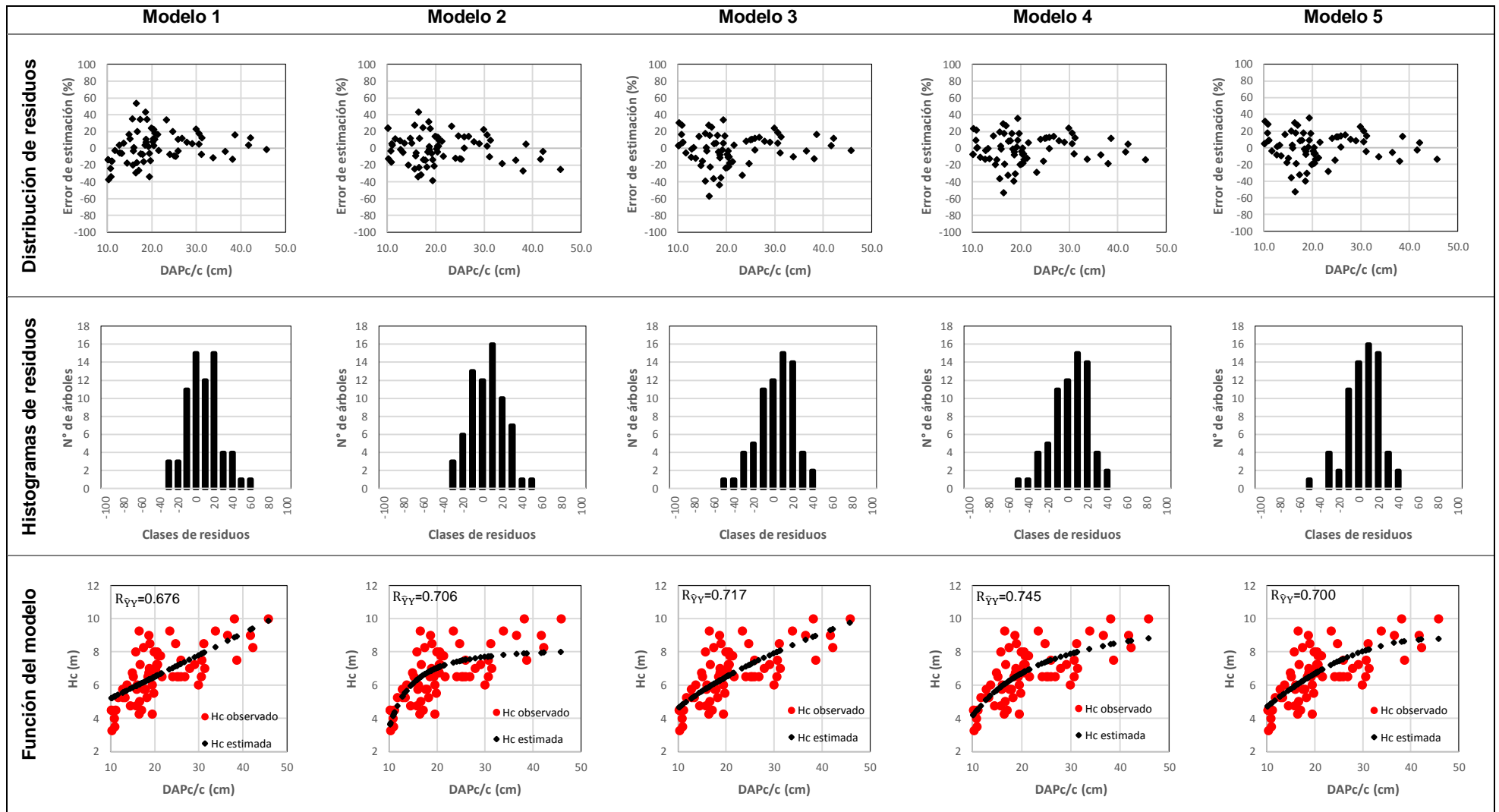


Figura 30. Gráficos del grado de ajuste de los modelos de estimación de Hc.

Tabla 37. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de estimación de la altura comercial (Hc).

Indicador	Modelos				
	1	2	3	4	5
Coefficiente de correlación (R_{YY})	0.676	0.706	0.717	0.745	0.700
Coefficiente de determinación (R^2)	0.457	0.499	0.515	0.555	0.489
Error padrón residual (S_{yx})	1.202	1.156	1.180	1.141	1.176

El modelo seleccionado para estimar la altura comercial de la quina es el mismo que seleccionaron Villar *et al.* (2018) para estimar la altura dominante de la especie en estudio, obteniendo indicadores estadísticos casi similares; la eficiencia de este modelo se debe a que la relación existente entre la altura y el DAP tiene una tendencia logarítmica y no lineal (Benítez *et al.* 2010).

c) Estimación del espesor de corteza (Ec) en función DAPc/c

Todas las regresiones ajustadas para estimar el espesor de corteza en función del DAPc/c existieron como se ve en la Tabla 38, los parámetros obtenidos en los ajustes se muestran en la Tabla 39.

Tabla 38. Análisis ANOVA para validación de modelos de estimación del espesor de corteza (Ec).

N°	Modelos	Grados de libertad			Tabulado		Calculado		
		Regresión	Residuos	Total	"F"	"t"	"F"	β_0	β_1
1	$Ec = \beta_0 + \beta_1 \text{ DAPc/c} + \varepsilon$	1	67	68	4.00	2.00	253.58	3.59	15.92
2	$Ec = \frac{\text{DAPc/c}}{\beta_0 + \beta_1 \text{ DAPc/c}} + \varepsilon$	-	-	-	4.00	2.00	-	14.80	2.93
3	$\text{Ln } Ec = \beta_0 + \beta_1 \text{ Ln DAPc/c} + \varepsilon$	1	67	68	4.00	2.00	216.14	-12.34	14.70

* El "F" y "t" Tabulado fueron obtenidos a los 60 Grados de libertad de residuos.

Tabla 39. Valores de los parámetros de los modelos de estimación del espesor de corteza (E_c).

Parámetro	Modelos		
	1	2	3
β_0	0.290290	12.148914	-1.899008
β_1	0.056507	0.087565	0.751741

Los modelos tuvieron ajustes regulares, pues sus coeficientes de correlación y errores padrones residuales estuvieron alrededor de 0.8 y 0.2, respectivamente. El modelo 1 estimó mejor el espesor de corteza pues su histograma de residuos presentó una mejor distribución; siendo representado el espesor de corteza por la función $E_c = 0.29029 + 0.056507 \text{ DAP}_c/c + \varepsilon$, indicando que el aumento de un centímetro del DAP_c/c genera un aumento de 0.290 cm en el espesor de corteza y al tener un coeficiente de determinación de 0.791, el DAP explicó la variación de E_c en un 79.1 %.

Tabla 40. Indicadores estadísticos del grado de ajuste para modelos de estimación del espesor de corteza (E_c).

Indicador	Modelos		
	1	2	3
Coefficiente de correlación ($R_{\hat{Y}Y}$)	0.889	0.882	0.874
Coefficiente de determinación (R^2)	0.791	-	0.763
Error padrón residual ($S_{y\hat{y}}$)	0.245	0.254	0.256

El modelo que estimó mejor el espesor de corteza superó el valor mínimo de 0.75 de aceptación (Acuña 2010, Alvarado y Obagi 2008); reflejándose en el buen comportamiento de sus residuos, cumpliendo con los supuestos de regresión de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de residuos (Figura 30). Existiendo una relación directa entre el espesor de corteza (cm) y el DAP(cm), que indica que conforme este diámetro aumenta también lo hace la corteza y que esta relación puede ser explicada solamente con una regresión lineal.

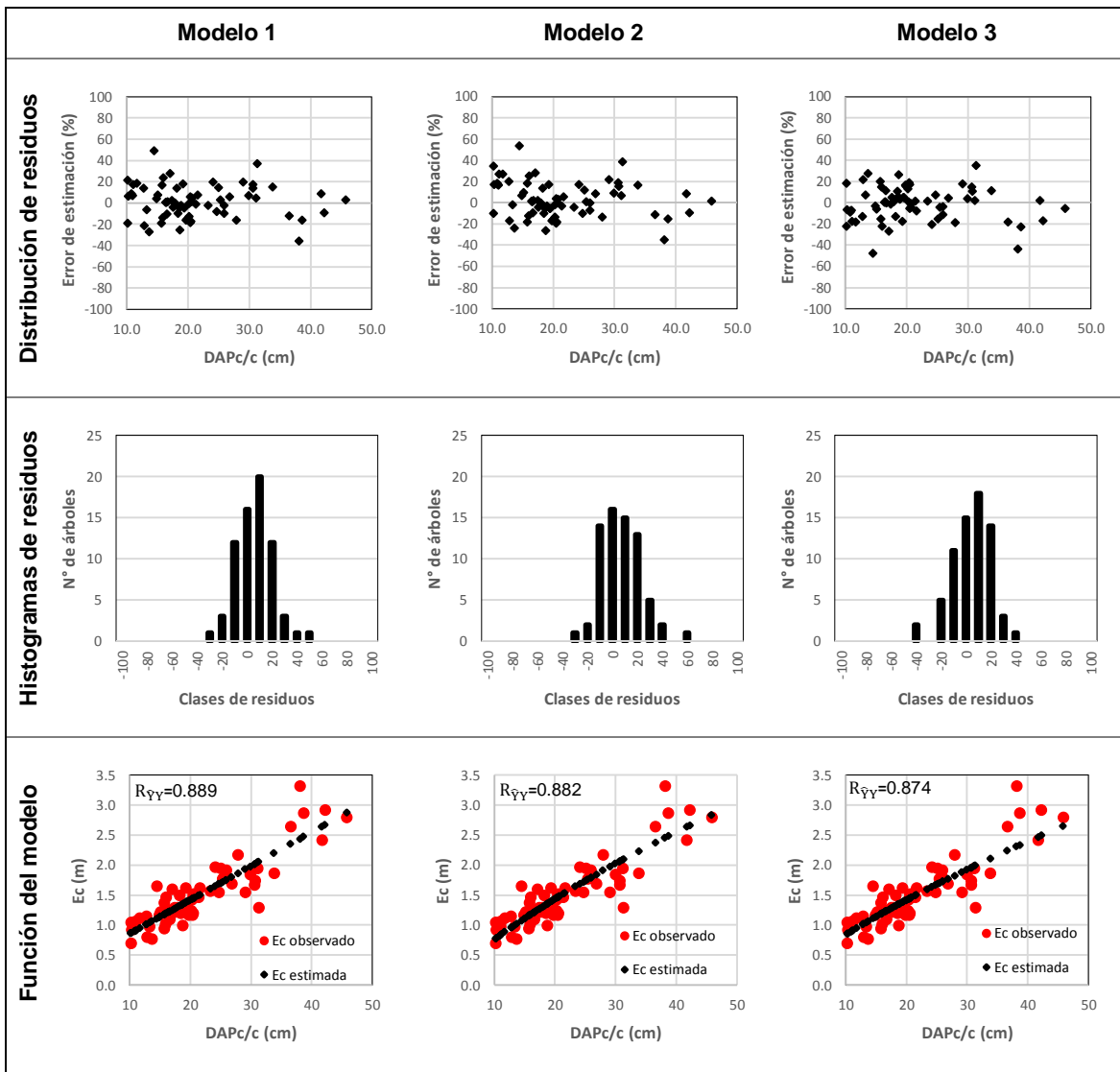


Figura 31. Gráficos del grado de ajuste de los modelos de estimación del espesor de corteza (Ec).

d. Validación de modelos volumétricos en función del diámetro del tocón

Las estimaciones de los volúmenes comerciales usando el diámetro del tocón tuvieron menor grado de ajuste que los árboles en pie (Tabla 27). De igual manera, los volúmenes comerciales del fuste (VCc/c, VCs/c y VCc) tuvieron los mejores indicadores estadísticos ($R_{\hat{Y}Y} = 0.915$ y $S_{yx} = 0.014$) y regulares gráficas de residuos.

La estimación del volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r) tuvo del mismo modo regular grado de estimación, reflejado en un $R_{\hat{Y}Y}$ y S_{yx} de 0.806 y 0.022, respectivamente, Figura 32 y Tabla 41.

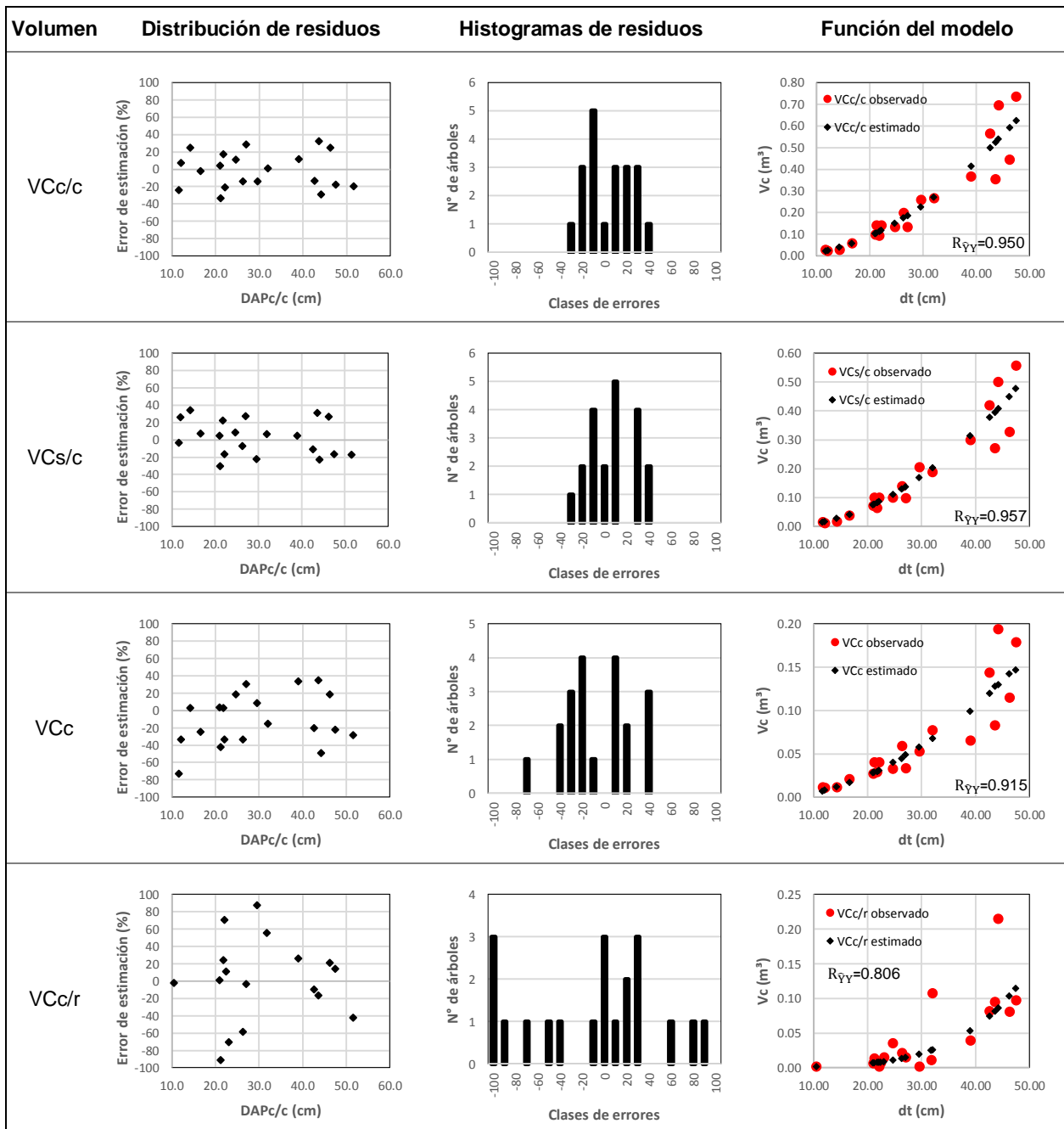


Figura 32. Gráficos de validación de estimación de volúmenes comerciales usando el diámetro del tocón (dt).

Tabla 41. Indicadores estadísticos de validación de estimación de volúmenes comerciales usando el diámetro del tocón (dt).

Indicador	Volumen comercial con corteza del fuste (VCc/c)	Volumen comercial sin corteza del fuste (VCs/c)	Volumen comercial de corteza en el fuste (VCc)	Volumen comercial de corteza en las ramas (VCc/r)
Coefficiente de correlación (R_{YY})	0.950	0.957	0.915	0.806
Coefficiente de determinación (R^2)	0.903	0.916	0.837	0.649
Error padrón residual (S_{yx})	0.043	0.031	0.014	0.022

Los resultados volumétricos se deben a que el diámetro del tocón solo estima un DAP y a la vez esta estima solo una altura y espesor de corteza, basándose en la suposición que árboles con estas medidas tienen los mismos volúmenes comercial. Pero de forma general si se puede realizar las estimaciones pues sus indicadores estadísticos y gráficas de residuos son buenos (Tabla 41 y Figura 32).

e. Tablas de estimación variables dasométricas usada en la cubicación de la quina

En campo cuando sólo se encuentre el tocón como evidencia de la extracción de quina, se debe medir su diámetro y usando las siguientes tablas estimar el DAPc/c, Hc y Ec; variables usadas para calcular los volúmenes de madera y corteza del árbol cortado.

Tabla 42. Tabla estimación del DAPc/c en función al Diámetro del tocón (dt).

Especie: <i>Cinchona officinalis</i> L. Nombre común: quina o cascarilla Ámbito: Z.A del B.P Pagaibamba – Querocoto – Chota Variable dependiente: Diámetro a la altura del pecho con corteza, cm (DAPc/c) Variable independiente: Diámetro del tocón con corteza a los 30 cm de altura, cm (dt) Modelo: $DAPc/c = 0.133831 + 0.832530 dt$ R_{yy}: 0.971 R²: 0.943 N° de árboles: 68							
dt (cm)	DAPc/c (cm)	dt (cm)	DAPc/c (cm)	dt (cm)	DAPc/c (cm)	dt (cm)	DAPc/c (cm)
10.0	8.5	20.5	17.2	31.0	25.9	41.5	34.7
10.5	8.9	21.0	17.6	31.5	26.4	42.0	35.1
11.0	9.3	21.5	18.0	32.0	26.8	42.5	35.5
11.5	9.7	22.0	18.4	32.5	27.2	43.0	35.9
12.0	10.1	22.5	18.9	33.0	27.6	43.5	36.3
12.5	10.5	23.0	19.3	33.5	28.0	44.0	36.8
13.0	11.0	23.5	19.7	34.0	28.4	44.5	37.2
13.5	11.4	24.0	20.1	34.5	28.9	45.0	37.6
14.0	11.8	24.5	20.5	35.0	29.3	45.5	38.0
14.5	12.2	25.0	20.9	35.5	29.7	46.0	38.4
15.0	12.6	25.5	21.4	36.0	30.1	46.5	38.8
15.5	13.0	26.0	21.8	36.5	30.5	47.0	39.3
16.0	13.5	26.5	22.2	37.0	30.9	47.5	39.7
16.5	13.9	27.0	22.6	37.5	31.4	48.0	40.1
17.0	14.3	27.5	23.0	38.0	31.8	48.5	40.5
17.5	14.7	28.0	23.4	38.5	32.2	49.0	40.9
18.0	15.1	28.5	23.9	39.0	32.6	49.5	41.3
18.5	15.5	29.0	24.3	39.5	33.0	50.0	41.8
19.0	16.0	29.5	24.7	40.0	33.4	50.5	42.2
19.5	16.4	30.0	25.1	40.5	33.9	51.0	42.6
20.0	16.8	30.5	25.5	41.0	34.3	51.5	43.0

Tabla 43. Tabla estimación de la altura comercial (Hc) en función del DAPc/c.

Especie: *Cinchona officinalis* L. **Nombre común:** quina o cascarilla
Ámbito: Z.A del B.P Pagaibamba – Querocoto – Chota
Variable dependiente: Altura comercial, m (Hc)
Variable independiente: Diámetro a la altura del pecho con corteza, cm (DAPc/c)
Modelo: $\ln Hc = 2.38826 + (-9.736169 \frac{1}{DAPc/c}) + \epsilon$
R_{Y_Y}: 0.745 **R²:** 0.555 **S_{yx}:** 1.141 **N° de árboles:** 68

DAP c/c (cm)	Hc (m)	DAP c/c (cm)	Hc (m)	DAP c/c (cm)	Hc (m)	DAP c/c (cm)	Hc (m)
10.0	4.12	20.5	6.78	31.0	7.96	41.5	8.62
10.5	4.31	21.0	6.85	31.5	8.00	42.0	8.64
11.0	4.50	21.5	6.93	32.0	8.04	42.5	8.66
11.5	4.67	22.0	7.00	32.5	8.07	43.0	8.69
12.0	4.84	22.5	7.07	33.0	8.11	43.5	8.71
12.5	5.00	23.0	7.13	33.5	8.15	44.0	8.73
13.0	5.15	23.5	7.20	34.0	8.18	44.5	8.75
13.5	5.30	24.0	7.26	34.5	8.22	45.0	8.77
14.0	5.43	24.5	7.32	35.0	8.25	45.5	8.80
14.5	5.57	25.0	7.38	35.5	8.28	46.0	8.82
15.0	5.69	25.5	7.44	36.0	8.31	46.5	8.84
15.5	5.81	26.0	7.49	36.5	8.34	47.0	8.86
16.0	5.93	26.5	7.54	37.0	8.37	47.5	8.88
16.5	6.04	27.0	7.60	37.5	8.40	48.0	8.89
17.0	6.14	27.5	7.65	38.0	8.43	48.5	8.91
17.5	6.25	28.0	7.69	38.5	8.46	49.0	8.93
18.0	6.34	28.5	7.74	39.0	8.49	49.5	8.95
18.5	6.44	29.0	7.79	39.5	8.51	50.0	8.97
19.0	6.53	29.5	7.83	40.0	8.54	50.5	8.98
19.5	6.61	30.0	7.88	40.5	8.57	51.0	9.00
20.0	6.70	30.5	7.92	41.0	8.59	51.5	9.02

Tabla 44. Tabla estimación del espesor de corteza (Ec) en función del DAPc/c.

Especie: <i>Cinchona officinalis</i> L. Nombre común: quina o cascarilla Ámbito: Z.A del B.P Pagaibamba – Querocoto – Chota Variable dependiente: Espesor de corteza, cm (Ec) Variable independiente: Diámetro a la altura del pecho con corteza, cm (DAPc/c) Modelo: $Ec = 0.29029 + 0.056507 \text{ DAPc/c} + \epsilon$ R_{yy}: 0.889 R²: 0.791 N° de árboles: 68							
DAP c/c (cm)	Ec (cm)	DAP c/c (cm)	Ec (cm)	DAP c/c (cm)	Ec (cm)	DAP c/c (cm)	Ec (cm)
10.0	0.9	20.5	1.4	31.0	2.0	41.5	2.6
10.5	0.9	21.0	1.5	31.5	2.1	42.0	2.7
11.0	0.9	21.5	1.5	32.0	2.1	42.5	2.7
11.5	0.9	22.0	1.5	32.5	2.1	43.0	2.7
12.0	1.0	22.5	1.6	33.0	2.2	43.5	2.7
12.5	1.0	23.0	1.6	33.5	2.2	44.0	2.8
13.0	1.0	23.5	1.6	34.0	2.2	44.5	2.8
13.5	1.1	24.0	1.6	34.5	2.2	45.0	2.8
14.0	1.1	24.5	1.7	35.0	2.3	45.5	2.9
14.5	1.1	25.0	1.7	35.5	2.3	46.0	2.9
15.0	1.1	25.5	1.7	36.0	2.3	46.5	2.9
15.5	1.2	26.0	1.8	36.5	2.4	47.0	2.9
16.0	1.2	26.5	1.8	37.0	2.4	47.5	3.0
16.5	1.2	27.0	1.8	37.5	2.4	48.0	3.0
17.0	1.3	27.5	1.8	38.0	2.4	48.5	3.0
17.5	1.3	28.0	1.9	38.5	2.5	49.0	3.1
18.0	1.3	28.5	1.9	39.0	2.5	49.5	3.1
18.5	1.3	29.0	1.9	39.5	2.5	50.0	3.1
19.0	1.4	29.5	2.0	40.0	2.6	50.5	3.1
19.5	1.4	30.0	2.0	40.5	2.6	51.0	3.2
20.0	1.4	30.5	2.0	41.0	2.6	51.5	3.2

A modo de ilustración, si se encuentra el tocón de un árbol de quina cortado en el bosque con un diámetro promedio de 21.1 cm; usando la Tabla 42, 43 y 44 se estimaría que el árbol tendría 17.6 cm de DAPc/c, 6.25 m de altura comercial y 1.3 cm de espesor de corteza. Finalmente, al emplear las tablas de cubicación 28, 29 y 30, se estimaría los volúmenes comerciales que habría tenido antes de su apeo, que sería de un VCc/c, VCs/c, VCc y VCc/r de 0.1039, 0.0755, 0.0284 y 0.0071 m³, respectivamente.

4.3. Determinación del valor comercial de la quina

Seguidamente se detallarán los resultados del valor comercial de un árbol promedio de quina y de los individuos comprendidos en una hectárea en la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.

a. Relación volumen – masa de corteza

En las estimaciones realizadas anteriormente el volumen de corteza es expresado en metros cúbicos, pero en el mercado este producto es vendido en peso (Kg). En el Anexo 4.3 están los datos obtenidos al evaluar las muestras de corteza y la Tabla 46 se tiene los resultados de la relación volumen – masa, donde se observa que las muestras fueron muy homogéneas (CV entre 2.69 y 8.27 %). El contenido de humedad de la corteza corchosa y no corchosa es de 46.5 y 68.8 %, respectivamente, por lo cual el primer tipo de corteza no pierde tanto peso al ser secada. Pero de forma general si un árbol de quina tiene 0.0284 m³ de corteza corchosa en su fuste, tendría 6.1 y 3.3 Kg de corteza en peso húmedo y seco respectivamente; si sus ramas son delgadas (corteza no corchosa) y tiene 0.0071 m³ de corteza, tendría 2.1 y 0.6 Kg de corteza en peso húmedo y seco respectivamente.

Tabla 45. Peso estimado en Kg de un 1m³ de corteza de quina.

Variables estadísticas	Corteza corchosa (Fuste y ramas gruesas)		Corteza no corchosa (Ramas delgadas)	
	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
Media	215.20	115.05	301.81	93.68
Máximo	241.69	126.92	315.25	101.44
Mínimo	195.56	103.86	288.86	83.84
Rango	46.13	23.06	26.38	17.6
Des. Estand.	17.79	9.31	8.11	6.71
CV %	8.27	8.10	2.69	7.16

b. Valor monetario de la quina en el Bosque

Teniendo en cuenta que en el estudio realizado por Villar *et al.* (2018) la distribución diamétrica de la quina en la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba, puede ser expresada mediante el modelo N° de individuos / ha = $\exp^{5.08144-(0.08812 \times \text{Marca de clase})}$ con un $R_{\hat{Y}Y}$ de 0.725 y en el presente trabajo los individuos usados para las regresiones van desde 10.2 a 45.8 cm de DAP; se consideró 7 clases diamétricas para la estimación de los volúmenes de madera y corteza en el bosque, Tabla 46.

Tabla 46. Distribución diamétrica estimada de la quina en la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.

Clases diamétricas c/c (cm)		Marca de clase c/c (cm)	Frecuencia/ha estimada
Límite inferior	Límite superior		
[10.2	15>	12.5	54
[15	20>	17.5	34
[20	25>	22.5	22
[25	30>	27.5	14
[30	35>	32.5	9
[35	40>	37.5	6
[40	45.8]	42.5	4
Total			154

En la Tabla 47 se muestra el volumen comercial (VCc/c, VCs/c, VCc y VCc/r) en metros cúbicos y peso de corteza un árbol de quina por cada clase diamétrica; y de un árbol promedio en el bosque, que tendría 27.5 cm, 7.65 m y 1.8 cm de DAP, altura comercial y espesor de corteza, respectivamente, con un volumen de madera de 0.2143 m³ y 10.4 Kg de corteza seca.

Tabla 47. Volúmenes de madera y corteza promedio en individuo por clase diamétrica en la ZA del BP de Pagaibamba.

Variables dasométricas				Volúmenes comerciales						Peso de corteza	
Clases diamétricas c/c (cm)	Marca de clase c/c (cm)	Hc (m)	Ec (cm)	VCc/c (m ³)	VCs/c (m ³)	VCc (m ³)	VCc %	VCc/r (m ³)	VCct (m ³)	Humedad (kg)	Seca (kg)
[10 - 15>	12.5	5.00	1.0	0.0438	0.0309	0.0129	29.5	0.0033	0.0162	4.18	1.69
[15 - 20>	17.5	6.25	1.3	0.1016	0.0740	0.0276	27.2	0.0069	0.0345	8.92	3.60
[20 - 25>	22.5	7.07	1.6	0.1826	0.1354	0.0472	25.8	0.0145	0.0617	15.95	6.44
[25 - 30>	27.5	7.65	1.8	0.2857	0.2143	0.0714	25.6	0.0286	0.1000	25.84	10.43
[30 - 35>	32.5	8.07	2.1	0.4103	0.3103	0.1000	24.4	0.0526	0.1526	39.46	15.93
[35 - 40>	37.5	8.40	2.4	0.5556	0.4227	0.1329	23.9	0.0914	0.2243	57.99	23.41
[40 – 45.8]	42.5	8.66	2.7	0.7211	0.5512	0.1699	23.6	0.1510	0.3209	82.96	33.49
Promedio	27.5	7.65	1.8	0.2857	0.2143	0.0714	25.6	0.0286	0.1000	25.84	10.43

Donde, **c/c**: con corteza; **Hc**: Altura comercial estimada; **Ec**: Espesor de corteza estimado; **VCc/c**: Volumen comercial con corteza del fuste; **VCs/c**: Volumen comercial sin corteza del fuste; **VCc**: Volumen de corteza en el fuste; **VCc/r**: Volumen comercial de corteza en las ramas; **VCct**: Volumen comercial de corteza total.

Finalmente, en la Tabla 48 se muestra el volumen comercial por hectárea de cada clase diamétrica, existiendo en la Zona de Amortiguamiento un volumen de madera de 17.6973 m³ y 919.15 Kg de corteza seca.

Tabla 48. Volúmenes de madera y corteza por hectárea en la ZA del BP de Pagaibamba.

Características dasométricas			Volúmenes comerciales		Peso de corteza	
Clases diamétricas c/c (cm)	Marca de clase c/c (cm)	Frecuencia/ha estimada	VCs/c (m ³)	VCct (m ³)	Peso de corteza humedad (kg)	Peso de corteza seca (kg)
[10 - 15>	12.5	54	1.6686	0.8748	225.72	91.26
[15 - 20>	17.5	34	2.5160	1.1730	303.28	122.40
[20 - 25>	22.5	22	2.9788	1.3574	350.90	141.68
[25 - 30>	27.5	14	3.0002	1.4000	361.76	146.02
[30 - 35>	32.5	9	2.7927	1.3734	355.14	143.37
[35 - 40>	37.5	6	2.5362	1.3458	347.94	140.46
[40 - 45.8]	42.5	4	2.2048	1.2836	331.84	133.96
Total		143	17.6973	8.8080	2276.58	919.15

Donde, **c/c**: con corteza; **VCs/c**: Volumen comercial sin corteza del fuste; **VCct**: Volumen comercial de corteza total.

Actualmente en el país la extracción de árboles del género *Cinchona* de bosques naturales está prohibido mediante la Resolución Ministerial N° 0258-99-AG, pero a pesar de esto siguen siendo extraídos por falta de conocimiento, para su uso local o por el cambio de cobertura para áreas agrícolas. Además, según datos de SERFOR (2018) en los últimos años se han incrementado la ocurrencia de incendios forestales originados por factores antrópicos por la habilitación de chacras de cultivo y quema de pastos, generado una pérdida en los último 5 años de 187 605.70 hectáreas a nivel Nacional. El Bosque de Protección de Pagaibamba, hábitat de poblaciones de quina, no estuvo ajeno a este problema; pues en el año 2016 se produjo un incendio que afectó aproximadamente 7500 ha.

Según el estudio realizado por Tapia (2013) en Ecuador, determinó que cultivar quina orgánica para venta de corteza es rentable a escala comercial, con un beneficio/costo de \$33.64; considerando un precio de \$ 40.00 el kilogramo de corteza seca. Actualmente, en el país no existe un mercado de corteza de quina establecido y menos de madera; por lo cual es complicado dar un valor monetario a estos productos, pero considerando el valor mencionado por Tapia y los resultados obtenidos en el presente trabajo; que en la Zona de Amortiguamiento de Protección de Pagaibamba un árbol promedio de quina tiene un volumen de madera de 0.2143 m³ y 10.4 Kg de corteza seca, el valor monetario de este individuo solo en corteza es de 349.9 dólares lo que equivale aproximadamente a 1 165 soles (1 dólar = 3.33 soles peruanos) y al estimar a la hectárea seria de 122 441.4 soles. Con los resultados obtenidos se observa que son costosas las pérdidas para el Estado por la extracción de individuos de quina y por la quema de los bosques, a pesar de no estar considerando los volúmenes maderables y los servicios ecosistémicos que brinda la especie.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El modelo que estima mejor los volúmenes comerciales de la *Cinchona officinalis* L. es el Schumacher e Hall, siendo la expresión para los volúmenes con corteza $\text{Log}(VCc/c) = -4.074253 + 1.840094 \text{Log}(DAPc/c) + 0.998038 \text{Log}(Hc) + \varepsilon$. con un $R_{\hat{Y}}$ de 0.994 y para volúmenes sin corteza $\text{Log}(VCs/c) = -4.095310 + 1.846095 \text{Log}(DAPs/c) + 1.001462 \text{Log}(Hc) + \varepsilon$. Con un $R_{\hat{Y}}$ de 0.993. El mejor modelo para estimar el volumen de corteza en las ramas es $\text{Ln}(VCc/r) = -21.802115 + 5.049605 \text{Ln}(DAPc/c) + 41.571280 \frac{1}{DAPc/c} + \varepsilon$ con un $R_{\hat{Y}}$ de 0.829.
- Es posible estimar las variables dasométricas usadas en la cubicación de la especie, siendo los mejores modelos los siguientes:
 - $DAPc/c = 0.133831 + 0.832530 dt$ con un R^2 de 0.943.
 - $\text{Ln } Hc = 2.38826 + (-9.736169 \frac{1}{DAPc/c}) + \varepsilon$ con un $R_{\hat{Y}}$ de 0.745.
 - $E_c = 0.29029 + 0.056507 DAPc/c + \varepsilon$ con un R^2 de 0.791.
- En la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba un árbol promedio de la especie tiene 27.5 cm de DAP con un volumen de madera de 0.2143 m³ y 10.4 Kg de corteza seca y el valor monetario aproximado de sólo su corteza es de 1 165 nuevos soles.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda aumentar el número de árboles mensurados en futuros trabajos de investigación, realizando el registro de datos usando

instrumentos comunes (forcípulas, cintas diamétricas e hipsómetros), así como equipos laser (relascope de Bitterlich o Field-map).

- Se recomienda usar los modelos de regresión seleccionados y las tablas de cubicación elaboradas en lugares donde la especie tenga las mismas condiciones silviculturales y estructurales, además en individuos comprendidos entre los rangos dasométricos usados (DAPc/c, Hc, dt).
- Se recomienda usar los resultados de la presente investigación para hacer trabajos de investigación orientados a la evaluación del crecimiento e incremento (epidometría) de la especie.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, E. 2010. Análisis estadísticos de datos usando MINITAB (en línea). Puerto Rico. Consultado 10 enero 2019. Disponible en <http://academic.uprm.edu/eacuna/covertex.pdf>
- Aguilar Ramírez, M; Velarde Ramírez, JC. 2001. Tablas de volúmenes para la estimación del volumen forestal. Costa Rica, Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias. 48 p.
- Aldaz Loja, LJ; Ochoa Luzuriaga, IL. 2011. Propagación asexual de diez especies forestales y arbustivas en el jardín botánico “Reinaldo Espinosa”. Tesis de Ingeniero Forestal. Loja, Ecuador, Universidad de Loja, Ecuador. 113 p.
- Alder, D.1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: con referencia a los trópicos. Roma, Italia, FAO. v.2, 209 p.
- Alvarado, J; Obagi, J. 2008. Inferencia Estadística. Bogotá, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana. 358 p.
- Amparado, KF; Carvalho, AM; Garcia, RA; Latorraca, JVF. 2008. Caracterização do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Smith nas condições verde e seca. Revista Forestal Venezuelana 52(1):71-76.
- Anda, A. 2002. La Cascarilla. Loja, Ecuador, Universidad Técnica Particular de Loja. 192 p.
- Aponte Correa, RV; Sanmartín Bermeo, JC. 2011. Fenología y ensayos de germinación de diez especies forestales nativas con potencial productivo maderable y no maderable del Bosque Protector “El Bosque”, de la parroquia San Pedro de Vilcabamba – Loja. Tesis de ingeniero Forestal. Loja, Ecuador, Universidad de Loja, Ecuador. 101 p.
- Azevêdo, TKB; Paes, JB; Calegari, L; Nascimento, JWB. 2014. Relações entre volume e massa da madeira e casca de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*). Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias 9(1): 97-102.
- Azevedo, TL; Mello, AA; Ferreira, RA; Sanquetta, CR; Nakajima, NY. 2011. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus*

- sp.* localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. 6(1): 105-112.
- Báes, R; Gra, H. 1990. Estudios dasométricos en *Casuarina equisetifolia*. Determinación del d1.30 a partir del diámetro del tocón. Revista Forestal Baracoa 20(2): 63-68.
- Barrena Arroyo, V. 1990. Estimaciones del volumen de árboles de la Amazonia peruana a partir de ecuaciones de ahusamiento. Traducción de Tesis para optar el grado de Maestría en Ciencias. Facultad de Forestaría y Geodesia. Canadá, Universidad Laval. 115 p.
- Bautista, C. 2000. Estimación del volumen de un rodal cultivado usando índices de forma. Tesis de Ingeniero Forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 64 p.
- Benítez Naranjo, JY; Rivero Vega, M; Vidal Corona, A; Rodríguez-Rodríguez³; Álvarez-Rivera, RC. 2004. Estimación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* forst. de la provincia Camagüey, Cuba. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 10(1): 25-30
- Benítez Naranjo, JY; Rivero Vega, M; Vidal Corona, A; Toirac Argüelles, W; Peláez Martínez, U. 2010. Estimación de la altura total en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. Revista Forestal Baracoa 29 (1):41-48.
- Bylin, CV. 1982. Volume prediction from stump diameter and stump height of selected species in Louisiana. USDA For. Ser. Res. 11 pp.
- Cabrera Tirabanti, ML. 2015. Almacenamiento de carbono en sistema agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y san Ignacio. Tesis de ingeniero Forestal. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén. 76 p.
- Cadima, EL. 2003. Manual de evaluación de recursos pesqueros (en línea). Roma, Italia. FAO. 23 p. Consultado 10 enero 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/X8498S/x8498s00.htm>

- Cailleuz, F. 1980. Estimación de volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Roma, Italia, FAO. 92 p.
- Calderón, DA. s.f. Mensura Forestal Dasometría (en línea). Cuyo, Argentina, Universidad Nacional de Cuyo. 31 p. Consultado 10 set 2016. Disponible en: http://campus.fca.uncu.edu.ar/pluginfile.php/19953/mod_resource/content/1/Mensura%20Forestal%205.pdf
- Calzada B, J. 1970. Métodos estadísticos para la investigación. 3 ed. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 642 p.
- Camargo Ricalde, SL. 2000. Descripción, distribución, anatomía, composición química y usos de *Mimosa tenuiflora* (Fabaceae-Mimosoideae) en México. Rev. Biol. Trop 48(4): 939-954.
- Camp, WH. 1949. Cinchona at high altitudes in Ecuador. Brittonia 6 (4): 394-430.
- Campos, JCC. 1970. Estudo sobre índice de sítio e tabelas de volume e produção para *Pinus elliottii* Engelm no estado de São Paulo. Teses de Mag.Sc. Costa Rica, IICA. 95 p.
- Campos, JCC; Leite, HG. 2013. Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas. 4 ed. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. UFV. 605 p.
- Campos, JCC; Trevizol Júnior, TL; Neto, F P. 1985. Ainda, sobre a seleção de equações de volume. Revista Árvore 9(2): 115-126.
- Cancino J. 2006. Dendrometría básica (en línea). Concepción, Chile, Universidad de Concepción. 163 p. Consultado 10 set 2017. Disponible en: http://www.sibudec.cl/ebook/UDEC_Dendrometria_Basica.pdf
- Caraguay Yaguana, KA; Eras Guaman, VH; González Zaruma, D; Moreno Serrano, J; Minchala Patiño, J; Yaguana Arevalo, M; Valarezo Ortega, C. 2016. Potencial reproductivo y análisis de calidad de semillas de *Cinchona officinalis* L., provenientes de relictos boscosos en la Provincia de Loja – Ecuador. Rev. Investig. Altoandino 18 (3): 271 – 280.
- Catpo, JE. 2004. Determinación de la ecuación alométrica de *Pinus patula* y estimación del contenido de carbono en su biomasa arbórea en Porcón,

- Cajamarca, Perú. Tesis de Ingeniero Forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 58 p
- Cecon, PR; Da silva, AR; Nascimento, M; Ferreira, A. 2012. Métodos estadísticos. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. UFV. 311 p.
- Colpini, C; Travagin; DP; Soares, ST; SILVA, VSM. 2009. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. Acta Amazonica 39(1): 97 - 104.
- Conde Montaña, ME; Moreno Serrano, JA; Eras Guamán, VH; Minchala Patiño, J; González Zaruma, D; Yaguana Arévalo, M; Valarezo Ortegana, C. 2017. Multiplicación sexual y asexual de *Cinchona officinalis* L., con fines de conservación de la especie. Rev. Tzhoecoen 9(1).
- Condor C, E; Oliveira, BH; Loayza O, K; Reyna P, V. 2009. Estudio químico de los tallos de *Cinchona pubescens* Vahl. Rev Soc Quím Perú 75:54.
- Cubillos, DV. 1987. Modelos de crecimiento diametral para algunos renovales de Raullí. Ciencia e Investigación Forestal (INFOR) (1): 67-77.
- Cuvi, N. 2009. Ciencia e imperialismo en América Latina: La misión de Chinchona y las estaciones agrícolas cooperativas (1940 – 1945). Barcelona, España, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Da Cunha US. 2004. Dendrometria e Inventário Florestal (en línea). Manaus, Brasil, Escola Agrotécnica Federal de Manaus. 53 p. Consultado 10 set 2017. Disponible en: <https://engenhariaflorestal.jatai.ufg.br/up/284/o/dendroinv.pdf>
- Da Cunha, TA; Guimarães Finger, CA. 2009. Modelo de regresión para estimar el volumen total con corteza de árboles de *Pinus taeda* L. en el sur de Brasil. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 6(16):26-40.
- Da Cunha, TA; Vargas Muñoz, JO; Escalier Hinoja, M. 2009. Ajuste y selección de modelos de regresión para estimar el volumen total de árboles. Cochabamba, Bolivia, Proyecto FOMABO. 28p.

- Da Silva, F; Corte, APD; Sanquetta, CR. 2011. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. *Scientia Forestalis* 39(91):367-376.
- Daniel, TW; Helms, JÁ; Backer, FS. 1982. Principios de silvicultura. Granjas Esmeraldas, México, McGRAW-WILL. 490 p.
- De Lima, RB; Aparício, PS; Aparício, WCS; Guedes, MC; Oliveira, CP. s.f. Equações Volumétricas Por Classes De Diâmetro Para A Floresta Estadual Do Amapá, Brasil. s.e. :1-10.
- Del Águila Chilicahua, C. 2013. Ecuaciones volumétricas para especies forestales aprovechadas de un bosque húmedo tropical de la comunidad nativa Santa Mercedes, rio Putumayo. Perú. Tesis de Ingeniero Forestal. Iquitos, Perú, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 84 p.
- Di Rienzo J.A; Casanoves F; Balzarini M.G; Gonzalez L; Tablada M; Robledo C.W. 2008. InfoStat: Software Estadístico, Manual del Usuario. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. 336 p.
- Diéguez Aranda, U; Barrio Anta, M; Castedo Dorado, F; Balboa Murias, M. 2003. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. *Invest. Agrar: Sist. Recur. For* 12(2):131-139.
- Diéguez Aranda, U; Castedo Dorado, F; Álvarez González, JG; Rojo Alboreca, A. 2005. Prácticas de dasometría. España, s.e. 121 p.
- Dos Santos, K; Sanquetta, CR; Eisfield, RL; Watzlawick, LF; Ziliotto, MAB. 2006. Equações Volumétricas por Classe Diamétrica para Algumas Espécies Folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. *Revista Ciências Exatas e Naturais* 8(1):99-112.
- Drescher, R; Schneider, PR; Guimarães, CAF; Queiroz, FLC. 2001. Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* Engelm para a região da serra do sudeste do estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural* 31(1):37-42.

- Erazo, NDC. 2009. Estrutura e modelagem volumétrica de uma floresta tropical úmida de terra firme, em Manicoré, Amazonas. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Lavras, Brasil, Universidade Federal de Lavras. 109 p.
- Escobar Cadillo, ML. 2018. Volumetría de árboles en pie de caoba (*Swietenia Macrophylla* King) en el departamento de Madre de Dios, Perú. Tesis de Ingeniero en Forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 93 p.
- Feijó César, Espinoza Francis; Cueva Milena; Hidalgo Fanny; Ramón Danny; Jumbo Jorge; Moreno José; Yaguana Magaly; Eras-Guamán Víctor; Pucha-Cofrep Darwin. 2019. Propiedades físicas y características anatómicas de la madera de *Cinchona officinalis* (L.) Ruiz y *Cinchona macrocalyx* Pav. ex DC en relictos boscosos al sur de Ecuador. Bosques Latitud Cero 9 (1):94-109.
- Fernández R, AM. 2017. Identificación y caracterización del género *Cinchona* en la Zona de Amortiguamiento del área de conservación municipal - Bosque Huamantanga, Jaén – Perú. Tesis de Ingeniero en Forestal. Jaén, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca-Sede Jaén. 78 p.
- Filho AF; Machado AS; Miranda ROV; Retslaff FAS. 2014. Compêndio de equações de volume e de afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para regiões geográficas do Brasil. Curitiba, Brasil, UFPR. 305 p.
- Filio Bonilla, AR. 2010. Estimación del diámetro normal y volumen comercial a partir del diámetro y altura de tocones en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill – Huanchar – Valle del Mantaro. Tesis de Ingeniero en Forestal. Huancayo, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 82 p.
- Fucaraccio, F; Sttafieri, GM. 1999. Desarrollo y uso de ecuaciones de volumen y tablas de volumen en la República de Argentina. La Plata, Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional de la Plata. 26 p
- García O. 1995. Apuntes de mensura Forestal. (en línea). Chile, Universidad Austral de Chile. Consultado 10 set 2016. 65 p. Disponible en: <http://web.unbc.ca/~garcia/unpub/mensura.pdf>

- García O. 1995. Apuntes de mensura Forestal. (en línea). Chile, Universidad Austral de Chile. Consultado 10 set 2016. 65 p. Disponible en: <http://web.unbc.ca/~garcia/unpub/mensura.pdf>
- García SLR; Leite, HG. 2013. Curso de Estatística. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. UFV. 455 p.
- Garmendia Salvador, A. 1999. "El árbol de la Quina" (*Cinchona spp.*): distribución, caracterización de su hábitat y arquitectura. Memoria Doctoral inédita. Madrid, España, Universidad Complutense. 305 p.
- Girard, E. A. 2005. Volume, biomassa e rendimento de óleos essenciais do craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*(Gomes) Landrum) em Floresta Ombrófila Mista. Teses de mestrado em Engenharia Florestal. Paraná, Brasil, Universidade Federal do Paraná. 72 p.
- Gobierno Regional de Cajamarca. 2018. Línea base de flora y fauna del bosque de protección Pagaibamba, en el marco del proyecto "Recuperación del servicio hídrico de área de amortiguamiento del bosque de protección Pagaibamba, distrito de Querocoto, Provincia de Chota, región Cajamarca". Cajamarca, Perú. 214 p.
- Gomes FP. 2009. Curso de estatística experimental. 15 ed. Piracicaba, São Paulo, Brasil, FEALQ. 451 p.
- Gonzada Godos, LE; Moncayo Navarrete, MS. 2012. Fenología, producción de hojarasca y ensayos de germinación de las principales especies nativas del bosque protector "El Bosque" parroquia San Pedro de Vilcabamba, Loja. Tesis de Ingeniero Forestal. Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja. 96 p.
- Guerra, W; Soudre Z. M; Chota, M. 2008. Tabla de volumen comercial de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) de las plantaciones experimentales de Alexander von Humboldt, Ucayali, Perú. Folia Amazónica 17(1-2): 47-58.
- Guimarães, D.P.; Leite, H.G. 1996. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. Scientia Forestalis (50): 37-42.

- Hairiah, K; Sitompul, SM, Van Noodwick, M; Palm, C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Centre for Research in Agroforestry. Bogor, Indonesia, International Centre for Research in Agroforestry. 23 p.
- Henry T, PP; García D, JM; Fosado T, AO; Domínguez G, A. 2009. Obtención de modelos matemáticos para la elaboración de tablas de volumen de madera en Bolo para cuatro especies de latifolias de la ciénaga de zapata. Ra Ximhai 5(3): 297-306.
- Hernández R, J; Hernandez R, A; Garcia C, X; Tamarit U, JC; Martinez A, L; Garcia M, J. 2017. Ecuaciones de volumen total y de razón para estimar el volumen comercial de *Swietenia macrophylla* King. Colombia Forestal 21(1): 34-46.
- Herrerías P, R; Palacios G, F. 2007. Curso de inferencia estadística y del modelo lineal simple. Madrid, España, Delta. 206 p.
- Higuchi, N.1978. Tabelas de volume para povoamentos nativos de canaf1stula (Leguminosae), cedro (Meliaceae), pau marfim (Rutaceae) e canelas (Lauraceae), no extremo oeste paranaense. Teses de pós-graduação em engenharia florestal. Paraná, Brasil, Universidade Federal do Paraná. 96 p.
- Hodge WH. 1948. Wartime Cinchona procurement in Latin America. Economic Botany. University of Massachussetts :229-257.
- Hodge, WH. 1947. Cinchona Procurement in Latin America. Economic Botany. University of Massachussetts :229-257.
- Husch, B; Beers, TW; Kershaw, JA. 2003. Forest mensuration. 4 ed. New York, United States, Jhon Wiley & Sons. 443 p.
- Imaña-Encinas, J. 2011. Mensura dasométricas (en línea). 2 ed. Brasilia, Brasil, Universidade de Brasília. 113p. Consultado 10 set 2017. Disponible en: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15807/3/LIVRO_MensuraDasom%C3%A9trica.pdf
- Jaramillo T; Cornejo X; Pitman N. 2004. *Cinchona rugosa* (en línea). IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species, Version 2012.2.

- Júnior JIR. 2013. Análises Estatísticas no Excel: Guia Prático. 2 ed. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. UFV. 311 p.
- Ladrach, W. 2010. Manejo práctico de plantaciones forestales en el trópico y subtropical. Cartago, Costa Rica, Tecnológica de Costa Rica. 660 pp.
- Lansanova, LR; Da Silva, FA; Schons, CT; Pereira, ACS. 2018. Comparação entre diferentes métodos para estimativa volumétrica de espécies comerciais da amazônia. *Biofix Scientific Journal* 3(1):109-115.
- Lojan, L. 1966. Una fórmula para estimar volúmenes en un bosque tropical húmedo. Turrialba, CR. *Revista interamericana de ciencias agrícolas*. 16(1): 67-72.
- Macdiken k. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, United States, Winrock International Institute for Agricultural Development. 45 p.
- Machado AS; Conceição, MB; Figueiredo, DJ. 2002. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. *Revista Ciências Exatas e Naturais* 4(2):185-197.
- Machado Carcasés, EG; Pereira, A; Ríos, NA. 2003. Tabla de volumen para *Buchenavia capitata* Vahl. *Revista de Ciencias Forestales – Quebracho*, 10: 76-82.
- Machado, S A; Urbano, E; Conceição, MB. 2005. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbastes. *Boletim de Pesquisa Florestal* (50): 91-98.
- Malleux Orjeda, J. 1892. Inventarios forestales en bosque tropicales. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 414 p.
- Martínez L, J; Acosta R, A. 2014. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina*, en Ixtlán, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 20(1): 59-70.
- McClure, J.P. 1968. Predicting tree dbh from stump measurements in the southeast. *USDA For. Ser. Res. Note SE* (99):60.

- Mello, MP; Peternelli, LA. 2013. Conhecendo o r uma visão mais que estatística. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, UFV. 222 p.
- Mendoza, H; Ramírez P, BR; Jiménez, LC. 2004. Rubiaceae de Colombia: Guía ilustrada de géneros. Bogotá, Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 351 p.
- Mendoza, H; Ramírez P, BR; Jiménez, LC. 2004. RUBIACEAE DE COLOMBIA: Guía ilustrada de géneros. Bogotá, Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 351 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2014. Perú, reino de bosques. Lima, Perú. 303 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú); MINAGRI (Ministerio de Agricultura, Perú). s.f. El Perú de los bosques. Lima, Perú. 140 p.
- Montalvo, Vitoli. B., Casas, Goycochea. G. 2017. Ecuación volumétrica para valorar el vuelo forestal del Parque Forestal Aylambo de la Universidad Nacional de Cajamarca. Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería 1(1).
- Muñoz F, HJ; Madrigal HS; Aguilar RM; García MJ; Lara RM. 2003. Tablas de volumen para *Pinus lawsonii* Roezl y *P. pringlei* Shaw. en el Oriente de Michoacán. Cien. For. Méx. 28(94):81-104.
- Navar, JJ; Domínguez, PA. 1997. Ajuste de modelos de volumen y funciones que describen el perfil diamétrico de cuatro especies de pino plantadas en el Nordeste de México. Forest Systems 6(1): 147-161.
- Nieto, M. 2004. Remedios para el imperio, historia natural y la apropiación del Nuevo Mundo, 2000. Revista colombiana de sociología (23):295-298.
- Ocampo P, M; Gillis, M; Sánchez, M. 1989. Tablas de cubicación para *Eucalyptus globulus* en cercos agrícolas y rodales en el departamento de Cajamarca. Cajamarca, Perú, CICAFOR. 43 p.
- Ojeda O, W. 2001. Factor de Forma Preliminar para seis Familias de Especies Forestales Tropicales. Revista Forestal del Perú, 11(1-2):1-6.

- Ortiz Malavasi, E. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71 p.
- Ovalle Focori, D. 2008. Determinación del factor de forma de *Dipteryx micrantha* Harms (shihuahuaco) en el consolidado otorongo -provincia de Tahuamanu. Tesis de Ingeniero en Forestal. Madre de Dios, Perú, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. 126 p.
- Pardé, J. 1961. Dendrométrie. Ecole Nationale des Eaux et Forets. Nancy. 350p.
- Parresol BR. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4):573–593.
- Petijean M; Saint Geours, S. 1998. La economía de la cascarilla en el corregimiento de Loja (en línea). Institut Francais d' études andines. Consultado enero 2019. Disponible en: <https://books.openedition.org/ifea/3290?lang=es>
- Philip, M.S. 1994. Measuring trees and forest. Centre for Agriculture and Biosciences International. Cambridge. Reino Unido. 310p.
- Picard N; Lurent, AS; Matieu, H. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles. Roma, Italia, FAO. 223 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura Forestal. San José, Costa Rica, IICA. 586p.
- PRO-MANU (Biosfera y Parque Nacional del Manu); IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana). 2001. Investigación participativa sobre las especies de Cinchona, otras antimaláricas y biocidas en seis comunidades nativas de la Reserva de Biosfera del Manu. Perú. 32p.
- Quiliche Chávez, L. 2015. Estudio poblacional, distribución geográfica, propuestas de conservación de género Cinchona L. (Rubiaceae) en los bosques montanos de la parte central de la Región Cajamarca. Tesis de Ingeniero Forestal. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 75 p.
- Ramos Uvilla, JA; García Magaña, JJ; Hernández-Ramos, J; García-Cuevas, X; Velarde Ramírez, JC; Muñoz Flores, MF; García Espinoza, GG. 2014.

- Ecuaciones y tablas de volumen para dos especies de *Pinus* de la sierra Purhépecha, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(23): 92-109.
- Resolución de dirección ejecutiva N°046, 2016. Lineamientos para lo formulación del Plan general de Manejo Forestal y los Lineamientos para la elaboración de los Planes Operativos. SERFOR. 11 marzo.
- Resolución Ministerial N° 0258-99-AG, 1999. Prohíben en todo el país la extracción de especímenes del género *Cinchona*, en bosques naturales. *El Peruano*. Perú. 9 abril.
- Resolución N° 130, 2017. Plan maestro del Bosque de Protección Pagaibamba 2017-2021. *El Peruano*. Perú. 22 May.
- Ríos Torrez, M. 2001. Estudios Nacionales sobre productos no madereros en América Latina: compilación y análisis sobre los productos forestales no madereros (PFNM) en el Perú. Santiago, Chile, FAO. 62 p.
- Rodríguez V, JA; Steegmann P, C. s.f. Modelos Matemáticos. (en línea). Cataluña, España, Universidad Abierta de Cataluña. Consultado 10 enero 2019. Disponible en: http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Modelos_matematicos.pdf
- Romahn V, CF; Ramírez M, H. 2010. Dendrometría. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 312 p.
- Romero Saavedra, CN. 2017. Estimación del volumen de árboles en pie de caoba (*Swietenia macrophylla* king) en el departamento de Ucayali, Perú. Tesis de Ingeniero Forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 114 p.
- Romero Saritama, JM. 2015. Rasgos morfológicos de frutos, semillas y embriones de *Cinchona officinalis* L. (RUBIACEAE) en el sur del Ecuador. *REMCB* 36(2): 27- 35.
- Romero, N. 2012. La revolución en la toma de decisiones estadísticas: el p-valor. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales* 14 (3): 439-446.
- Romero, R. 1982. Flores para el Rey. Barcelona, Serbal. 347 p.

- Romero, R; Zunica, L. 1993. Estadística Conceptos básicos - Análisis de la varianza - Diseño de experimentos - Modelos de regresión - Procesos estocásticos. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia. 302 p.
- Ruiz Icochea, ER. 2007. Elaboración de una ecuación de volumen para un bosque de terrazas altas en el codo del Pozuzo, Puerto Inca, Huánuco. Tesis de Ingeniero Forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 115 p.
- Salas, C; Nieto, L; Irisarri, A. 2005. Modelos de volumen para *Pinus pinaster* Ait. en la Comarca del Baixo Miño, Galicia, España. Quebracho (12):11-22.
- Segura, M; Venegas, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Costa Rica, CATIE. 46 p.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Lima). 2018. Plan de prevención y reducción de riesgos de incendios forestales. Lima, Perú. 55 p.
- Silva, J.A. 1974. Seleção de parcelas amostrais aplicadas empovoamentos de *Pinus taeda* L. para fins biométricos em Santa Maria - RS. Santa Maria, Teses de mestrado Engenharia Rural. Brasil, Universidade Federal de Santa Maria. 87 p.
- Silva, J.A. 1977. Biometria e estatística florestal. Santa Maria, Brasil, UFSM. 235p.
- Silva, JA; Neto, FP. 1979. Principios básicos de la dendrometría. Recife, Brasil, Universidade Federal Rural de Pernambuco. 185 p.
- Soares CPB; Neto FP; Souza AL. 2011. Dendrometria e Inventario Florestal. 2 ed. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, UFV. 270 p.
- Soares, BCP; Leite, GH; Görgens, BE. 2005. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. Revista árvore 29(5):711-718.
- Steel, RGD; Torrie, JH. 1992. Bioestadística principios y procedimientos. 2 ed. Bogotá, Colombia, McGraw-Hill. 622 p.
- Tapia Alvarado, JL. 2013. Estudio de factibilidad para la producción orgánica y comercialización de Quina (*Cinchona officinalis*) en el cantón Loja. Tesis de

- Ingeniero en Agroempresas. Ecuador, Universidad San Francisco de Quito. 83 p.
- Taylor N. 1943. Quinine: the story of cinchona. *The Scientific Monthly* (57):17–32.
- The Plant List. 2019. *Cinchona* (en línea, sitio web). Consultado 29 oct. 2019. Disponible en <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=Cinchona>
- Thomas, C; Andrade, CM; Schneider, PR; Finger, CAG. 2006. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal* 16(3): 319-327.
- Tinoco Zamora, JA.2019. Ecuaciones volumétricas para estimar la producción de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken en plantaciones agroforestales de café del centro poblado San Miguel de las Naranjas, Jaén – Cajamarca. Tesis de ingeniero Forestal. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 53 p.
- Trópicos. 2019. *Cinchona officinalis* L. (en línea, sitio web). Consultado 14 oct. 2019. Disponible en <http://www.tropicos.org/Name/27900157>
- Ulloa, C. 2006. Aromas y sabores andinos: Botánica económica de los Andes Centrales. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. 313 p.
- Vásquez. Arce, V. 2014. Diseños experimentales con SAS. Cajamarca, Perú, CONCYTEC FONDECYT. 704 p.
- Vélez, I. 2003. Apuntes de Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración (en línea). Bogotá, Colombia. Consultado 10 enero 2019. Disponible en <http://www.gacetafinanciera.com/TEORIARIESGO/regresion.pdf>
- Villanueva G, A; Jiménez P, A. 1982. Dasometría. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Perú. 91p.
- Villar Cabeza, MA; Marcelo Bazán, FE; Baselly Villanueva, JR. Estudio silvicultural de la Quina: *Cinchona officinalis* L. Cajamarca, Perú, Instituto Nacional De Innovación Agraria. 237 p.
- Westfall, AJ. 2010. New models for predicting diameter at breast height from stump dimensions. *Northern Journal of Applied Forestry* 27(1):21-27.

- Wharton, HE. 1984. Predicting diameter at breast height from stump diameter for Northeastern tree species. USDA For. Ser. Res. Note NE-322. 4 p.
- Yucta Quinteros, MF. 2016. Estructura y composición florística asociada al hábitat de crecimiento de *Cinchona officinalis* L. En la provincia de Loja. Tesis de Ingeniero Forestal. Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja. 144p.
- Zevallos Pollito, PA. 1989. Taxonomía, Distribución Geografía y status del género *Cinchona* en el Perú. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 75.

ANEXOS

Anexo 1. Glosario de términos

Anexo 1.1. Abreviaturas

ANP: Área Natural Protegida

bh – MT: Bosque húmedo Montano Tropical

bh-MBT: Bosque húmedo Montano Bajo Tropical

bs-MBT: Bosque seco Montano Bajo Tropical

BP: Bosque de Protección

CV: Coeficiente de Variación

E: Error admisible

GPS: Global Positioning System

IF: Índice de Fumival

INIA: Instituto Nacional de Innovación Agraria

MINAGRI: Ministerio de Agricultura y Riego

MINAM: Ministerio del Ambiente

S_{yx}: Error padrón residual

PCA: Parcelas de Corta Anual

R²: Coeficiente de determinación

R²aj: Coeficiente de determinación ajustado

R_YY: Coeficiente de correlación

R.S: Resolución Suprema.

SERFOR: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.

SERNAP: Servicio Nacional de área Naturales Protegidas

ZA: Zona de Amortiguamiento

Anexo 1.2. Símbolos de medida forestal

Basado lo recomendado por International Union of Forest Research Organizations (Soares *et al.* 2011).

AB: Área basal

CAP: Circunferencia a la altura del pecho, 1.30 m.

DAP: Diámetro a 1.3 m de la altura del suelo

DAPc/c: Diámetro a 1.3 m de la altura del suelo con corteza

DAPs/c: Diámetro a 1.3 m de la altura del suelo sin corteza.

dt: Diámetro a 30 cm de la altura del suelo con corteza

Ec: Espesor de corteza

f: Factor de forma

Hc: Altura comercial

Ht: Altura total

VC: Volumen comercial

VCc/c: Volumen comercial con corteza del fuste

VCs/c: Volumen comercial sin corteza del fuste

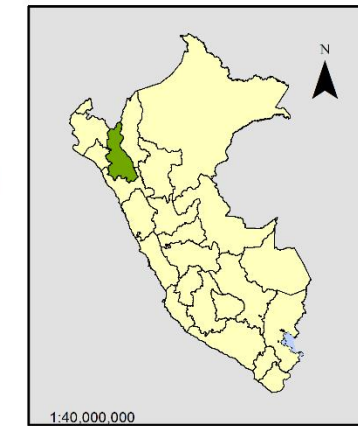
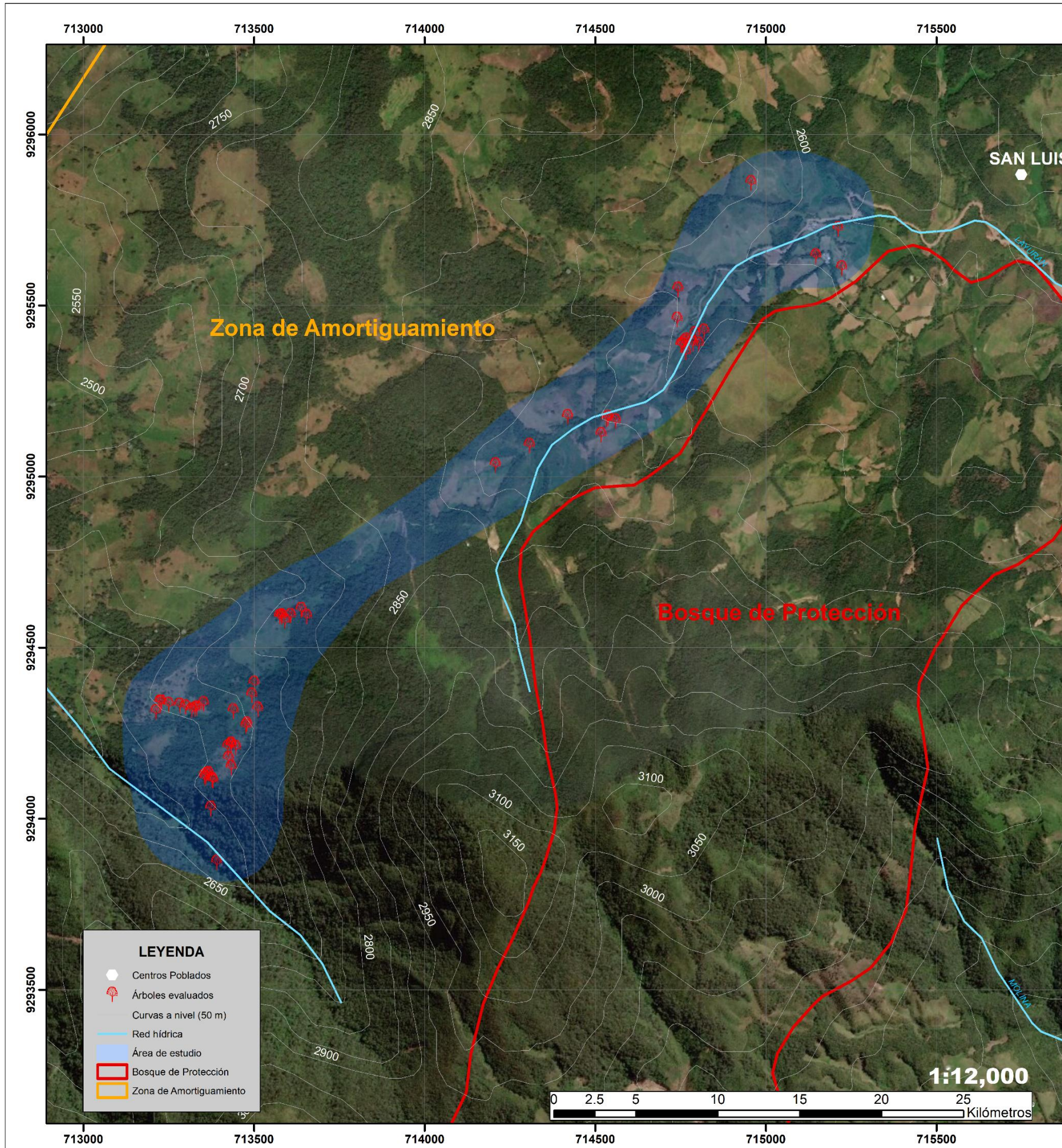
VCc: Volumen comercial de corteza en el fuste

VCc/r: Volumen comercial de corteza en las ramas

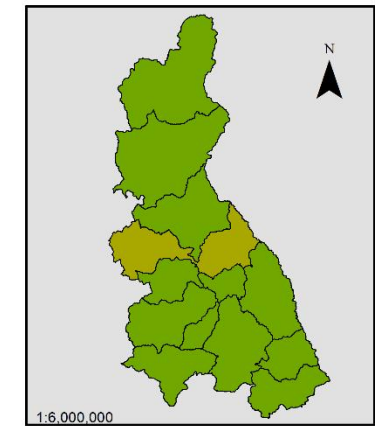
VCct: Volumen comercial de corteza total

VT: Volumen total

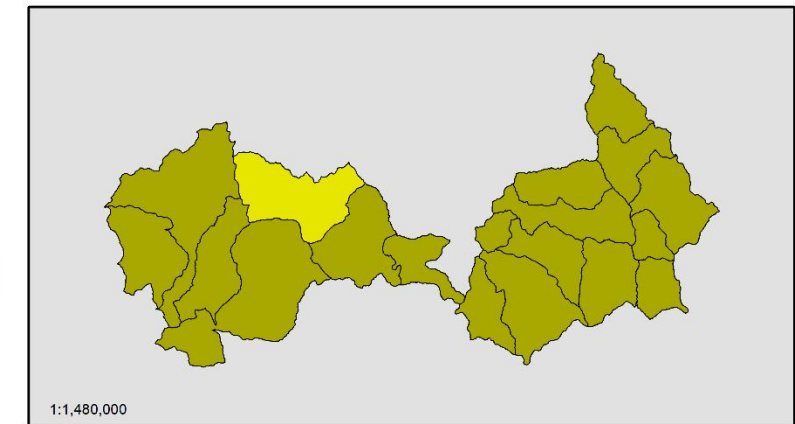
Anexo 2. Plano de ubicación y localización de los árboles evaluados



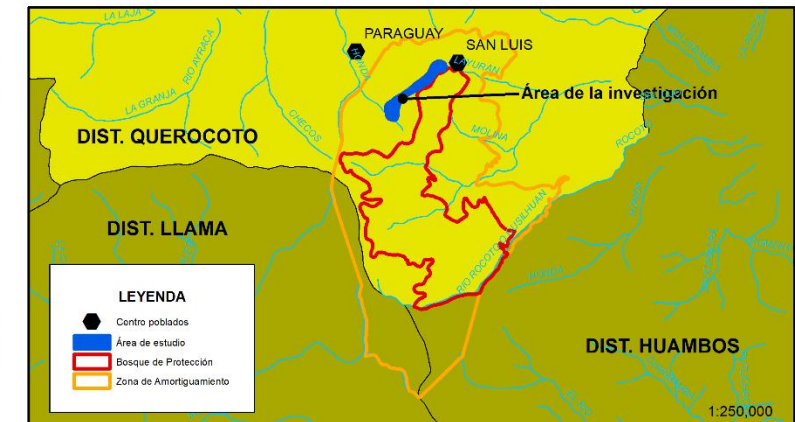
Departamento de Cajamarca




Provincia de Chota

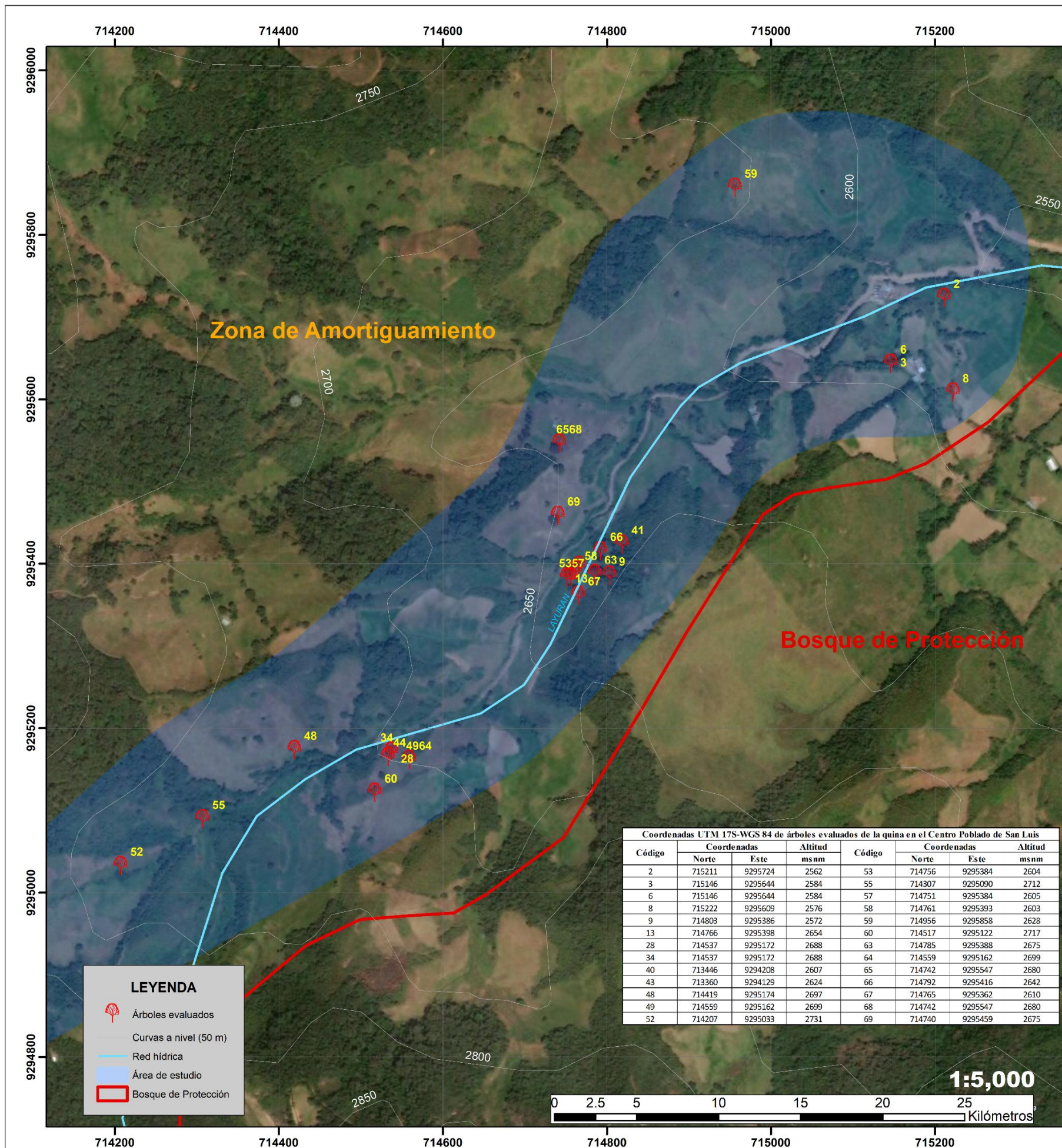


Distrito de Querocoto



Bosque de Protección de Paigabamba

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL			
TESIS	ESTIMACIONES DE VOLÚMENES COMERCIALES DE LA <i>Cinchona officinalis</i> L. (QUINA) EN EL DISTRITO DE QUEROCOTO		
PLANO	UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE ÁRBOLES EVALUADOS EN LA INVESTIGACIÓN		
TESISTA	BACHILLER. JUAN RODRIGO BASELLO VILLANUEVA		
ASESOR	ING. ANDRÉS HIBERNÓN, LOZANO LOZANO		
UBICACIÓN	DEPARTAMENTO CAJAMARCA	ESCALA 1 : 12 000	FECHA 28/08/2018
	PROVINCIA CHOTA	DATUM WGS 1984	
	DISTRITO QUEROCOTO	FECHA	

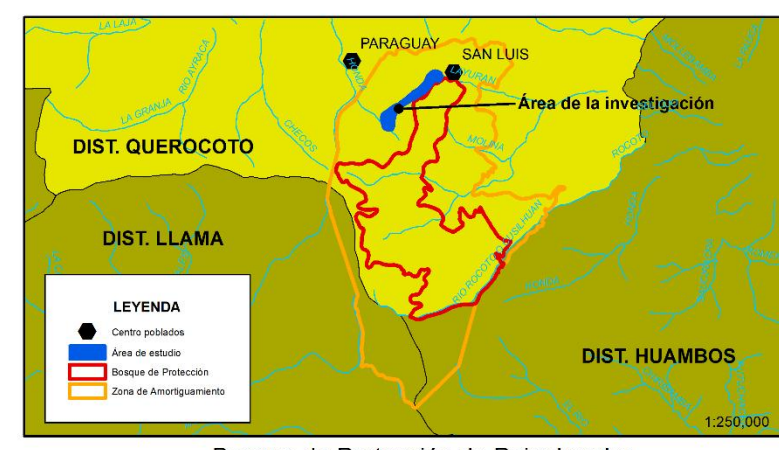
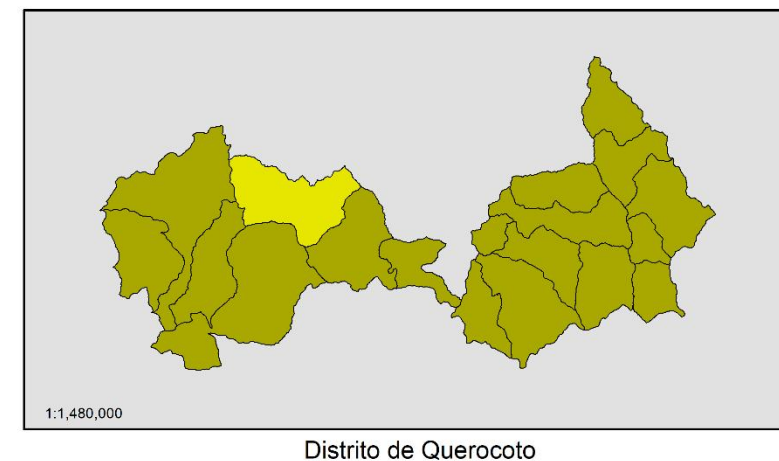
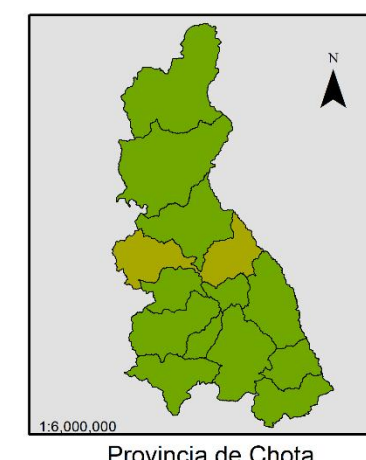
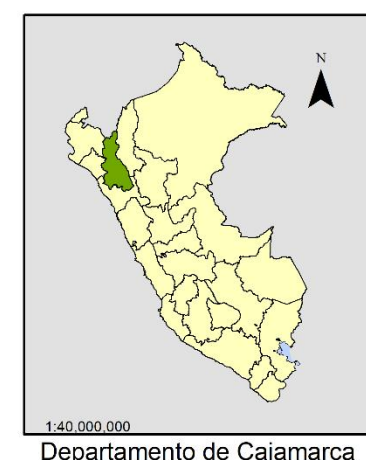
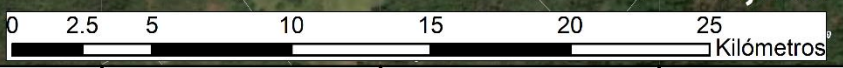


LEYENDA

- Árboles evaluados
- Curvas a nivel (50 m)
- Red hídrica
- Área de estudio
- Bosque de Protección

Coordenadas UTM 17S-WGS 84 de árboles evaluados de la quina en el Centro Poblado de San Luis

Código	Coordenadas		Altitud msnm	Código	Coordenadas		Altitud msnm
	Norte	Este			Norte	Este	
2	715211	9295724	2562	53	714756	9295384	2604
3	715146	9295644	2584	55	714307	9295090	2712
6	715146	9295644	2584	57	714751	9295384	2605
8	715222	9295609	2576	58	714761	9295393	2603
9	714803	9295386	2572	59	714956	9295858	2628
13	714766	9295398	2654	60	714517	9295122	2717
28	714537	9295172	2688	63	714785	9295388	2675
34	714537	9295172	2688	64	714559	9295162	2699
40	713446	9294208	2607	65	714742	9295547	2680
43	713360	9294129	2624	66	714792	9295416	2642
48	714419	9295174	2697	67	714765	9295362	2610
49	714559	9295162	2699	68	714742	9295547	2680
52	714207	9295033	2731	69	714740	9295459	2675



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

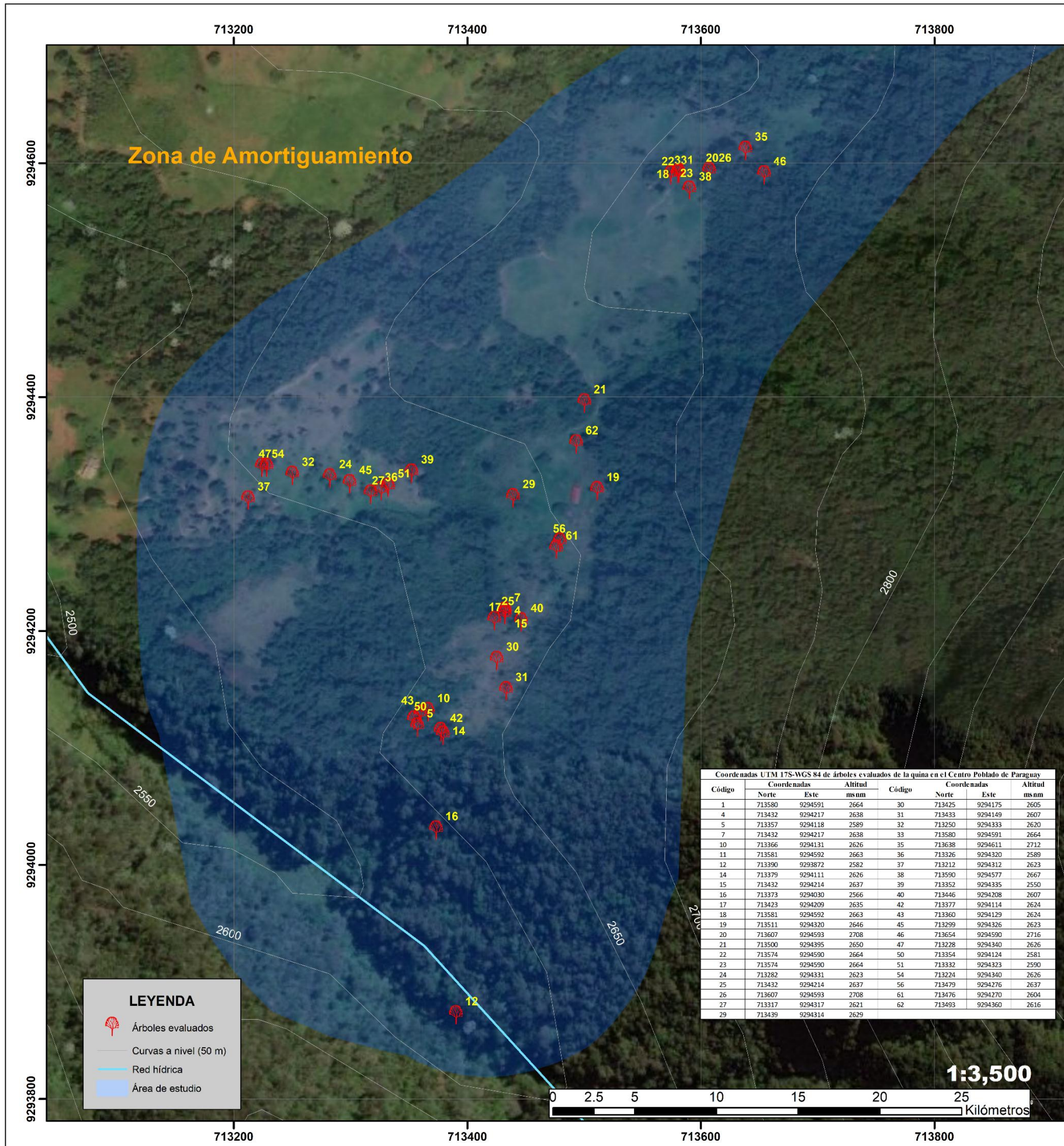
TESIS ESTIMACIONES DE VOLÚMENES COMERCIALES DE LA *Cinchona officinalis* L. (QUINA) EN EL DISTRITO DE QUEROCOTO

PLANO UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE ÁRBOLES EVALUADOS EN EL CENTRO POBLADO DE SAN LUIS

TESISTA BACHILLER. JUAN RODRIGO BASELLEY VILLANUEVA

ASESOR ING. ANDRÉS HIBERNÓN, LOZANO LOZANO

UBICACIÓN	DEPARTAMENTO	CAJAMARCA	ESCALA	1 : 5 000
	PROVINCIA	CHOTA	DATUM	WGS 1984
	DISTRITO	QUEROCOTO	FECHA	28/08/2018



LEYENDA

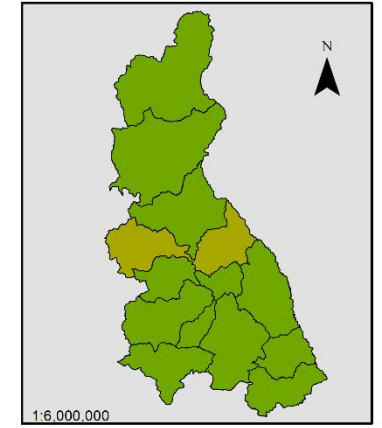
- Árboles evaluados
- Curvas a nivel (50 m)
- Red hídrica
- Área de estudio

Coordenadas UTM 17S-WGS 84 de árboles evaluados de la quina en el Centro Poblado de Paraguay

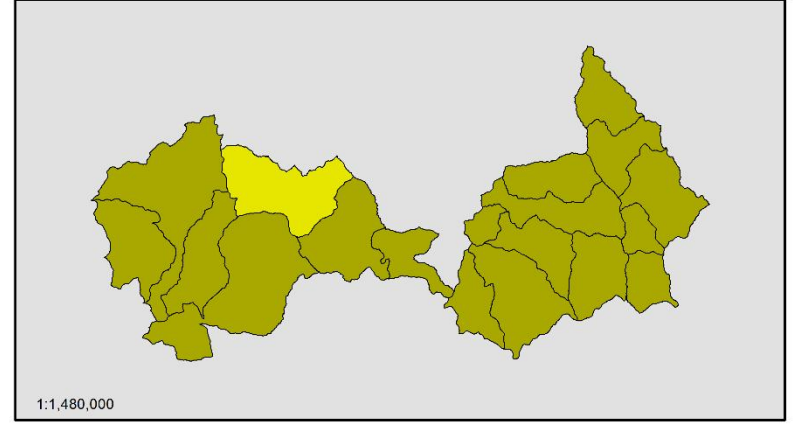
Código	Coordenadas			Código	Coordenadas		
	Norte	Este	Altitud msnm		Norte	Este	Altitud msnm
1	713580	9294591	2664	30	713425	9294175	2605
4	713432	9294217	2638	31	713433	9294149	2607
5	713357	9294118	2589	32	713250	9294333	2620
7	713432	9294217	2638	33	713580	9294591	2664
10	713366	9294131	2626	35	713638	9294611	2712
11	713581	9294592	2663	36	713326	9294320	2589
12	713390	9293872	2582	37	713212	9294312	2623
14	713379	9294111	2626	38	713590	9294577	2667
15	713432	9294214	2637	39	713352	9294335	2550
16	713373	9294030	2566	40	713446	9294208	2607
17	713423	9294209	2635	42	713377	9294114	2624
18	713581	9294592	2663	43	713360	9294129	2624
19	713511	9294320	2646	45	713299	9294326	2623
20	713607	9294593	2708	46	713654	9294590	2716
21	713500	9294395	2650	47	713228	9294340	2626
22	713574	9294590	2664	50	713354	9294124	2581
23	713574	9294590	2664	51	713332	9294323	2590
24	713282	9294331	2623	54	713224	9294340	2626
25	713432	9294214	2637	56	713479	9294276	2637
26	713607	9294593	2708	61	713476	9294270	2604
27	713317	9294317	2621	62	713493	9294360	2616
29	713439	9294314	2629				



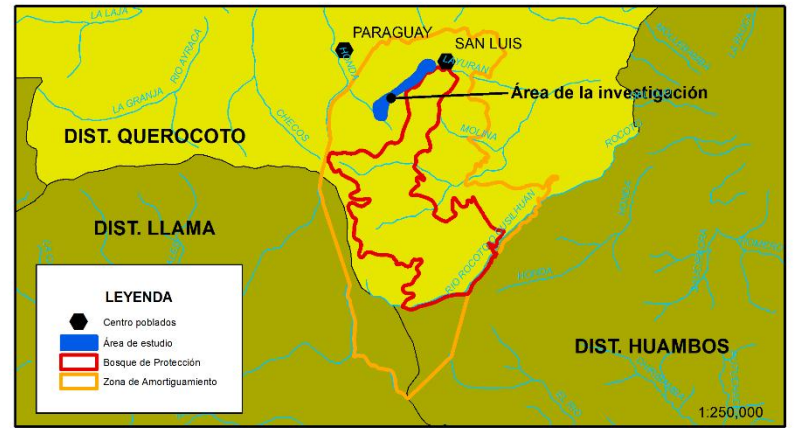
Departamento de Cajamarca



Provincia de Chota



Distrito de Querocoto



Bosque de Protección de Paigabamba

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS: ESTIMACIONES DE VOLUMENES COMERCIALES DE LA *Cinchona officinalis* L. (QUINA) EN EL DISTRITO DE QUEROCOTO

PLANO: UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE ÁRBOLES EVALUADOS EN EL CENTRO POBLADO DE PARAGUAY

TESISTA: BACHILLER. JUAN RODRIGO BASELLO VILLANUEVA

ASESOR: ING. ANDRÉS HIBERNÓN, LOZANO LOZANO

UBICACIÓN	DEPARTAMENTO	CAJAMARCA	ESCALA	1 : 3 500
	PROVINCIA	CHOTA	DATUM	WGS 1984
	DISTRITO	QUEROCOTO	FECHA	28/08/2018

Anexo 3. Formatos de evaluación

Anexo 3.1. Formato de evaluación para determinar el factor de forma de individuos de la quina

Formato 1. Árboles evaluados para determinar el factor forma de la *Cinchona officinalis* L.

Especie en estudio: *Cinchona officinalis* L. **Nombre común:** quina o cascarilla **Fechas de evaluación:** 15/05/2018
Distrito: Querocoto **Provincia:** Chota **Departamento:** Cajamarca
Clase: I **N° de individuo:** 2 **DAP promedio (cm):** 10.2 **Altura total (m):** 6.5 **Altura comercial (m):** 4.5
Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S **Este:** 715211 **Norte:** 9295724 **Altitud:** 2562 metros

Volumen	Sección	Diámetro promedio con corteza (cm)		Espesor de corteza promedio (cm)		AB con corteza (m ²)		AB sin corteza (m ²)		Largo (m)	Volumen (m ³)		Volumen total (m ³)		Factor de forma	
		Mayor	Menor	Diámetro mayor	Diámetro menor	Diámetro mayor	Diámetro menor	Diámetro mayor	Diámetro menor		Con corteza	Sin corteza	Con corteza	Sin corteza	Con corteza	Sin corteza
Real	1	12.1	8	1.5	1.1	0.0115	0.0050	0.0065	0.0026	2	0.0165	0.0091	0.0236	0.0127	0.64	0.56
	2	8	2.8	1.1	0.6	0.0050	0.0006	0.0026	0.0002	2.5	0.0071	0.0036				
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Aparente		DAP promedio (cm)		Espesor de corteza promedio (cm)		AB con corteza (m ²)		AB sin corteza (m ²)		Altura (m)	Volumen total (m ³)					
		10.2		1.1		0.0082		0.0050		4.5	Con corteza	Sin corteza				
											0.0368	0.0226				

Anexo 3.2. Formato evaluación de variables dasométricas para estimar el volumen de árboles en pie y apeados de *Cinchona officinalis* L

Formato 2. Árboles evaluados para determinar sus la *Cinchona officinalis* L.

Especie en estudio: *Cinchona officinalis* L
Evaluador: Juan Rodrigo Baselly Villanueva

Nombre común: quina o cascarilla

Fechas de evaluación: 15-18/05/2018
28-30/05/2018
11-13/06/2018
26-28/06/2018

Distrito: Querocoto

Provincia: Chota

Departamento: Cajamarca

N°	Clase*	Coordenadas UTM		Altitud msnm	DAP con corteza (cm)			Diámetro en la base del árbol con corteza (cm)			Espesura de corteza (cm)				Lectura			Altura (m)		Árboles evaluados		
		Este	Norte		Medición 1	Medición 2	Promedio	Medición 1	Medición 2	Promedio	Medición				Baja	Comercial	Total	Comercial	Total	F**	VCR***	
											1	2	3	4								Promedio
1		713580	9294591	2664	10.2	10.2	10.2	10.5	10.5	10.5	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	-7.5	-3.0	-1.0	4.5	6.5		x
2		715211	9295724	2562	10.1	10.3	10.2	12.2	12.0	12.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	-0.5	4.0	6.0	4.5	6.5	x	
3		715146	9295644	2584	10.3	10.3	10.3	13.1	13.4	13.3	1.1	0.7	1.0	0.9	0.9	-1.5	1.8	3.5	3.3	5.0		
4		713432	9294217	2638	10.8	10.8	10.8	11.7	11.7	11.7	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	-4.5	-0.5	2.5	4.0	7.0	x	
5		713357	9294118	2589	10.9	10.9	10.9	15.9	15.9	15.9	0.9	0.9	1.1	1.0	1.0	-5.0	-1.5	2.3	3.5	7.3		
6		715146	9295644	2584	11.0	11.0	11.0	16.0	16.4	16.2	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	-1.5	3.0	5.5	4.5	7.0		
7		713432	9294217	2638	11.1	11.1	11.1	14.3	14.3	14.3	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	-4.5	0.0	3.3	4.5	7.8	x	
8		715222	9295609	2576	11.7	11.7	11.7	16.1	16.8	16.5	1.2	1.1	1.0	1.2	1.1	-4.3	1.0	2.8	5.3	7.0		
9		714803	9295386	2572	12.6	12.9	12.8	17.7	15.6	16.7	1.6	1.4	0.7	0.9	1.2	-1.0	4.8	7.5	5.8	8.5	x	
10		713366	9294131	2626	12.9	12.8	12.9	14.1	15.4	14.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	0.0	5.3	8.3	5.3	8.3		
11		713581	9294592	2663	13.3	13.3	13.3	14.2	14.4	14.3	1.2	0.8	0.9	1.0	1.0	-7.5	-2.3	3.3	5.3	10.8		
12		713390	9293872	2582	13.5	13.8	13.7	16.8	16.9	16.9	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	-1.5	4.5	9.0	6.0	10.5		
13		714766	9295398	2654	14.4	14.5	14.5	14.9	15.2	15.1	1.5	1.7	1.7	1.7	1.7	-5.8	-1.0	2.5	4.8	8.3		
14		713379	9294111	2626	14.9	14.8	14.9	19.3	21.3	20.3	1.4	0.9	1.0	1.4	1.2	0.3	7.0	13.5	6.8	13.3		
15		713432	9294214	2637	15.1	15.1	15.1	19.7	22.8	21.3	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	-5.3	1.3	5.3	6.5	10.5		
16		713373	9294030	2566	15.7	15.7	15.7	17.2	17.8	17.5	0.7	1.1	1.0	1.0	1.0	1.3	10.3	15.0	8.0	13.8		
17		713423	9294209	2635	15.9	15.6	15.8	19.5	20.4	20.0	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	-4.8	0.0	4.3	4.8	9.0		
18	I	713581	9294592	2663	15.9	15.9	15.9	20.2	21.3	20.8	0.8	1.1	1.0	1.2	1.0	-7.5	-1.8	3.0	5.8	10.5		
19		713511	9294320	2646	16.0	16.0	16.0	21.8	21.8	21.8	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	-1.0	5.0	10.5	6.0	11.5	x	x
20		713607	9294593	2708	16.1	16.7	16.4	17.5	17.8	17.7	1.2	1.3	1.4	1.0	1.2	-2.3	2.0	7.3	4.3	9.5		
21		713500	9294395	2650	16.6	16.4	16.5	23.0	23.7	23.4	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	-5.5	3.8	9.5	9.3	15.0		
22		713574	9294590	2664	16.6	16.6	16.6	18.8	19.1	19.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	-6.5	-1.5	3.5	5.0	10.0		
23		713574	9294590	2664	16.7	16.7	16.7	17.4	17.8	17.6	1.2	1.2	1.2	1.4	1.3	-6.5	0.8	3.8	7.3	10.3		
24		713282	9294331	2623	16.6	17.5	17.1	26.9	18.2	22.6	1.2	1.1	2.1	2.0	1.6	-3.5	1.0	4.5	4.5	8.0		
25		713432	9294214	2637	17.3	17.5	17.4	23.1	23.8	23.5	1.2	1.4	1.3	1.3	1.3	-5.3	3.0	5.5	8.3	10.8		
26		713607	9294593	2708	17.8	17.3	17.6	19.1	20.3	19.7	1.1	1.3	1.5	1.0	1.2	-8.0	-2.3	1.5	5.8	9.5		
27		713317	9294317	2621	17.9	17.9	17.9	20.9	21.2	21.1	1.5	1.3	1.1	1.3	1.3	-1.8	4.0	7.5	5.8	9.3	x	x
28		714537	9295172	2688	18.1	18.3	18.2	21.6	16.0	18.8	1.8	1.2	1.4	1.6	1.5	0.0	5.3	9.0	5.3	9.0		
29		713439	9294314	2629	18.6	18.3	18.5	21.7	22.4	22.1	1.1	1.2	1.0	1.5	1.2	-0.5	6.0	8.8	6.5	9.3		
30		713425	9294175	2605	18.7	18.5	18.6	21.3	23.0	22.2	1.2	1.3	1.2	1.4	1.3	-3.8	6.3	9.5	9.0	13.3	x	x
31		713433	9294149	2607	18.7	18.7	18.7	20.4	30.7	25.6	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0	2.0	8.8	12.3	6.8	10.3		
32		713250	9294333	2620	18.2	19.3	18.8	19.9	22.6	21.3	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	-3.5	3.5	8.0	7.0	11.5	x	x
33		713580	9294591	2664	18.9	18.9	18.9	18.9	19.0	19.0	1.0	1.5	1.4	1.4	1.3	-7.5	1.0	3.5	8.5	11.0		
34		714537	9295172	2688	19.1	19.4	19.3	21.1	20.5	20.8	1.4	1.7	1.6	1.8	1.6	0.0	6.5	10.0	6.5	10.0		
35		713638	9294611	2712	19.7	19.2	19.5	19.8	21.2	20.5	1.2	1.4	1.3	1.4	1.3	-7.3	-3.0	0.0	4.3	7.3		

36	713326	9294320	2589	19.7	19.2	19.5	27.2	27.0	27.1	1.5	1.4	1.1	1.3	1.3	-1.0	5.0	9.0	6.0	10.0	x	x
37	713299	9294326	2623	19.5	20.0	19.8	21.4	28.0	24.7	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	-2.0	3.5	7.0	5.5	9.0	x	x
38	713212	9294312	2623	19.9	19.9	19.9	23.0	23.1	23.1	1.2	1.2	1.3	1.1	1.2	-0.5	7.5	10.0	8.0	10.5		x
39	713590	9294577	2667	17.3	23.1	20.2	23.1	21.8	22.5	1.8	1.1	1.2	0.9	1.3	-1.0	7.0	10.5	8.0	11.5		x
40	713352	9294335	2550	20.2	20.3	20.3	21.3	30.3	25.8	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	2.5	9.5	13.5	7.0	11.0		
41	713446	9294208	2607	20.3	20.5	20.4	25.1	20.7	22.9	1.2	1.1	1.3	1.1	1.2	-0.8	6.5	11.3	7.3	12.0		
42	714818	9295424	2673	20.1	20.8	20.5	20.7	20.5	20.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	-1.5	5.3	9.0	6.8	10.5		
43	713377	9294114	2624	17.4	23.6	20.5	21.7	24.0	22.9	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	-2.0	6.0	10.0	8.0	12.0		
44	713360	9294129	2624	20.6	20.7	20.7	24.1	28.6	26.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	-2.8	4.5	8.5	7.3	11.3		
45	714533	9295166	2691	20.9	20.5	20.7	27.2	27.6	27.4	1.4	1.7	1.4	1.6	1.5	1.0	8.8	11.3	7.8	10.3		
46	713654	9294590	2716	21.2	21.5	21.4	24.2	24.6	24.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	-0.3	7.5	11.3	7.8	11.5		
47	713228	9294340	2626	19.3	23.9	21.6	24.1	30.7	27.4	1.6	1.4	1.8	1.7	1.6	2.5	9.0	13.0	6.5	10.5		
48	714419	9295174	2697	23.2	23.5	23.4	29.8	26.1	28.0	1.9	1.2	1.6	1.6	1.6	-0.3	9.0	14.5	9.3	14.8		
49	714559	9295162	2699	24.4	23.8	24.1	31.2	31.5	31.4	1.8	2.0	2.0	2.1	2.0	-1.0	5.5	12.8	6.5	13.8		
50	713354	9294124	2581	24.8	24.6	24.7	29.4	29.8	29.6	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	0.8	9.3	13.3	8.5	12.5	x	x
51	713332	9294323	2590	24.2	25.9	25.1	31.2	23.5	27.4	1.9	2.0	2.0	1.9	2.0	-1.5	5.0	8.3	6.5	9.8		
52	714207	9295033	2731	25.3	25.4	25.4	28.3	28.0	28.2	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	5.0	11.5	16.3	6.5	11.3		
53	714756	9295384	2604	25.9	25.9	25.9	30.0	22.7	26.4	1.6	1.7	1.9	2.0	1.8	-1.8	4.8	9.3	6.5	11.0	x	x
54	713224	9294340	2626	27.9	23.9	25.9	36.5	34.5	35.5	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	0.0	7.5	11.0	7.5	11.0		
55	714307	9295090	2712	26.8	26.8	26.8	28.5	34.6	31.6	1.7	1.6	1.7	1.8	1.7	3.8	10.3	17.3	6.5	13.5		
56	713479	9294276	2637	25.5	30.3	27.9	30.5	33.6	32.1	2.1	2.3	2.0	2.3	2.2	1.0	8.0	11.3	7.0	10.3	x	x
57	714751	9295384	2605	29.7	28.4	29.1	33.5	33.8	33.7	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6	-3.5	3.8	6.3	7.3	9.8		
58	714761	9295393	2603	31.2	28.6	29.9	31.2	32.4	31.8	1.7	2.0	1.8	1.9	1.9	-5.0	1.0	5.0	6.0	10.0		x
59	714956	9295858	2628	24.9	36.3	30.6	43.8	43.5	43.7	1.3	1.2	2.1	2.1	1.7	-1.5	5.0	7.3	6.5	8.8	x	x
60	714517	9295122	2717	30.2	31.1	30.7	35.9	36.2	36.1	1.5	2.0	1.4	2.1	1.8	-0.5	7.0	11.0	7.5	11.5		
61	713476	9294270	2604	31.4	30.8	31.1	36.9	30.3	33.6	2.1	2.0	2.0	1.7	2.0	1.3	9.8	12.5	8.5	11.3		
62	713493	9294360	2616	29.1	33.5	31.3	39.1	39.0	39.1	1.8	1.1	1.0	1.3	1.3	1.5	8.5	15.0	7.0	13.5	x	x
63	714785	9295388	2675	33.4	34.2	33.8	43.8	44.2	44.0	1.8	1.7	2.2	1.8	1.9	0.5	9.8	18.5	9.3	18.0		
64	714559	9295162	2699	36.6	36.5	36.6	42.5	42.8	42.7	2.2	3.1	2.5	2.8	2.7	-1.0	8.0	13.8	9.0	14.8	x	x
65	714742	9295547	2680	39.1	37.1	38.1	42.2	46.2	44.2	3.0	3.6	3.2	3.5	3.3	-1.5	6.3	12.5	10.0	14.0	x	x
66	714792	9295416	2642	37.8	39.5	38.7	45.4	47.2	46.3	2.4	3.4	2.7	3.0	2.9	-5.0	2.5	11.5	7.5	16.5	x	x
67	714765	9295362	2610	41.9	41.5	41.7	46.5	48.5	47.5	2.3	2.5	2.4	2.5	2.4	1.0	10.0	19.0	9.0	18.0	x	x
68	714742	9295547	2680	42.0	42.4	42.2	47.8	47.5	47.7	2.8	3.0	2.9	3.0	2.9	-1.5	6.8	12.5	8.3	14.0		
69	714740	9295459	2675	44.8	46.8	45.8	51.8	51.4	51.6	3.1	2.5	2.6	3.0	2.8	-2.3	7.8	15.3	10.0	17.5	x	x

Clase*: Los individuos han sido divididos en dos clases en función al DAP, Clase I para menores de 20 cm de DAP y Clase II para los mayores 20 cm de DAP

F*: Son los árboles evaluados para determinar el factor forma, siendo calculado para dos clases

VCR****: Son los árboles evaluados para determinar el volumen de corteza existente en las ramas de los individuos.

Anexo 3.3. Formato de evaluación para determinar el volumen de corteza en las ramas de la *Cinchona officinalis* L.

Formato 3. Árbol evaluado para determinar el volumen de corteza en las ramas de la *Cinchona officinalis* L.

Especie en estudio: *Cinchona officinalis* L.

Nombre común: quina o cascarilla

Fechas de evaluación: 29/05/2018

Distrito: Querocoto

Provincia: Chota

Departamento: Cajamarca

Clase: I

N° de individuo: 1

DAP promedio (cm): 10.2

Altura total (m): 6.5

Altura comercial (m): 4.5

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S

Este: 713580

Norte: 9294591

Altitud: 2664 metros

Rama	Sección	Diámetro (cm)		Espesor de corteza (cm)		AB con corteza (m ²)		AB sin corteza (m ²)		Largo (m)	Volumen de sección (m ³)		Volumen de corteza (m ³)			N° de ramas	Volumen total de corteza en las ramas (m ³)		
		Menor	Mayor	Diámetro menor	Diámetro mayor	Diámetro menor	Diámetro mayor	Diámetro menor	Diámetro mayor		Diámetro menor	Diámetro mayor	Con corteza	Sin corteza	Sección		Rama	Promedio	Por tipo
Prima-ria	1	4.8	3.4	0.6	0.6	0.0018	0.0009	0.0010	0.0004	0.50	0.0007	0.0003	0.0003						
	2	3.4	2.6	0.6	0.5	0.0009	0.0005	0.0004	0.0002	0.90	0.0006	0.0003	0.0004	0.0007					
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
	1	5	3.8	0.5	0.4	0.0020	0.0011	0.0013	0.0007	0.60	0.0009	0.0006	0.0003						
	2	3.8	2.7	0.4	0.4	0.0011	0.0006	0.0007	0.0003	0.90	0.0008	0.0004	0.0003	0.0007	0.0006	4	0.0023		
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
	1	3.6	2.6	0.4	0.4	0.0010	0.0005	0.0006	0.0003	0.70	0.0005	0.0003	0.0002						
	3	2.6	2.3	0.4	0.4	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.40	0.0002	0.0001	0.0001	0.0003					
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
																			0.0023
Secun-daria	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

Anexo 4. Análisis estadístico de los datos de campo

Anexo 4.1. Estadística descriptiva del factor de forma de individuos de la quina

Tabla 1. Estadística descriptiva y obtención de muestra de los factores de forma de los árboles en la clase I.

N° de árbol	Con corteza	Sin corteza	
2	0.64	0.56	
4	0.68	0.64	
7	0.78	0.69	
9	0.81	0.79	
19	0.78	0.81	
27	0.69	0.68	
30	0.58	0.56	
32	0.77	0.75	
36	0.74	0.74	
37	0.79	0.77	
Media	0.73	0.70	
Máximo	0.81	0.81	
Mínimo	0.58	0.56	
Des. Estand.	0.08	0.09	
C.V.	10.37	12.84	
t	2.262	2.262	
Cálculo de muestra	Error (%)	10.00	10.00
	N° individuos	6	8
	N° individuos promedio	7	

Tabla 2. Estadística descriptiva y obtención de muestra de los factores de forma de los árboles en la clase II.

N° de árbol		Con corteza	Sin corteza
	2	0.64	0.60
	4	0.58	0.55
	7	0.62	0.62
	9	0.60	0.61
	19	0.68	0.66
	27	0.74	0.72
	30	0.61	0.64
	32	0.50	0.52
	36	0.60	0.58
	37	0.54	0.52
	Media	0.61	0.60
	Máximo	0,74	0.72
	Mínimo	0,50	0.52
	Des. Estand.	0,07	0.06
	C.V.	11.03	10.47
Cálculo de muestra	t	2.262	2.262
	Error (%)	10.00	10.00
	N° individuos	6	6
	N° individuos promedio	6	

Anexo 4.2. Estadística descriptiva del volumen comercial de árboles en pie de *Cinchona officinalis* L.

Tabla 1. Estadística descriptiva del volumen comercial de árboles en pie de la clase I.

N° de árbol	Coordenadas UTM		Altitud msnm	DAP promedio con corteza (cm)	Espesor promedio de corteza (cm)	Área basal (m²)		Diámetro promedio en la base del árbol con corteza (cm)	Altura (m)		Factor forma	VC fuste (m³)			VC de corteza en las ramas (m³)
	Este	Norte				con corteza	Sin corteza		De madera con corteza	De madera con corteza		con corteza	Sin corteza	corteza	
1	713580	9294591	2664	10.2	0.7	0.0082	0.0061	10.5	4.50	6.50	0.71	0.0261	0.0194	0.0067	0.0023
2	715211	9295724	2562	10.2	1.1	0.0082	0.0052	12.1	4.50	6.50		0.0261	0.0165	0.0096	-
3	715146	9295644	2584	10.3	0.9	0.0083	0.0056	13.3	3.25	5.00		0.0192	0.0129	0.0063	-
4	713432	9294217	2638	10.8	1.0	0.0092	0.0062	11.7	4.00	7.00		0.0260	0.0175	0.0085	-
5	713357	9294118	2589	10.9	1.0	0.0093	0.0063	15.9	3.50	7.25		0.0232	0.0156	0.0076	-
6	715146	9295644	2584	11.0	1.0	0.0095	0.0064	16.2	4.50	7.00		0.0304	0.0206	0.0098	-
7	713432	9294217	2638	11.1	1.1	0.0097	0.0063	14.3	4.50	7.75		0.0309	0.0201	0.0108	-
8	715222	9295609	2576	11.7	1.1	0.0108	0.0070	16.5	5.25	7.00		0.0401	0.0261	0.0139	-
9	714803	9295386	2572	12.8	1.2	0.0128	0.0086	16.7	5.75	8.50		0.0521	0.0350	0.0171	-
10	713366	9294131	2626	12.9	0.8	0.0130	0.0099	14.8	5.25	8.25		0.0483	0.0371	0.0113	-
11	713581	9294592	2663	13.3	1.0	0.0139	0.0101	14.3	5.25	10.75		0.0518	0.0377	0.0141	-
12	713390	9293872	2582	13.7	0.8	0.0146	0.0115	16.9	6.00	10.50		0.0623	0.0490	0.0134	-
13	714766	9295398	2654	14.5	1.7	0.0164	0.0098	15.1	4.75	8.25		0.0553	0.0329	0.0224	-
14	713379	9294111	2626	14.9	1.2	0.0173	0.0123	20.3	6.75	13.25		0.0830	0.0588	0.0242	-
15	713432	9294214	2637	15.1	1.2	0.0179	0.0126	21.3	6.50	10.50		0.0826	0.0580	0.0246	-
16	713373	9294030	2566	15.7	1.0	0.0194	0.0150	17.5	8.00	13.75		0.1100	0.0850	0.0250	-
17	713423	9294209	2635	15.8	1.4	0.0195	0.0133	20.0	4.75	9.00		0.0657	0.0448	0.0209	-
18	713581	9294592	2663	15.9	1.0	0.0199	0.0151	20.8	5.75	10.50		0.0811	0.0615	0.0196	-
19	713511	9294320	2646	16.0	1.5	0.0201	0.0134	21.8	6.00	11.50		0.0857	0.0570	0.0287	0.0059
20	713607	9294593	2708	16.4	1.2	0.0211	0.0153	17.7	4.25	9.50		0.0637	0.0461	0.0176	-
21	713500	9294395	2650	16.5	1.2	0.0214	0.0155	23.4	9.25	15.00		0.1404	0.1018	0.0386	-
22	713574	9294590	2664	16.6	1.1	0.0216	0.0163	19.0	5.00	10.00		0.0768	0.0578	0.0190	-
23	713574	9294590	2664	16.7	1.3	0.0219	0.0158	17.6	7.25	10.25		0.1128	0.0815	0.0312	-
24	713282	9294331	2623	17.1	1.6	0.0228	0.0151	22.6	4.50	8.00		0.0729	0.0481	0.0248	-
25	713432	9294214	2637	17.4	1.3	0.0238	0.0172	23.5	8.25	10.75		0.1393	0.1008	0.0385	-
26	713607	9294593	2708	17.6	1.2	0.0242	0.0179	19.7	5.75	9.50		0.0988	0.0731	0.0256	-
27	713317	9294317	2621	17.9	1.3	0.0252	0.0184	21.1	5.75	9.25		0.1027	0.0751	0.0277	0.0070
28	714537	9295172	2688	18.2	1.5	0.0260	0.0181	18.8	5.25	9.00		0.0970	0.0676	0.0293	-
29	713439	9294314	2629	18.5	1.2	0.0267	0.0202	22.1	6.50	9.25		0.1234	0.0934	0.0300	-
30	713425	9294175	2605	18.6	1.3	0.0272	0.0202	22.2	9.00	13.25		0.1736	0.1293	0.0443	0.0024
31	713433	9294149	2607	18.7	1.0	0.0275	0.0219	25.6	6.75	10.25		0.1316	0.1050	0.0266	-
32	713250	9294333	2620	18.8	1.3	0.0276	0.0205	21.3	7.00	11.50		0.1372	0.1018	0.0354	0.0139
33	713580	9294591	2664	18.9	1.3	0.0281	0.0207	19.0	8.50	11.00		0.1693	0.1252	0.0442	-
34	714537	9295172	2688	19.3	1.6	0.0291	0.0201	20.8	6.50	10.00		0.1343	0.0928	0.0415	-
35	713638	9294611	2712	19.5	1.3	0.0297	0.0222	20.5	4.25	7.25		0.0897	0.0669	0.0228	-
36	713326	9294320	2589	19.5	1.3	0.0297	0.0222	27.1	6.00	10.00		0.1266	0.0944	0.0321	0.0154
37	713299	9294326	2623	19.8	1.2	0.0306	0.0238	24.7	5.50	9.00		0.1196	0.0929	0.0268	0.0361
38	713212	9294312	2623	19.9	1.2	0.0311	0.0241	23.1	8.00	10.50		0.1767	0.1366	0.0400	0.0155
		Media		15.6	1.2	0.0198	0.0144	18.9	5.84	9.53	0.71	0.0865	0.0630	0.0234	0.0123
		Máximo		19.9	1.7	0.0311	0.0241	27.1	9.25	15.00	0.71	0.1767	0.1366	0.0443	0.0361
		Mínimo		10.2	0.7	0.0082	0.0052	10.5	3.25	5.00	0.71	0.0192	0.0129	0.0063	0.0023
		Des. Estand.		3.1	0.2	0.0074	0.0058	4.0	1.51	2.16	-	0.0452	0.0348	0.0110	0.0338
		Rango		9.7	1.0	0.0229	0.0189	16.6	6.0	10.0	0.0	0.1574	0.1237	0.0381	0.0111
		C.V.		20.2	19.1	37.4	40.6	21.0	25.9	22.7	-	52.3	55.1	47.0	89.9

Tabla 2. Estadística descriptiva del volumen comercial de árboles en pie de la clase II.

N° de árbol	Coordenadas UTM		Altitud msnm	DAP promedio con corteza (cm)	Espesor promedio de corteza (cm)	Área basal (m²)		Diámetro promedio en la base del árbol con corteza (cm)	Altura (m)		Factor forma	VC fuste (m³)			VC de corteza en las ramas (m³)
	Este	Norte				con corteza	Sin corteza		Comercial	Total		De madera con corteza	De madera	De corteza	
39	713590	9294577	2667	20.2	1.3	0.0320	0.0246	22.5	8.00	11.50	0.61	0.1564	0.1201	0.0363	0.0075
40	713352	9294335	2550	20.3	1.4	0.0322	0.0238	25.8	7.00	11.00		0.1375	0.1015	0.0360	-
41	713446	9294208	2607	20.4	1.2	0.0327	0.0256	22.9	7.25	12.00		0.1446	0.1132	0.0314	-
42	714818	9295424	2673	20.5	1.5	0.0328	0.0238	20.6	6.75	10.50		0.1352	0.0979	0.0373	-
43	713377	9294114	2624	20.5	1.2	0.0330	0.0257	22.9	8.00	12.00		0.1611	0.1256	0.0355	-
44	713360	9294129	2624	20.7	1.5	0.0335	0.0246	26.4	7.25	11.25		0.1481	0.1088	0.0393	-
45	714533	9295166	2691	20.7	1.5	0.0337	0.0245	27.4	7.75	10.25		0.1591	0.1157	0.0434	-
46	713654	9294590	2716	21.4	1.5	0.0358	0.0266	24.4	7.75	11.50		0.1692	0.1257	0.0435	-
47	713228	9294340	2626	21.6	1.6	0.0366	0.0264	27.4	6.50	10.50		0.1453	0.1049	0.0404	-
48	714419	9295174	2697	23.4	1.6	0.0428	0.0320	28.0	9.25	14.75		0.2416	0.1808	0.0608	-
49	714559	9295162	2699	24.1	2.0	0.0456	0.0319	31.4	6.50	13.75		0.1809	0.1264	0.0544	-
50	713354	9294124	2581	24.7	1.6	0.0479	0.0366	29.6	8.50	12.50		0.2484	0.1900	0.0584	0.0025
51	713332	9294323	2590	25.1	2.0	0.0493	0.0351	27.4	6.50	9.75		0.1954	0.1393	0.0561	-
52	714207	9295033	2731	25.4	1.8	0.0505	0.0373	28.2	6.50	11.25		0.2001	0.1480	0.0521	-
53	714756	9295384	2604	25.9	1.8	0.0527	0.0391	26.4	6.50	11.00		0.2089	0.1549	0.0540	0.0216
54	713224	9294340	2626	25.9	1.9	0.0527	0.0382	35.5	7.50	11.00		0.2410	0.1747	0.0663	-
55	714307	9295090	2712	26.8	1.7	0.0564	0.0430	31.6	6.50	13.50		0.2237	0.1705	0.0532	-
56	713479	9294276	2637	27.9	2.2	0.0611	0.0436	32.1	7.00	10.25		0.2611	0.1860	0.0751	0.1080
57	714751	9295384	2605	29.1	1.6	0.0663	0.0529	33.7	7.25	9.75		0.2931	0.2339	0.0592	-
58	714761	9295393	2603	29.9	1.9	0.0702	0.0539	31.8	6.00	10.00		0.2570	0.1973	0.0597	0.0113
59	714956	9295858	2628	30.6	1.7	0.0735	0.0583	43.7	6.50	8.75		0.2916	0.2312	0.0604	0.0952
60	714517	9295122	2717	30.7	1.8	0.0738	0.0579	36.1	7.50	11.50		0.3376	0.2649	0.0727	-
61	713476	9294270	2604	31.1	2.0	0.0760	0.0581	33.6	8.50	11.25		0.3939	0.3013	0.0926	-
62	713493	9294360	2616	31.3	1.3	0.0769	0.0647	39.1	7.00	13.50		0.3286	0.2762	0.0523	0.0396
63	714785	9295388	2675	33.8	1.9	0.0897	0.0709	44.0	9.25	18.00		0.5063	0.4002	0.1061	-
64	714559	9295162	2699	36.6	2.7	0.1049	0.0767	42.7	9.00	14.75		0.5760	0.4211	0.1549	0.0820
65	714742	9295547	2680	38.1	3.3	0.1140	0.0777	44.2	10.00	14.00		0.6955	0.4739	0.2216	0.2158
66	714792	9295416	2642	38.7	2.9	0.1173	0.0850	46.3	7.50	16.50		0.5368	0.3889	0.1478	0.0814
67	714765	9295362	2610	41.7	2.4	0.1366	0.1067	47.5	9.00	18.00		0.7498	0.5855	0.1643	0.0978
68	714742	9295547	2680	42.2	2.9	0.1399	0.1038	47.7	8.25	14.00		0.7039	0.5223	0.1816	0.2267
69	714740	9295459	2675	45.8	2.8	0.1647	0.1269	51.6	10.00	17.50		1.0050	0.7742	0.2307	-
		Media		28.2	1.9	0.0666	0.0502	33.3	7.64	12.44	0.61	0.3236	0.2437	0.0799	0.0825
		Máximo		45.8	3.3	0.1647	0.1269	51.6	10.00	18.00	0.61	1.0050	0.7742	0.2307	0.2267
		Mínimo		20.2	1.2	0.0320	0.0238	20.6	6.00	8.75	0.61	0.1352	0.0979	0.0314	0.0025
		Des. Estand.		7.4	0.5	0.0362	0.0275	8.8	1.10	2.50	-	0.2199	0.1664	0.0559	0.2242
		Rango		25.6	2.2	0.1327	0.1031	31.0	4.0	9.3	-	0.8697	0.6763	0.1993	0.0752
		C.V.		26.1	29.2	54.3	54.9	26.3	14.4	20.1	-	68.0	68.3	69.9	91.2

Anexo 4.3. Estadística descriptiva de le relación volumen – masa

Tabla 1. Estadística descriptiva de la relación volumen - masa de corteza corchosa húmeda.

Muestra	Pesos en gr de vaso de precipitación + corteza corchosa húmeda				Pesos en gr de vaso de precipitación (B)	Peso en gr de corteza corchosa húmeda (A-B)	Peso en Kg de corteza corchosa húmeda (C)	Volumen en m3 de vaso de precipitación (D)	Peso en Kg de un 1m ³ de corteza corchosa húmeda (1xC/D)
	Repeticiones			Promedio (A)					
	R1	R2	R3						
m1	184.8638	184.8600	184.8586	184.8608	102.7017	82.1591	0.0822	237.21	
m2	172.9931	172.9915	172.9891	172.9912		70.2896	0.0703	202.94	
m3	173.2695	173.2683	173.2670	173.2683		70.5666	0.0706	203.74	
m4	170.4378	170.4354	170.4375	170.4369		67.7352	0.0677	195.56	
m5	182.2688	182.2643	182.2621	182.2651		79.5634	0.0796	229.71	
m6	186.4175	186.4155	186.4130	186.4153		83.7137	0.0837	241.69	
m7	183.2084	183.2080	183.2059	183.2074		80.5058	0.0805	232.43	
m8	173.0642	173.0615	173.0590	173.0616		70.3599	0.0704	203.14	
m9	171.5114	171.5101	171.5077	171.5097		68.8081	0.0688	198.66	
m10	174.3555	174.3539	174.3525	174.3540		71.6523	0.0717	206.87	
Estadística					Media		215.20		
					Máximo		241.69		
					Mínimo		195.56		
					Rango		46.13		
					Des. Estand.		17.79		
					C.V.		8.27		

Tabla 2. Estadística descriptiva de la relación volumen - masa de corteza corchosa seca.

Muestra	Pesos en gr de vaso de precipitación + corteza corchosa húmeda				Pesos en gr de vaso de precipitación (B)	Peso en gr de corteza corchosa húmeda (A-B)	Peso en Kg de corteza corchosa húmeda (C)	Volumen en m3 de vaso de precipitación (D)	Peso en Kg de un 1m³ de corteza corchosa húmeda (1xC/D)
	Repeticiones			Promedio (A)					
	R1	R2	R3						
m1	146.4041	146.4027	146.402	146.4029	102.7017	43.7013	0.0437	0.0003	126.17
m2	139.3652	139.3643	139.3642	139.3646		36.6629	0.0367		105.85
m3	139.1439	139.144	139.1432	139.1437		36.4420	0.0364		105.21
m4	138.6756	138.676	138.675	138.6755		35.9739	0.0360		103.86
m5	146.2904	146.2906	146.2897	146.2902		43.5886	0.0436		125.85
m6	146.6614	146.6625	146.6638	146.6626		43.9609	0.0440		126.92
m7	144.9691	144.9695	144.9705	144.9697		42.2680	0.0423		122.03
m8	140.5702	140.5706	140.5711	140.5706		37.8690	0.0379		109.33
m9	141.6552	141.6547	141.6535	141.6545		38.9528	0.0390		112.46
m10	141.7863	141.7854	141.7847	141.7855		39.0838	0.0391		112.84
Estadística					Media		115.05		
					Máximo		126.92		
					Mínimo		103.86		
					Rango		23.06		
					Des. Estand.		9.31		
					C.V.		8.10		

Tabla 3. Estadística descriptiva de la relación volumen - masa de corteza no corchosa húmeda.

Muestra	Pesos en gr de vaso de precipitación + corteza corchosa húmeda				Pesos en gr de vaso de precipitación (B)	Peso en gr de corteza corchosa húmeda (A-B)	Peso en Kg de corteza corchosa húmeda (C)	Volumen en m3 de vaso de precipitación (D)	Peso en Kg de un 1m ³ de corteza corchosa húmeda (1xC/D)
	Repeticiones			Promedio (A)					
	R1	R2	R3						
m1	97.2447	97.2412	97.2352	97.2404	48.3280	48.9124	0.0489	0.0002	294.11
m2	96.3704	96.3687	96.3666	96.3686		48.0406	0.0480		288.86
m3	99.0079	98.9992	97.9922	98.6664		50.3385	0.0503		302.68
m4	99.0130	99.0097	99.0067	99.0098		50.6819	0.0507		304.75
m5	98.5353	98.5333	98.5319	98.5335		50.2056	0.0502		301.88
m6	98.0813	98.0794	98.0765	98.0791		49.7511	0.0498		299.15
m7	100.7578	100.7564	100.7534	100.7559		52.4279	0.0524		315.25
m8	99.5225	99.5202	99.5176	99.5201		51.1922	0.0512		307.81
Estadística					Media		301.81		
					Máximo		315.25		
					Mínimo		288.86		
					Rango		26.38		
					Des. Estand.		8.11		
					C.V.		2.69		

Tabla 4. Estadística descriptiva de la relación volumen - masa de corteza no corchosa seca.

Muestra	Pesos en gr de vaso de precipitación + corteza corchosa húmeda				Pesos en gr de vaso de precipitación (B)	Peso en gr de corteza corchosa húmeda (A-B)	Peso en Kg de corteza corchosa húmeda (C)	Volumen en m3 de vaso de precipitación (D)	Peso en Kg de un 1m ³ de corteza corchosa húmeda (1xC/D)
	Repeticiones			Promedio (A)					
	R1	R2	R3						
m1	63.9668	63.9678	63.9683	63.9676	48.3280	15.6397	0.0156	0.0002	94.04
m2	62.2715	62.2714	62.2711	62.2713		13.9434	0.0139		83.84
m3	62.4065	62.4061	62.4060	62.4062		14.0783	0.0141		84.65
m4	65.1980	65.1974	65.1979	65.1978		16.8698	0.0169		101.44
m5	63.4032	63.4031	63.4029	63.4031		15.0751	0.0151		90.65
m6	64.7922	64.7919	64.7918	64.7920		16.4640	0.0165		99.00
m7	64.3967	64.3964	64.3966	64.3966		16.0686	0.0161		96.62
m8	64.8231	64.8218	64.8219	64.8223		16.4943	0.0165		99.18
Estadística					Media			93.68	
					Máximo			101.44	
					Mínimo			83.84	
					Rango			17.60	
					Des. Estand.			6.71	
					C.V.			7.16	

Anexo 5. Fotos de las actividades realizadas (campo y gabinete)



Lugar: Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.
Actividad: Georreferenciación de árboles



Lugar: Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.
Actividad: Colecta de datos.



Lugar: Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.
Actividad: Medición de diámetro en la base.



Lugar: Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.
Actividad: Medición del DAP.



Lugar: Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.
Actividad: Medición del DAP.



Lugar: Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.
Actividad: Medición del espesor de corteza.



Lugar: Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.
Actividad: Medición de diámetros de ramas.



Lugar: Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.
Actividad: Medición de altura.



Lugar: PIA Forestal – E.E.A Baños del Inca.
Actividad: Preparación de muestras de corteza.



Lugar: PIA Forestal – E.E.A Baños del Inca.
Actividad: Pesado de muestras de corteza.



Lugar: PIA Forestal – E.E.A Baños del Inca.
Actividad: Secado de muestras de corteza.



Lugar: Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba.
Actividad: Árbol cortado de quina.