

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**

**FILIAL JAÉN**



**SISTEMAS DE ECUACIONES DE REGRESIÓN LINEAL Y  
NO LINEAL PARA PREDICCIÓN DE LA ALTURA TOTAL  
DE *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken EN  
PLANTACIONES AGROFORESTALES DE JAÉN –  
CAJAMARCA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:**

**Sandra Lusmery Huamán Campos**

**Asesor: Ing. M.Sc. German Pérez Hurtado**

**JAÉN – PERÚ**

**2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de Febrero de 1,962

"Norte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL  
SECCIÓN JAÉN

Bolívar N° 1342 - Plaza de Armas - Telfs. 431907 - 431080  
JAÉN - PERÚ

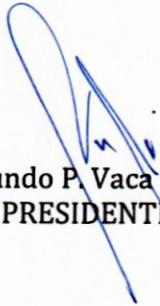


## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los veinte días del mes de Junio del año dos mil diecinueve, se reunieron en el Ambiente del Auditorio Auxiliar de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 199-2018-FCA-UNC, de fecha 17 de Mayo de 2018, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado **"SISTEMA DE ECUACIONES DE REGRESIÓN LINEAL Y NO LINEAL PARA PREDICCIÓN DE LA ALTURA TOTAL DE *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón ) Oken EN PLANTACIONES AGROFORESTALES DE JAÉN - CAJAMARCA"**, ejecutado por la Bachiller en Ciencias Forestales doña **HUAMÁN CAMPOS SANDRA LUSMERY**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

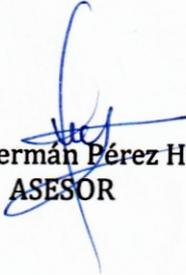
A las diecisiete horas y treinta minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando a la sustentante a exponer su trabajo de Tesis y luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Terminado el acto de sustentación el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **catorce (14)**; por tanto, la Bachiller queda expedito para que inicie los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las dieciocho horas y cuarenta y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

  
Dr. Segundo P. Vaca Marquina  
PRESIDENTE

  
Ing. M.Sc. Segundo Tafur Santillán  
SECRETARIO

  
Ing. Sigilberto Pastor Ordinola  
VOCAL

  
Ing. M.Sc. Germán Pérez Hurtado  
ASESOR

## ***DEDICATORIA***

A mis padres: Alonzo y Zulema, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Mis abuelos Nicolás Campos y Esmérita García por quererme y apoyarme siempre; esto también se lo dedico a ustedes.

A mis hermanas Tania, Zarai y Greysi, por estar conmigo y apoyarme siempre; las quiero mucho.

A mí amado esposo por el apoyo que me brinda día a día para alcanzar nuevas metas y a mi pequeña Anahiss por ser uno de los motivos principales para salir adelante.

Todos aquellos familiares que me brindaron su apoyo incondicionalmente.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante la realización de esta tesis.

Agradezco también a los maestros de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Forestal – Sede Jaén; aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario; al Ing. Germán Pérez Hurtado, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, por su tiempo compartido para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

# ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE	
RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MARCO TEORICO	11
2.1. Antecedentes	11
2.2. Bases Teóricas	12
2.2.1. Sistemas agroforestales de café	12
2.2.2. Especie de <i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pavón) Oken	13
2.2.3. Regresión lineal	13
2.2.4. Regresión lineal múltiple	14
2.2.5. Diagrama de dispersión	14
2.2.6. Métodos de mínimos cuadrados	15
2.2.7. Relación altura versus diámetro	15
2.2.8. Modelación matemática	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación	18
3.2. Materiales	20
3.3. Metodología	21
3.3.1. Trabajo de campo	21
3.3.2. Trabajo de gabinete	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Resultados	24
4.1.1. Ecuaciones para predecir la altura	24
4.1.2. Resultados estadísticos	26
4.2. Discusión	43
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. Conclusiones	46
5.2. Recomendaciones	46

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXO	52

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de dispersión de especies de la parcela PA01	18
Figura 2.	Mapa de dispersión de especies de la parcela PA02	19
Figura 3.	Mapa de dispersión de especies de la parcela PA03	19
Figura 4.	Mapa de dispersión de especies de la parcela PA04	20

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Estimaciones de los modelos lineales y no lineales.	25
Tabla 2.	Resultados estadísticos de los modelos matemáticos.	27

### ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Corrección de la altura observada y altura estimada. Modelo lineal N°1.	28
Gráfica 2.	Residuos de los datos de la altura observada	28
Gráfica 3.	Frecuencia establecida por clases de los datos.	29
Gráfica 4.	Correlación de la altura observada y la altura estimada. Modelo lineal N°2.	29
Gráfica 5.	Residuos de los datos de la altura observada.	30
Gráfica 6.	Frecuencia establecida por clases de los datos.	30
Gráfica 7.	Correlación de la altura observada y la altura estimada. Modelo lineal N°3.	31
Gráfica 8.	Residuos de los datos de la altura observada.	31
Gráfica 9.	Frecuencia establecida por clase de los datos.	32
Gráfica 10.	Correlación de la altura observada y la altura estimada. Modelo lineal N°4.	32
Gráfica 11.	Residuos de los datos de la altura observado.	33
Gráfica 12.	Frecuencia establecida por clase de los datos.	33
Gráfica 13.	Correlación de la altura observada y la altura estimada. Modelo lineal N°5.	34
Gráfica 14.	Residuos de los datos de la altura observada.	34

Gráfica 15.	Frecuencia establecida por clase de los datos.	35
Gráfica 16.	Correlación de la altura observada y la altura estimada. Modelo lineal N°6.	35
Gráfica 17.	Residuos de los datos del volumen observado.	36
Gráfica 18.	Frecuencia establecida por clase de los datos.	36
Gráfica 19.	Correlación de la altura observada y la altura estimada. Modelo lineal N°7.	37
Gráfica 20.	Residuos de los datos de la altura observada.	37
Gráfica 21.	Frecuencia establecida por clase de los datos.	38
Gráfica 22.	Correlación de la altura observada y la altura estimada. Modelo lineal N°8.	38
Gráfica 23.	Residuos de los datos de la altura observada.	39
Gráfica 24.	Frecuencia establecida por clase de los datos.	39
Gráfica 25.	Correlación de la altura observada y la altura estimada. Modelo lineal N°9.	40
Gráfica 26.	Residuos de los datos de la altura observada.	40
Gráfica 27.	Frecuencia establecida por clase de los datos.	41
Gráfica 28.	Correlación de la altura observada y la altura estimada. Modelo lineal N°10.	41
Gráfica 29.	Residuos de los datos de la altura observada.	42
Gráfica 30.	Frecuencia establecida por clase de los datos.	42

## RESUMEN

La producción maderera dentro de un sistema agroforestal es tan importante como la producción del producto agrícola que se está produciendo por ende uno de los factores que se deben evaluar es la altura de los árboles con el fin de analizar la producción y corregir posibles problemas silviculturales y poder obtener una mejor producción, por tal motivo el objetivo de la investigación fue estimar la altura total de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken en plantaciones agroforestales de café del distrito San José del Alto, provincia de Jaén, región de Cajamarca para ello se estableció el ajuste de los modelos de regresión lineales y no lineales, en función a las variables dasométricas como el diámetro a la altura del pecho (Dap), diámetro a cualquier altura por encima del Dap (d), altura total (H) y la edad (E). Para la proyección se realizó un inventario al 100 %. Luego, los datos obtenidos de campo se procesaron en gabinete, estableciendo el ajuste de los modelos y la estimación de la altura de los individuos de la parcela. Se evaluaron estadísticamente los modelos de regresión lineal y no lineal, para estimar la altura de árboles. Donde se determinó que los datos de la regresión lineal tienen ligera preponderancia en relación a los modelos no lineales donde el modelo lineal que mejor se ajusta es el modelo N°6 y obtiene una correlación de 68.32% y el modelo no lineal que presenta una mejor estimación obtiene una correlación de 63.14%. Concluyendo que el modelo seleccionado para la especie *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken en sistemas agroforestales de las áreas evaluadas es el modelo de regresión  $LnH = 1.16990 + (-5.80139)dap^{-1} + 0.62542LnHd$  debido a que presenta mejores estimaciones.

**Palabras clave:** Modelo de regresión, modelo lineal, *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken.

## ABSTRACT

Timber production within an agroforestry system is as important as the production of the agricultural product that is being produced. Therefore, one of the factors that must be evaluated is the height of the trees in order to analyze the production and correct possible silvicultural problems in order to obtain a better production, For this reason, the objective of the investigation was to estimate the total height of *Cordia alliodora* (Ruíz and Pavón) Oken in agroforestry coffee plantations in the San José del Alto district, province of Jaén, Cajamarca region. For this purpose, the adjustment of linear and non-linear regression models was established, based on dasometric variables such as diameter at chest height (Dap), diameter at any height above Dap (d), total height (H) and age (E). A 100 % inventory was made for the projection. Then, the data obtained from the field were processed in a cabinet, establishing the adjustment of the models and the estimation of the height of the individuals in the plot. Linear and nonlinear regression models were statistically evaluated to estimate tree height. Where it was determined that linear regression data have a slight preponderance in relation to nonlinear models where the linear model that best fits is model N°6 and obtains a correlation of 68.32% and the nonlinear model that presents a better estimate obtains a correlation of 63.14%. Concluding that the model selected for the species *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken in agroforestry systems of the evaluated areas is the regression model  $1.16990+(-5.80139)dap^{-1} +0.62542LnHd$  because it presents better estimates.

**Key words:** Regression model, linear model, *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken.

## I. INTRODUCCIÓN

El análisis de regresión es una herramienta importante para cualquier área de la ciencia, esta técnica es muy usada con mucha frecuencia en el sector forestal para las estimaciones de altura, volumen, y diámetro de los árboles (Barros et al. 2012). La estimación de la altura total de un árbol o grupo de árboles es una de las mediciones requeridas para la toma de decisiones sobre el manejo de una plantación y para los trabajos de investigación sobre crecimiento y rendimiento (Prodan 1997); citado por Aguilar (2004).

Las decisiones del manejo forestal son basadas en informaciones sobre las condiciones de los recursos actuales y futuros; y como las plantaciones constituyen sistemas biológicos dinámicos que están continuamente cambiando, los modelos de crecimiento y producción son necesarios para proyectar los cambios y favorecer informaciones (Avery y Burkhart 1994) y para conseguir modelar la producción es necesario modelar el crecimiento en altura en relación al diámetro. Una primera aplicación de la relación entre estas dos variables es la posibilidad de predecir la altura de los árboles en función de la variable de más fácil medición, el Dap (Larsen y Hann 1987) a partir de modelos matemáticos u otras técnicas de estimaciones.

La utilización de estos modelos para representar o explicar una realidad es una estrategia muy utilizada en varios campos de la ciencia, que son presentaciones simplificadas de una realidad, en que el grado de detalle de los datos de entrada limita el detalle de los resultados (Hasenauer 2000), específicamente en el sector forestal, los modelos matemáticos son utilizados en el planeamiento de las actividades forestales presentes y futuras (Chiari et al. 2008), por lo que el objetivo del presente trabajo de investigación fue estimar la altura total de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken en plantaciones agroforestales de café del distrito San José del Alto, provincia de Jaén, región de Cajamarca, los objetivos específicos fueron:

- Realizar las mediciones respectivas de las variables dasométricas Dap y Altura total de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken.

- Analizar diferentes pruebas estadísticas para la evaluación de precisión de las ecuaciones hipsométricas.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Las investigaciones realizadas por Scolforo (1997), Cardoso (1989) y Bartoszeck (2000), presentaron diversos modelos matemáticos empíricos utilizados para el ajuste de ecuaciones hipsométricas. Brasil es uno de los países que más estudia modelamiento matemático para predecir alturas en plantaciones forestales, donde se destaca investigaciones de Blanco (1984), al utilizar modelos para la relación hipsométrica en poblaciones de *Pinus elliottii* en el Bosque Nacional de Tres Barras, con edad de 14 a 20 años.

Oliveira y Oliveira (1988) utilizan árboles de seis poblaciones de regeneración natural de *Mimosa scabrella* Benth obteniendo la ecuación para estimar la altura  $H = 5,0687 + 0,2930 \cdot Dap^2 + 0,0617 \cdot Dap \cdot Hdom$ . Barros et al. (2012), estudia el comportamiento de 8 modelos hipsométrico para plantaciones de *Pinus oocarpa*, obteniendo como resultado de las estimativas con la prueba estadística de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) por encima del 90 %.

Aguilar (2004), en Costa Rica, estudia las relaciones entre la altura y el diámetro para seis especies maderables probando 26 modelos matemáticos que predice la altura en relación al diámetro, obteniendo  $R^2$  por encima del 60% para aquellos modelos que estima a la altura con Dap; sin embargo, cuando se relaciona la altura, el diámetro y la altura dominante presenta un  $R^2$  por encima del 90 %, concluyendo que para las especies estudiadas dependen de la calidad de sitio y su densidad.

En México, se describe un experimento en el que se ajustaron 12 modelos matemáticos para predecir el diámetro normal, la altura total y el volumen del fuste, a partir del diámetro del tocón para *Pinus arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *Quercus sideroxila* donde el ajuste de los modelos indica que existe una tendencia lineal entre las variables diámetro normal y altura total, en función del diámetro del tocón; mientras que para el volumen del fuste, la relación es logarítmica,

presentando una prueba estadística de  $R^2$  por encima del 90 %. López et al. (2013), relaciona el diámetro con la altura total para plantaciones jóvenes de *Eucalyptus tereticornis* en la costa atlántica colombiana, utilizando diez modelos de estimaciones de alturas totales, donde el modelo regional propuesto por Krumland y Wensel fue seleccionado como el mejor, porque presentó los mejores indicadores de ajuste y predicción.

En Perú, Vásquez y Gonzalez (2015), modela el crecimiento en diámetro y altura del tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke) en la región Loreto, donde se emplearon ecuaciones en diferencias algebraicas derivadas de los modelos base de Hossfeld, Bertalanffy-Richards y Korf. El modelo de Bertalanffy-Richards mostró buenos resultados en diámetro, explicando algo más del 80 % de la variabilidad observada; mientras que, en altura el modelo de Korf explicó más del 91 % de la variabilidad observada.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Sistemas agroforestales de café**

En los sistemas agroforestales con café pueden encontrarse diversas estructuras formadas por el componente arbóreo, estas denominaciones son diferentes a las mencionadas anteriormente, dependen de las especies involucradas y del arreglo espacial del café (Wilkinson y Elevitch 2000). Los sistemas agroforestales con estructura diversa o caficultura tradicional, presentan un manejo menos intensificado y se caracterizan por que el café se establece con dos o más especies de sombrío y con poca alteración de la vegetación presente, lo cual da como resultado una alta diversidad de especies en comparación con otros sistemas. Las especies arbóreas empleadas corresponden a los géneros *Cordia sp*, *Inga sp.*, *Erythrina sp.* y *Albizzia sp.*, entre otras, y se establecen deliberadamente en los lotes con café (Rice 1997). Para satisfacer las diferentes necesidades de sombra se pueden utilizar diferentes especies arbóreas con sus características específicas de competitividad o compatibilidad; entre los atributos más importantes que determinan la compatibilidad de un árbol están: la tasa de

crecimiento, los cambios fenológicos y la arquitectura de la copa (Muschler 2000).

### **2.2.2. Especie de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken**

La familia Boraginaceae se encuentra en climas cálidos, templado o subártico (Gottwald 1983). La familia se divide en cuatro grandes grupos: Cordioideae, Ehretioideae, Heliotropioideae y Boraginoideae, considerados por la mayoría de los autores con el rango de subfamilia, aunque algunos los elevan a la categoría de familia. Dentro de la subfamilia Cordioideae se incluyen tres géneros de ámbito tropical: *Cordia*, *Patagonula* y *Auxemma*. *Cordia* L., con cerca de 400 especies, es el género más grande de la familia (Estrada 1995). Esta especie en el bosque húmedo tropical y muy húmedo tropical, con precipitaciones mayores de 2000 mm anuales alcanza su máximo desarrollo, pero pueden crecer en zonas secas con alrededor de 1000 mm anuales (Pérez 1954). Tiene madera de alta calidad para ebanistería, ya que tiene un mayor grado de importancia económica (Cordero et al. 2003). Presenta un crecimiento inicial en altura muy rápido, generalmente durante los primeros 5 años de edad en sitios óptimos y en condiciones menos favorables, los incrementos medio anuales son aproximadamente 1.5 m en altura y 1.4 cm de diámetro a la altura del pecho (Catie 1994).

### **2.2.3. Regresión lineal**

El modelo de regresión lineal es un modelo para el vínculo de dos variables aleatorias que denominaremos “X” = variable predictora o covariable e “Y” = variable dependiente o de respuesta. El modelo lineal simple (pues sólo vincula una variable predictora con Y) propone que:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1)$$

Donde  $\varepsilon$  es el término del error. Esto es que para cada valor de “X”, la correspondiente observación “Y” consiste en el valor  $\beta_0 + \beta_1 x$  más una cantidad  $\varepsilon$ , que puede ser positiva o negativa, y que da cuenta de que la relación entre “X” e “Y” no es exactamente lineal, sino que está expuesta a variaciones individuales que hacen que el par observado (X, Y) no caiga

exactamente sobre la recta, sino cerca de ella, como puede anticiparse viendo el scatter plot de los datos que usualmente se modelan con este modelo. En el modelo (1) los números  $\beta_0$  y  $\beta_1$  son constantes desconocidas que se denominan parámetros del modelo, o coeficientes de la ecuación. El modelo se denomina “lineal” pues propone que la Y depende linealmente de X. Además, el modelo es lineal en los parámetros: los  $\beta_0$  no aparecen como exponentes ni multiplicados o divididos por otros parámetros. Los parámetros se denominan  $\beta_0$  = ordenada al origen y  $\beta_1$  = pendiente (Noste 2013).

#### **2.2.4. Regresión lineal múltiple**

La regresión lineal permite trabajar con una variable a nivel de intervalo o razón, así también se puede comprender la relación de dos o más variables y permitirá relacionar mediante ecuaciones, una variable en relación a otras variables llamándose Regresión múltiple. O sea, la regresión lineal múltiple es cuando dos o más variables independientes influyen sobre una variable dependiente (Cortés et al. 2015).

#### **2.2.5. Diagramas de dispersión**

Cortés et al. 2015, indican que un diagrama de dispersión es una ilustración gráfica que se usa en el análisis de regresión. Consta de una dispersión de puntos tal que cada punto representa un valor de la variable independiente (medido a lo largo del eje horizontal), y un valor asociado de la variable dependiente (medido a lo largo del eje vertical).

El diagrama de dispersión, también llamado nube de puntos, brinda dos tipos de información, visualmente se pueden determinar los patrones que indican como las variables están relacionadas (lineal o mediante una curva) y por otro lado si existe una relación entre ellas visualizando la clase de línea o ecuación de estimación que describe a dicha relación.

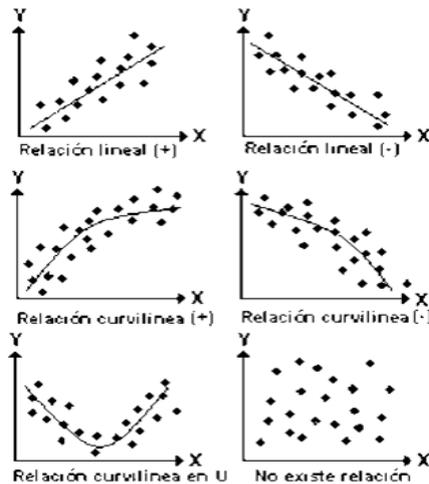


Gráfico de nubes

### 2.2.6. Método de mínimos cuadrados

Novales (2010) indica que es el método que por lo común se utiliza para ajustar una línea a los datos muestrales indicados en el diagrama de dispersión, se llama método de mínimos cuadrados. La línea se deriva en forma tal que la suma de los cuadrados de las desviaciones verticales entre la línea y los puntos individuales de datos se reduce al mínimo. El método de mínimos cuadrados sirve para determinar la recta que mejor se ajuste a los datos muestrales, y los supuestos de este método son:

- El error es cero.
- Los datos obtenidos de las muestras son estadísticamente independientes.
- La varianza del error es igual para todos los valores de X.

Una línea de regresión calculada a partir de los datos muestrales, por el método de mínimos cuadrados se llama línea de regresión estimada o línea de regresión muestral.

### 2.2.7. Relación altura versus diámetro

La expresión de la altura del árbol en función de su DAP es de fundamental importancia en los procedimientos de inventario forestal, expresando correctamente esa relación a través de modelos de regresión, se puede estimar la altura de los árboles de una población forestal mediante su Dap,

donde tal procedimiento implica reducción de costos de inventario (Soares 2006). La predicción de alturas totales se puede realizar empleando modelos locales o modelos regionales de altura-diámetro (Sánchez et al. 2007). Los modelos locales se utilizan en inventarios forestales donde la medición de alturas totales (h) se realiza sólo en una muestra de individuos dentro de cada parcela, debido al elevado costo asociado a la medición (Sharma y Partem 2007). Posteriormente, con base en esta muestra se ajusta un modelo local de altura-diámetro que se utiliza para predecir aquellas alturas no medidas. Una alternativa a los modelos locales es el ajuste de modelos regionales de altura-diámetro, los cuales incluyen en su estructura variables a nivel de rodal con el propósito de aumentar su capacidad predictiva, evitando el ajuste de una función altura-diámetro para cada rodal y, por lo tanto, permitiendo una aplicación más extensiva del modelo (Misir 2010). Un modelo regional de altura-diámetro permite explicar la variabilidad de la relación altura-diámetro causada por diferencias en la calidad de sitio, densidad y régimen de manejo (Crecente et al. 2010).

### **2.2.8. Modelación matemática**

Los modelos por lo general, constan de una forma polinomial y sus parámetros pueden ser derivados directamente de datos empíricos mediante un análisis de regresión (Hairiah et al. 2001).

La ecuación es de la forma:

$$Y = aX^b$$

Las ecuaciones por lo general se utilizan en las siguientes tres formas:

Lineal (con error aditivo)  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_j X_j + \epsilon$

No lineal (con error aditivo)  $Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_j^{\beta_j} + \epsilon$

No lineal (multiplicativa)  $Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_j^{\beta_j} \epsilon$

Dónde:

$Y$  = componente a estimar,

$X_j$  = variable de dimensión del árbol,

$\beta_j$  = parámetro del modelo y

$\varepsilon$  = término de error.

El modelo lineal con error aditivo produce regresiones múltiples lineales que pueden ser ajustadas mediante el procedimiento de estimación de los mínimos cuadrados. El modelo no lineal con error aditivo produce ecuaciones de regresión no lineales que requieren el uso de procesos iterativos para la estimación de sus parámetros; para ambos modelos es necesario obtener la mínima varianza. Mientras que, para el tercer modelo, las ecuaciones usualmente son transformadas a su forma lineal a través de logaritmo natural y los parámetros así pueden ser estimados mediante el procedimiento de los mínimos cuadrados (Parresol 1999).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

Se realizó en cuatro parcelas de asociación agroforestal entre café (*Coffea arabica*) y laurel (*Cordia alliodora* Ruíz & Pavon Oken) en los caseríos de Buenos Aires la Laguna y Huahuaya Grande, del distrito de San José del Alto, que se ubica en el extremo nor-occidental de la provincia de Jaén, región Cajamarca, el distrito cuenta con una superficie de 634,11 km<sup>2</sup>, y su capital distrital se encuentra a 1 500 msnm. El caserío donde se ejecutó el presente trabajo de investigación se encuentra ubicado a 1500 msnm, presenta un clima semi templado durante casi todo el año con lluvias pronunciadas durante los meses de enero a abril y con la presencia de vientos fríos en los meses de junio a julio.

Fuente: Municipalidad Distrital de San José del Alto.

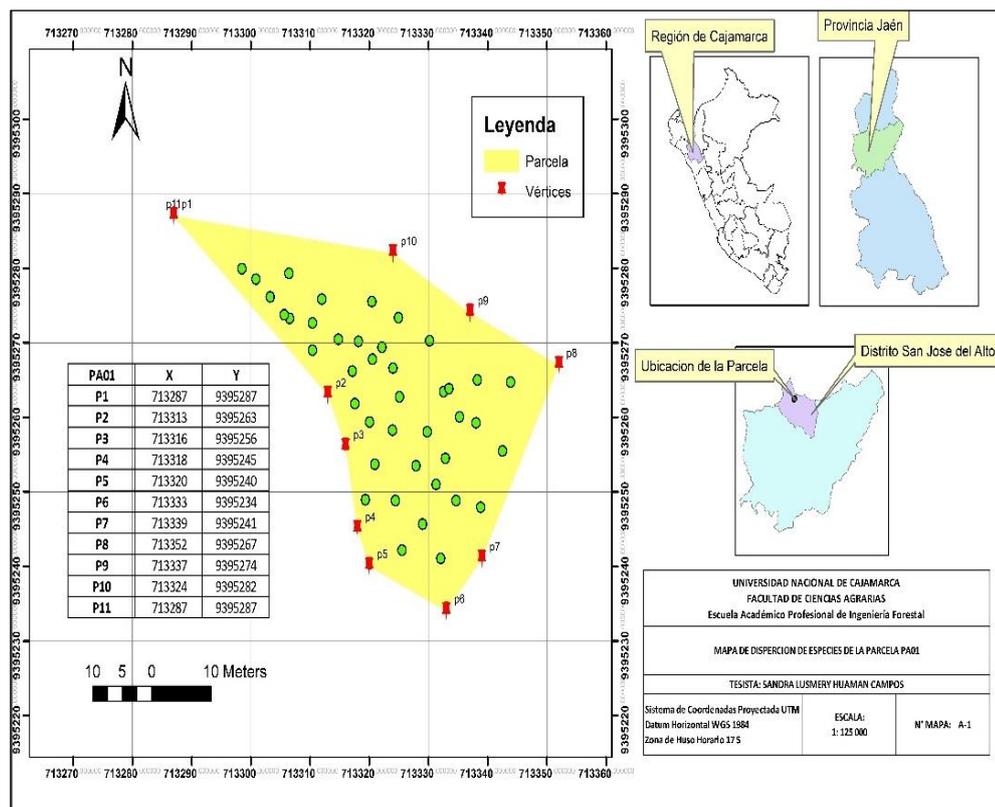


Figura 1. Mapa de ubicación de la parcela PA01

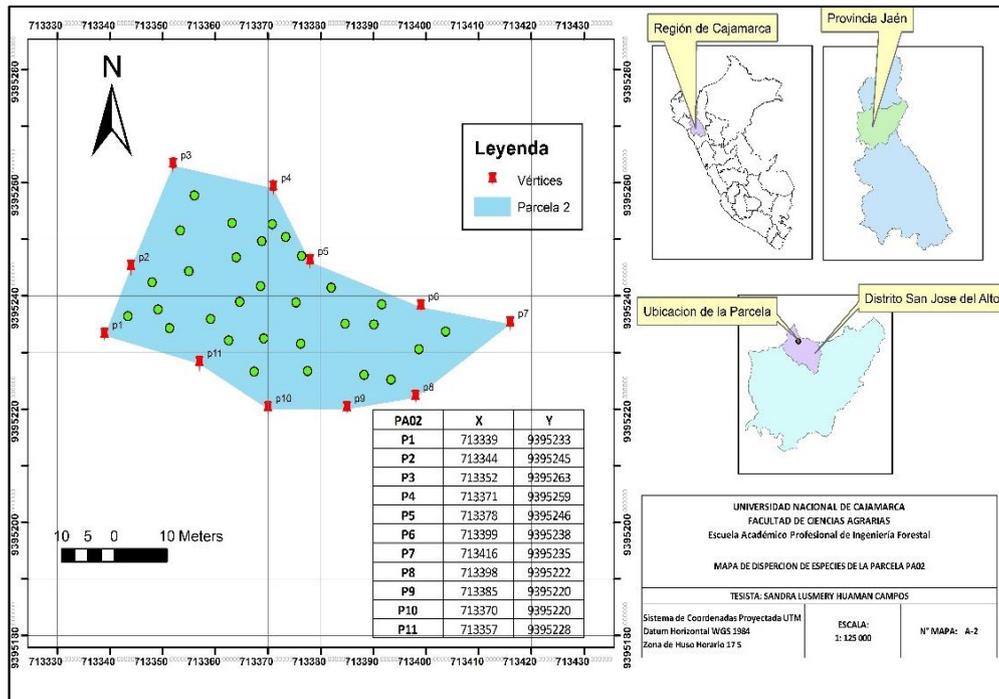


Figura 2. Mapa de ubicación de la parcela PA02

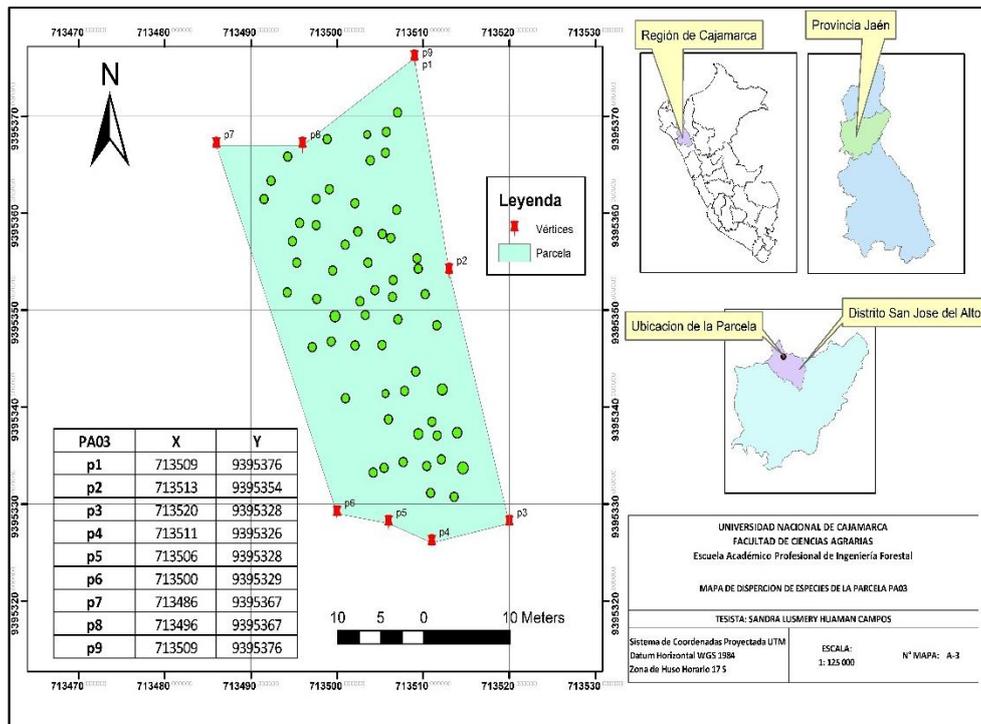


Figura 3. Mapa de ubicación de la parcela PA03

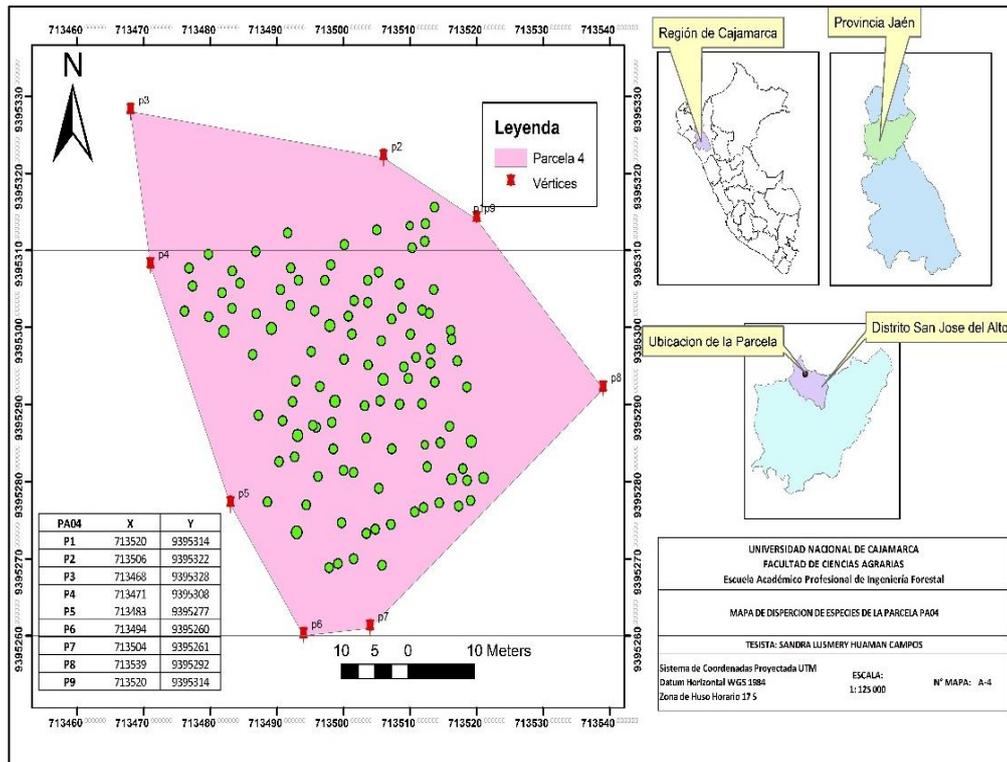


Figura 4. Mapa de ubicación de la parcela PA04

## 3.2. Materiales y equipos

### 3.2.1. Materiales

**Material biológico:** árboles de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken.

**Material de campo:** cinta métrica, cinta mastic, plumón indeleble, forcípula y libreta de campo.

**Material informático:** Microsoft Office 2013 y Statistica 13.

### 3.2.2. Equipos

**Equipos de campo:** receptor GPS y nivel de abney.

**Equipo de gabinete:** computadora portátil e impresora/scanner.

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Trabajo de campo**

##### **a) Reconocimiento y levantamiento del área de estudio**

La primera actividad fue reconocer el área donde se realizó el estudio, para lo cual se procedió a la visita en campo de los predios agroforestales y se seleccionaron 4 parcelas de evaluación teniendo en cuenta que éstas fueran las que presenten mejores condiciones biofísicas, en cuanto a la asociación de las especies en evaluación se tuvieron en cuenta factores como el distanciamiento entre cada individuo de las especies, la topografía, y se tuvo como factor principal la calidad de sitio para lo cual se hizo una evaluación a priori in situ; seguidamente después de identificar y seleccionar las mejores áreas para la evaluación se procedió a la georreferenciación de cada parcela para lo cual se empleó un receptor GPS y se utilizó un sistema de coordenadas proyectadas UTM con Datum Horizontal WGS 84, los puntos georreferenciados, posteriormente fueron descargados y procesados con ayuda del software Arcgis 10.4.1 y Base Camp.

##### **b) Información dasométrica**

Se uso información de una plantación de *corfia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, instalada en el año 1992, distribuidas en los caseríos de Buenos Aires la Laguna y Huahuaya Grande. Se recopiló información de inventarios de años anteriores (año 2008, 2009, 2010 y 2014), además se realizó un inventario en el año 2017 para obtener información dasométrica actual. Las variables a inventariar fueron el Dap (cm) y altura total (m).

#### **3.3.2. Trabajo de gabinete**

##### **a) Ordenamiento y procesamiento de datos**

Los datos colectados en campo, se insertaron en una planilla digital creada en Microsoft Excel, donde se acumularon y manipularon los elementos de

datos para producir información significativa, generando capacidades de manejo correcto informativo y distributivo.

**b) Ecuaciones para estimar la altura total**

Las ecuaciones lineales y no lineales para estimar la altura son las siguientes, conforme a Soares et al. (2006) y Campos y Leite (2017):

MODELO	NÚMERO
$H = \beta_0 + \beta_1 dap$	1 (lineal)
$H = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2$	2 (lineal)
$H = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap^2}$	3 (lineal)
$LnH = \beta_0 + \beta_1 Lndap$	4 (lineal)
$H = \beta_0 + \beta_1 Lndap$	5 (lineal)
$LnH = \beta_0 + \beta_1 dap^{-1} + \beta_2 LnHd$	6 (lineal)
$LnH = \beta_0 + \beta_1 dap^{-1}$	7 (lineal)
$H = 1.3 + dap^2(\beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \beta_3 I * dap)^{-1}$	8(no lineal)
$H = \beta_0 (1 - e^{\beta_1 I \beta_2})^{\beta_3}$	9 (no lineal)

$$H = 1.3 + Hd(1 + \beta_0 e^{\beta_1 Hd})(1 - e^{-\beta_2 dapHd^{-1}}) \quad 10(\text{no lineal})$$

### c) Análisis estadístico

Los modelos de producción serán ajustados por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios y serán evaluadas a través del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), la correlación entre volumen estimado y observado ( $R\hat{Y}Y$ ), por sesgo (BIAS), por la raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) y por la media de las diferencias absolutas (MDA). Además de las variables estadísticas se analizaron gráficos de correlación, residuos y frecuencia.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados

#### 4.1.1. Ecuaciones para predecir la altura

En la tabla N°1, se representa las ecuaciones de regresión lineal y regresión no lineal establecidas para la predicción de la altura de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavon) Oken en las plantaciones agroforestales de café del distrito de San José del Alto, provincia de Jaén, con sus respectivos parámetros de regresión ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ), integrada para los 4 lugares de evaluación, donde el modelo matemático N° 6 presenta mayor confiabilidad con los datos observados que los demás modelos evaluados, con un coeficiente de determinación de 0.6852 o 68.52 % (Tabla N°2); y el que no es aceptado es el modelo N° 9 debido a que representa menor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.2882 o 28.82 % (Tabla N°2).

**Tabla 1.** Estimaciones de los modelos lineales y no lineales

MODELO	NÚMERO
$H = 4.392868 + 0.248164dap$	1 (lineal)
$H = 2.635993 + 0.437877dap - 0.004321dap^2$	2 (lineal)
$H = 10.123 + (-241.996) \frac{1}{dap^2}$	3 (lineal)
$LnH = 0.534225 + 0.570146Lndap$	4 (lineal)
$H = -3.90166 + 4.55367Lndap$	5 (lineal)
$LnH = 1.16990 + (-5.80139)dap^{-1} + 0.62542LnHd$	6 (lineal)
$LnH = 2.63938 + (-7.64498)dap^{-1}$	7 (lineal)
$H = 1.3 + dap^2(6.111476 + (0.704170)dap + (0.086098)dap^2 + (-0.003703)I * dap)^{-1}$	8 (no lineal)
$H = 0.681493 \left(1 - e^{-1.00858I - 0.186224}\right)^{-2.45288}$	9 (no lineal)
$H = 1.3 + Hd(1 + 9.473777e^{-4.92279Hd})(1 - e^{-1.049942dapHd^{-1}})$	10 (no lineal)

#### **4.1.2. Resultados estadísticos**

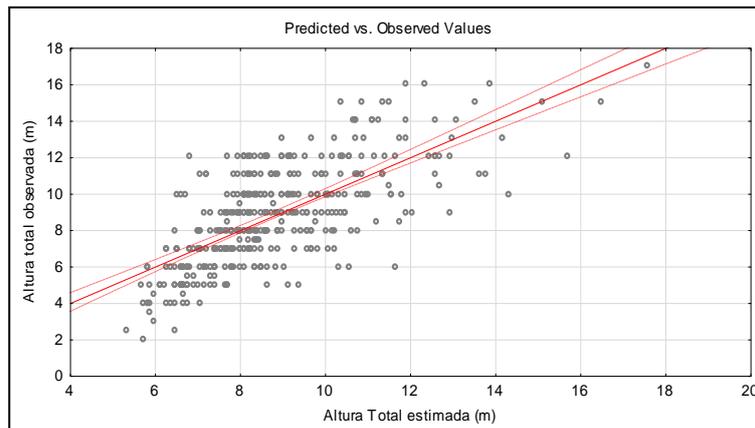
La siguiente tabla, representa las estimativas obtenidas a partir de las ecuaciones de regresión lineal y regresión no lineal establecidas para la predicción de la altura de la *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavon) Oken en las plantaciones agroforestales de café. De los modelos establecidos en el estudio, solo 2 representan un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) cercano a 70 %, siendo así, éstos los modelos aceptables, donde los modelos de mayor coeficiente de determinación fueron: el modelo Lineal N° 6 con 68.52 %, seguido por el modelo No Lineal N°10 con 63.14 % y por último el modelo de menor coeficiente de determinación fue el modelo No Lineal N° 9 con: 28.82 %.

**Tabla 2.** Resultados estadísticos de los modelos matemáticos.

MODELO	Resultados estadísticos								
	Parámetros estadísticos				Variables estadísticas				
	B0	B1	B2	B3	R2	R <sup>2</sup> Y	SESGO	RQEM	MDA
<b>Lineal 1</b>	4.3928	0.2481	-	-	0.4877	0.6966	-0.000000	21.8179	1.5350
<b>Lineal2</b>	2.6359	0.4378	-0.0043	-	0.5106	0.7128	0.000000	21.3247	1.4968
<b>Lineal 3</b>	10.123	-241.996	-	-	0.3326	0.5750	0.023467	24.9021	1.7449
<b>Lineal 4</b>	0.5342	0.5701	-	-	0.5356	0.7132	0.190134	21.4845	1.4841
<b>Lineal 5</b>	-3.9016	4.55367	-	-	0.5196	0.7190	0.000000	21.1279	1.4776
<b>Lineal 6</b>	1.1699	-5.8013	0.6254	-	0.6852	0.8042	0.136100	18.1061	1.2483
<b>Lineal 7</b>	2.6393	-7.6449	-	-	0.5372	0.7096	0.2159	21.6384	1.5015
<b>No Lineal 8</b>	6.1114	0.7041	0.0860	-0.0037	0.5731	0.7551	-0.0145	19.9290	1.3747
<b>No Lineal 9</b>	0.6814	-1.0085	-0.1862	-2.4528	0.2882	0.5361	-0.0039	25.7075	1.7902
<b>No Lineal 10</b>	9.4737	-4.9227	1.0499	-	0.6314	0.7926	0.0300	31.5157	1.2907

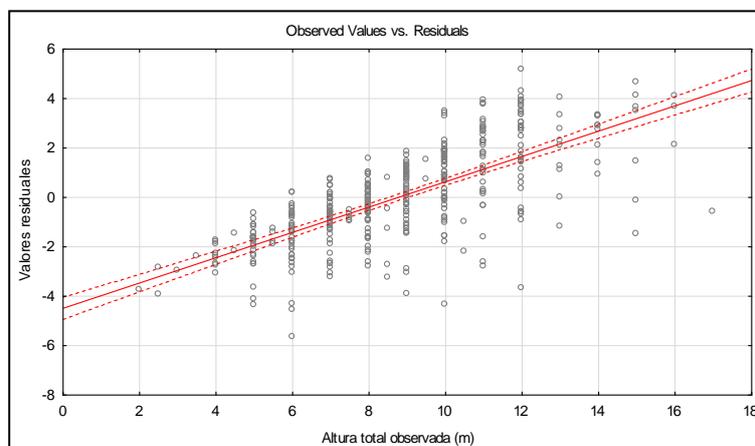
## MODELO 1

En la gráfica 1, se aprecia la correlación de los datos de la altura observada y altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.487744, correlación de los datos de 0.69667548, la raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 21.8179968 y la media de las diferencias absolutas (MDA) de 1.53506174; por lo cual debido a los bajos resultados estadísticos es que los datos se encuentran lejanos de la línea de tendencia y a la vez dispersos.



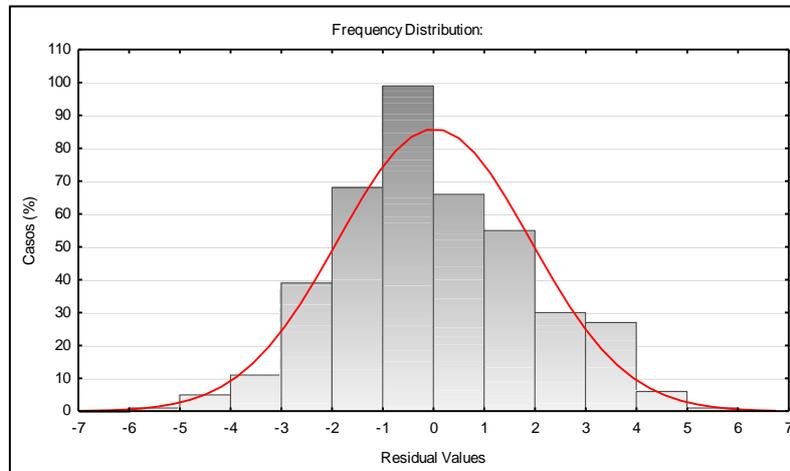
**Gráfica 1.** Correlación de la altura observada y altura estimada.

En la Gráfica 2, se presentan los residuos a partir de los datos observados de la altura de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde se aprecia que la mayoría de los datos se encuentran lejanos a la línea de tendencia, lo cual se debe a la baja correlación de los datos.



**Gráfica 2.** Residuos de los datos de la altura observada.

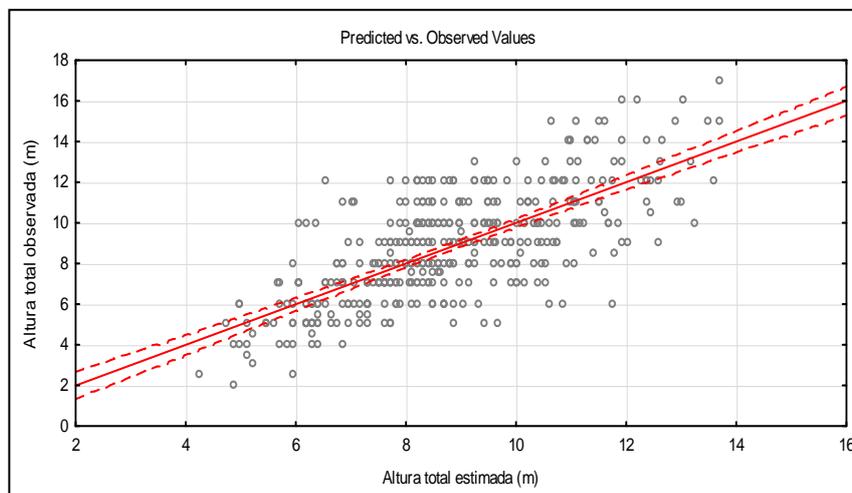
En la Gráfica 3, se muestra la frecuencia establecida por clases de los datos de Volumen de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que es muy cercano a cero,  $-0.00000001$ , también se aprecia que los datos están distribuidos en las clases (-7) y (+7), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase -0, lo cual indica una sub estimación de los datos estimados.



**Gráfica 3.** Frecuencia establecida por clases de los datos.

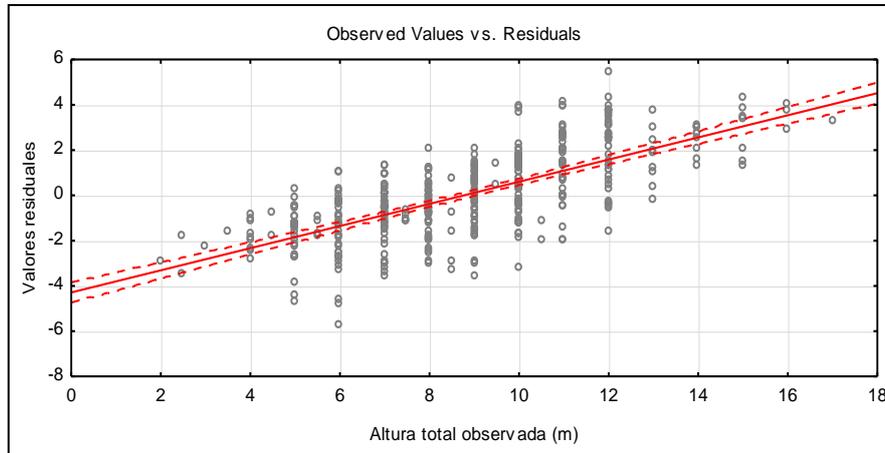
### MODELO 2

En la gráfica 4, se aprecia la correlación de los datos de la altura observada y altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.510645, una correlación de los datos de 0.71284, una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 21.3247212 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 1.49680848.



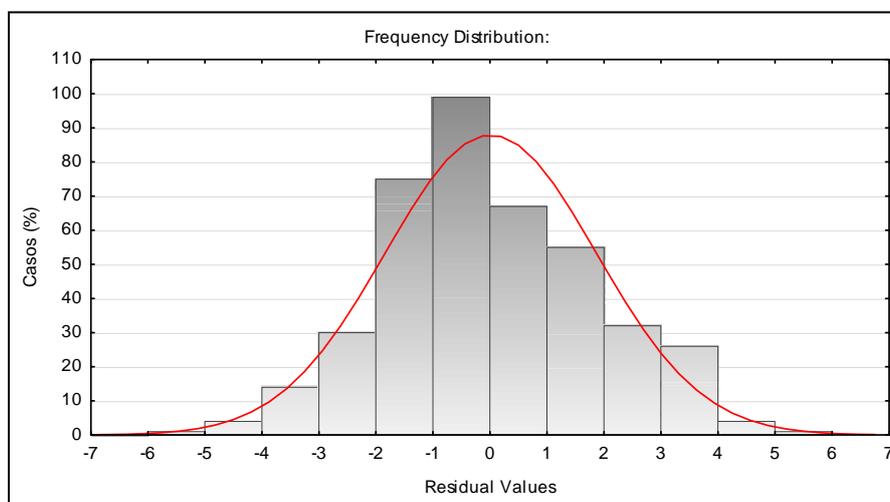
**Gráfica 4.** Correlación de la altura observada y la altura estimada.

En la gráfica 5, se aprecia los residuos a partir de los datos observados del volumen de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde la mayoría de los datos se encuentran lejanos a la línea de tendencia, indicando su baja correlación de datos.



**Gráfica 5.** Residuos de los datos de la altura observada.

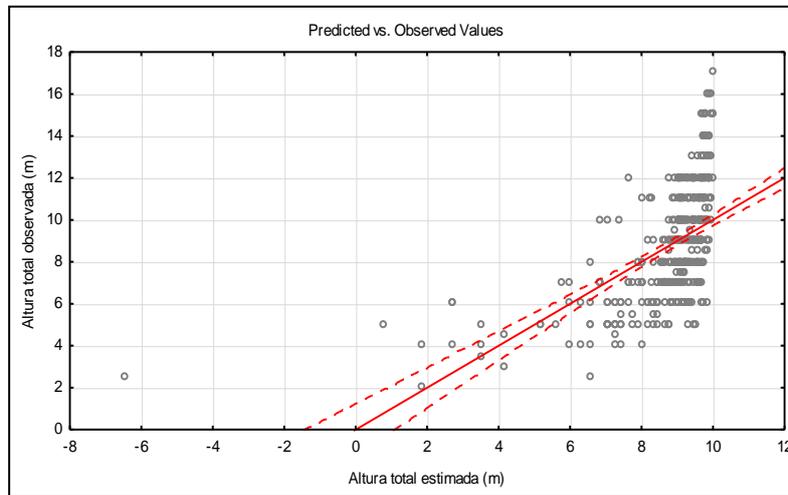
En la gráfica 6, se aprecia la frecuencia establecida por clases de datos de altura de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que es muy cercano a cero,  $-0.0000001$ , también se aprecia que los datos están distribuidos en las clases (-7) y (+7), así mismo se puede apreciar que gran cantidad de los datos se agrupan en la clase (-0) lo cual indica una sub estimación para el modelo lineal N° 2.



**Gráfica 6.** Frecuencia establecida por clases de los datos.

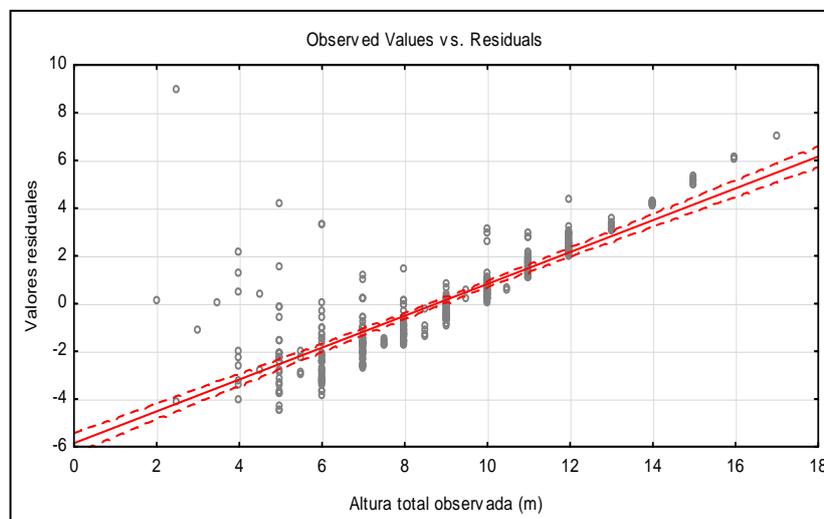
### MODELO 3

En la gráfica 7, se aprecia la correlación de los datos de altura observada y altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.332686, una correlación de los datos de 0.613944, una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 38.001128 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 0.301586.



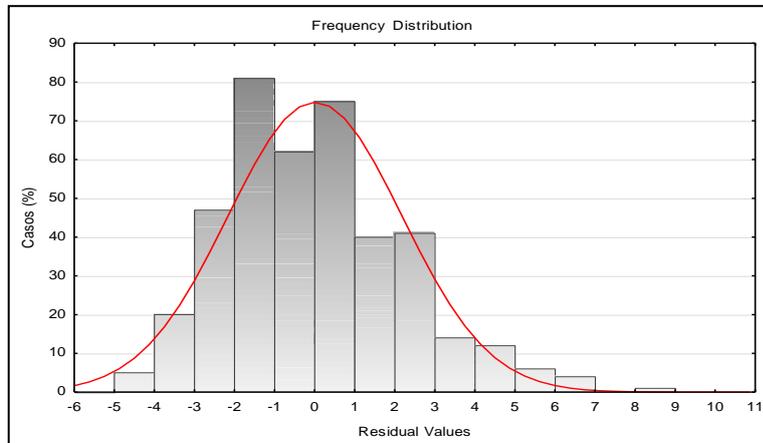
**Gráfica 7.** Correlación de la altura observada y la altura estimada.

En la gráfica 8, se aprecia los residuos a partir de los datos observados de la altura de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde la mayoría de los datos se encuentran lejos de la línea de tendencia, indicando su baja correlación de datos para el modelo lineal N° 3.



**Gráfica 8.** Residuos de los datos de la altura observada.

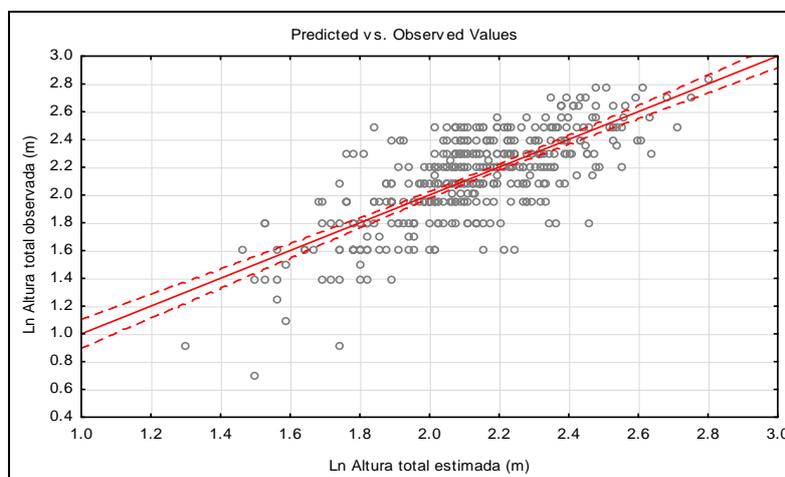
En la gráfica 9, se presenta la frecuencia establecida por clases de los datos de Volumen de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que tiende a cero, 0.023467, también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (+9) y (-6), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase de -1, indicando sub estimación de los datos.



**Gráfica 9.** Frecuencia establecida por clase de los datos.

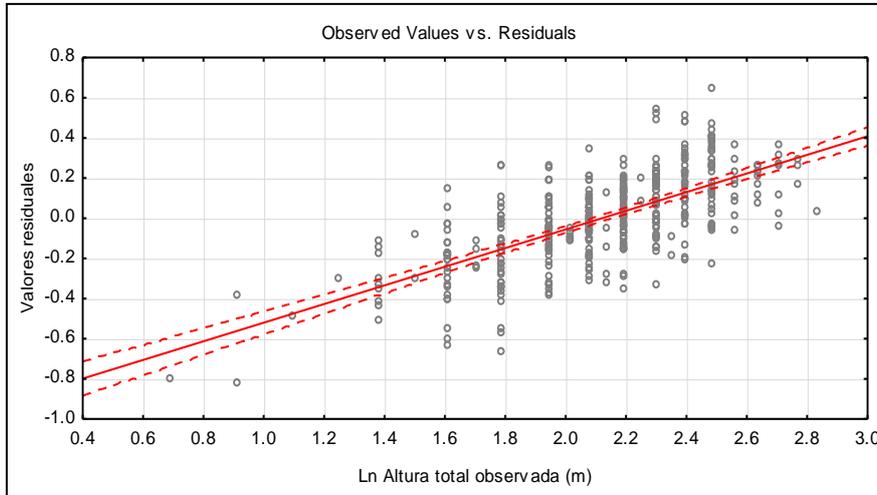
#### MODELO 4

En la gráfica 10, se aprecia la correlación de los datos de Altura observada y Altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.535696 una correlación de los datos de 0.713265, raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 21.4845 y la media de las diferencias absolutas (MDA) de 1.48414227.



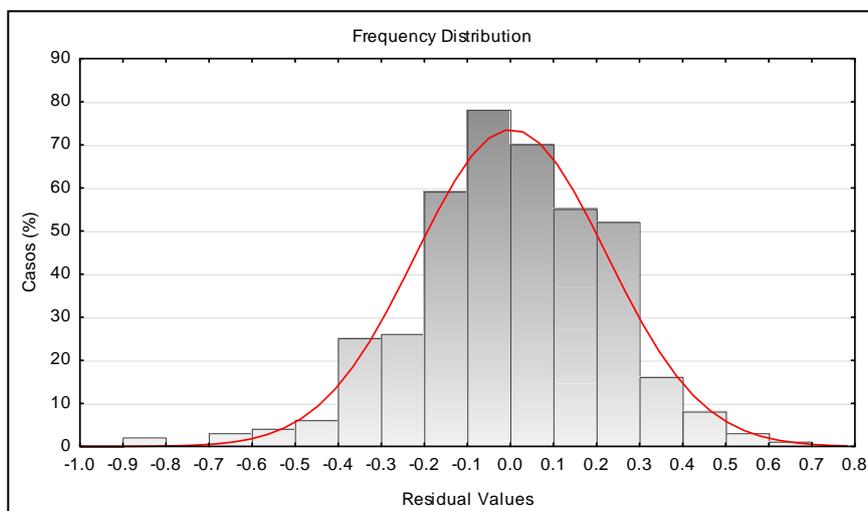
**Gráfica 10.** Correlación de la altura observada y la altura estimada.

En la gráfica 11, se aprecia los residuos a partir de los datos observados de la altura de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde la mayoría de los datos se encuentran lejanos de la línea de tendencia, indicando su baja correlación de datos para el modelo lineal N° 4.



**Gráfica 11.** Residuos de los datos de la altura observado.

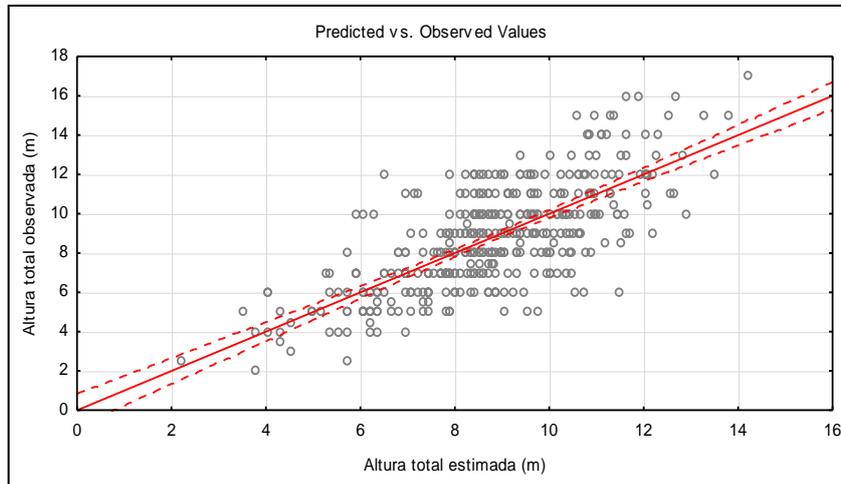
En la gráfica 12, se aprecia la frecuencia establecida por clases de los datos de Volumen de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que tiende a cero (0.0000001), también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (-1.0) y (+0.8), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase de -0.1, indicando sub estimación de los datos.



**Gráfica 12.** Frecuencia establecida por clase de los datos.

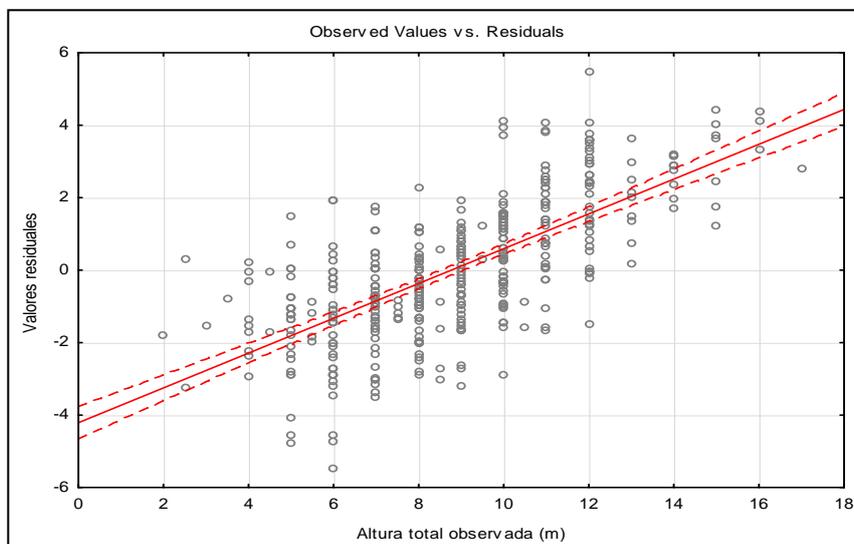
## MODELO 5

En la gráfica 13, se aprecia la correlación de los datos de la altura observada y la altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta un coeficiente de determinación 0.51963, la correlación de los datos de 0.71909 una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 21.1279152 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 1.47766473.



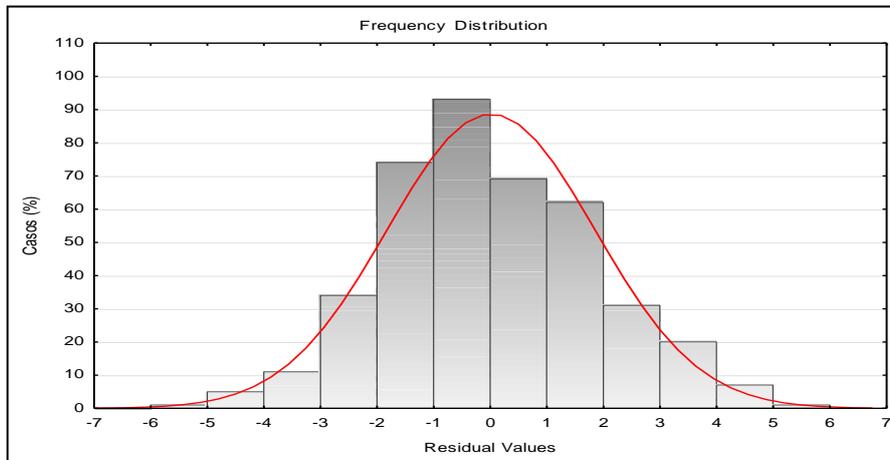
**Gráfica 13.** Correlación de la altura observada y la altura estimada.

En la Gráfica 14, se muestra los valores residuales a partir de los datos observados de la altura den *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde la mayoría de los datos se encuentran lejos de la línea de tendencia, indicando su baja correlación de los datos para el modelo lineal N° 5.



**Gráfica 14.** Gráfica de residuos de los datos de la altura observada.

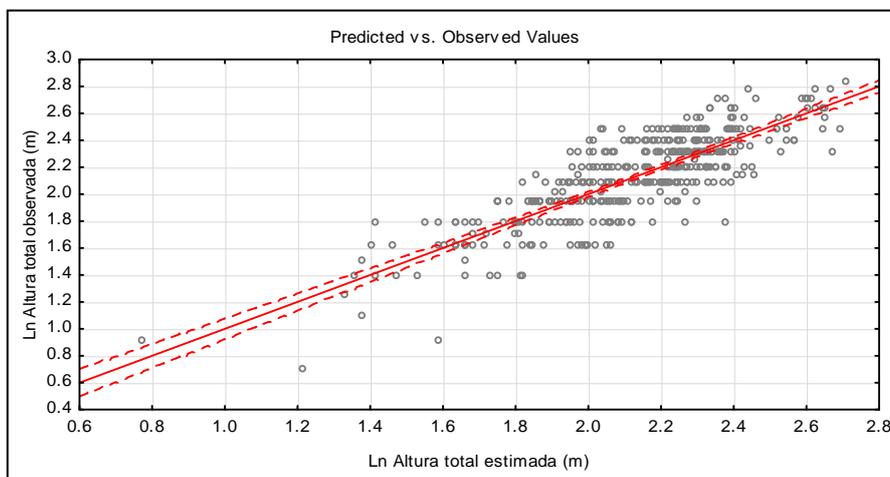
En la gráfica 15, se muestra la frecuencia establecida por clase de los datos de Altura de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que tiende a cero (0.0000001), también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (-6) y (+6), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase de -0, indicando sub estimación de los datos.



**Gráfica 15.** Frecuencia establecida por clase de los datos.

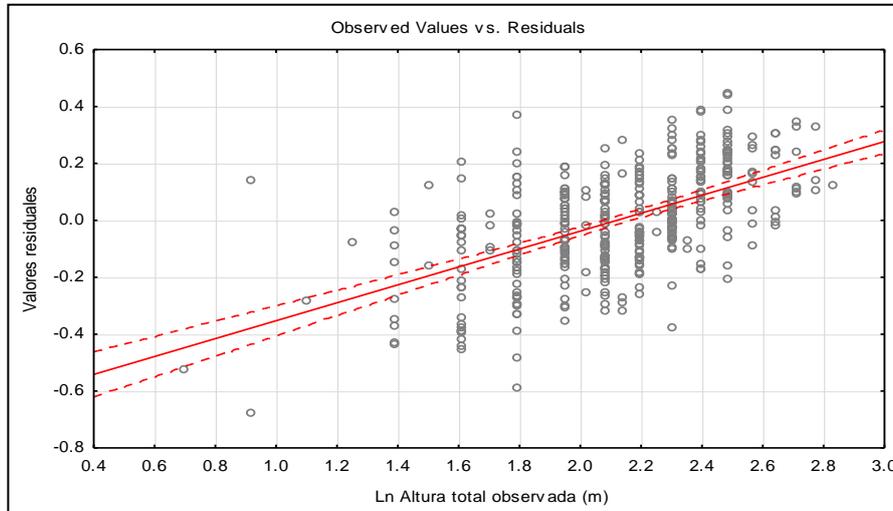
### MODELO 6

En la gráfica 16, se aprecia la correlación de los datos de la altura observada y la altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.685242, una correlación de los datos de 0.80426, una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 18.10616948 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 1.248346666.



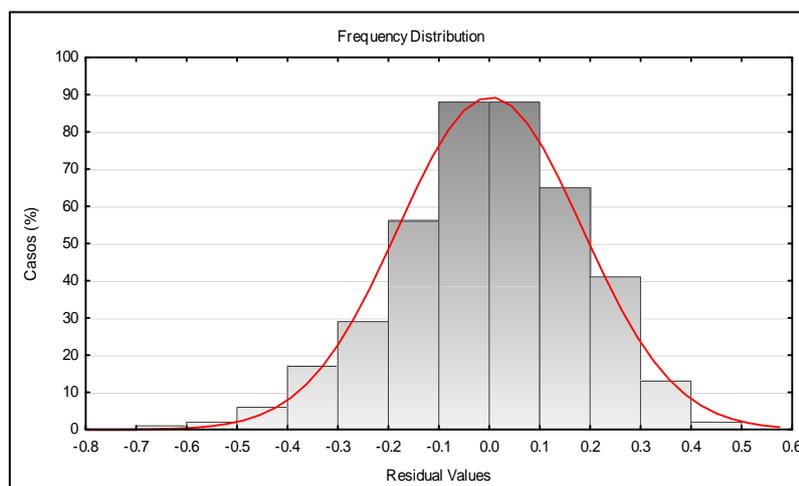
**Gráfica 16.** Correlación de la altura observada y la altura estimada.

En la gráfica 17, se aprecia los residuos a partir de los datos observados de la altura de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde la mayoría de los datos se encuentran cercanos de la línea de tendencia, indicando la alta correlación de datos para el modelo lineal N° 6.



**Gráfica 17.** Gráfica de residuos de los datos del volumen observado.

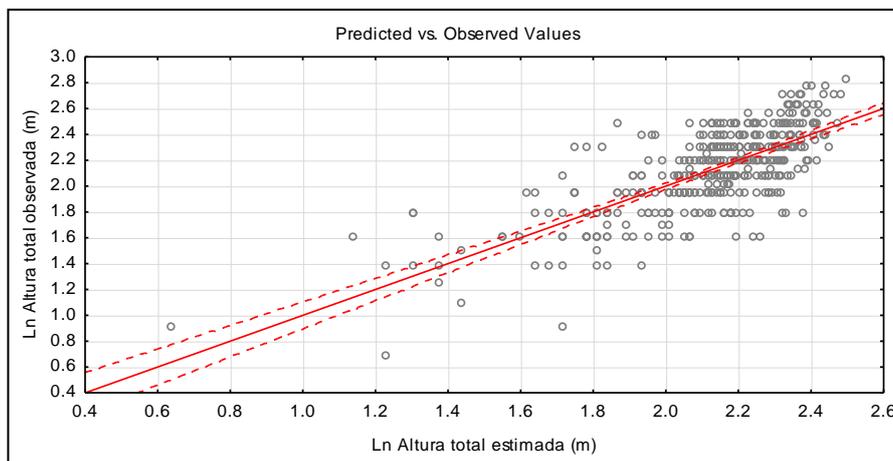
En la gráfica 18, se aprecia la frecuencia establecida por clases de los datos de Altura de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que tiende a cero, 0.136100925, también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (+0.6) y (-0.7), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase de -0.1 a +0.1, indicando una buena estimación de los datos.



**Gráfica 18.** Frecuencia establecida por clase de los datos.

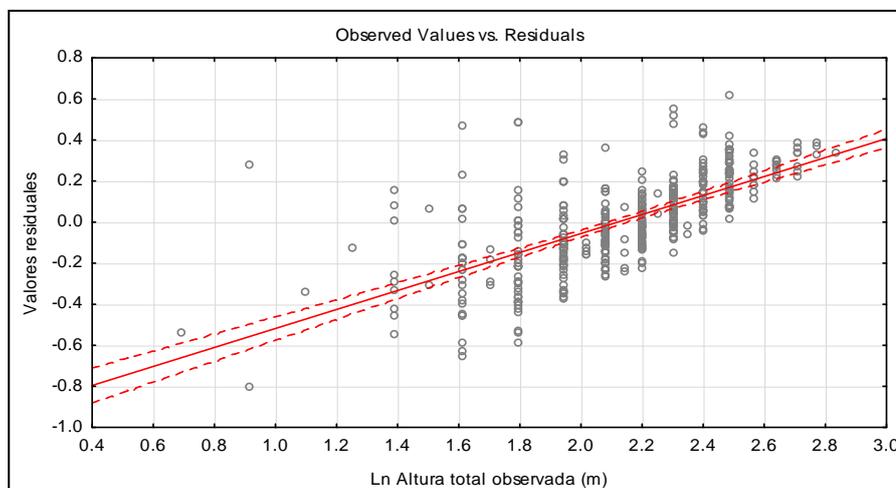
## MODELO 7

En la gráfica 19, se aprecia la correlación de los datos de la altura observada y la altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.53720999, una correlación de los datos de 0.709601969, una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 21.63847371 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 1.501538471.



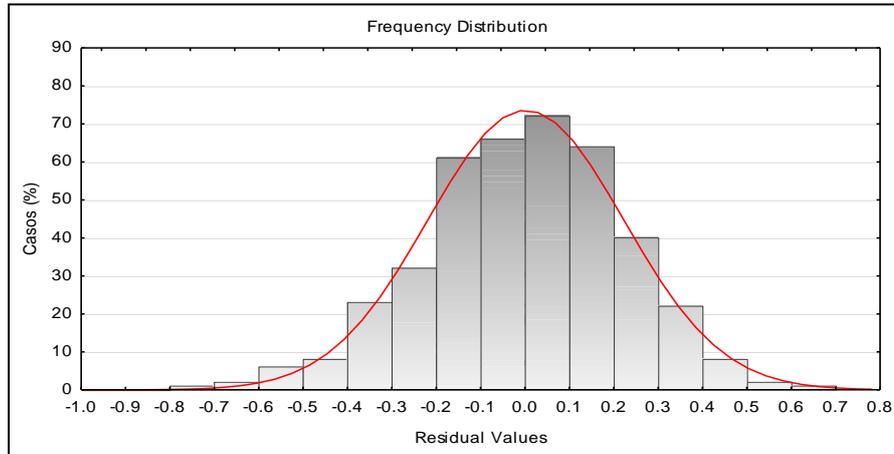
**Gráfica 19.** Correlación de la altura observada y la altura estimada.

En la gráfica 20, se muestra la dispersión de residuos a partir de los datos observados de la altura de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde la mayoría de los datos se encuentran cercanos de la línea de tendencia, indicando su alta correlación de datos para el modelo lineal N° 7.



**Gráfica 20.** Residuos de los datos de la altura observada.

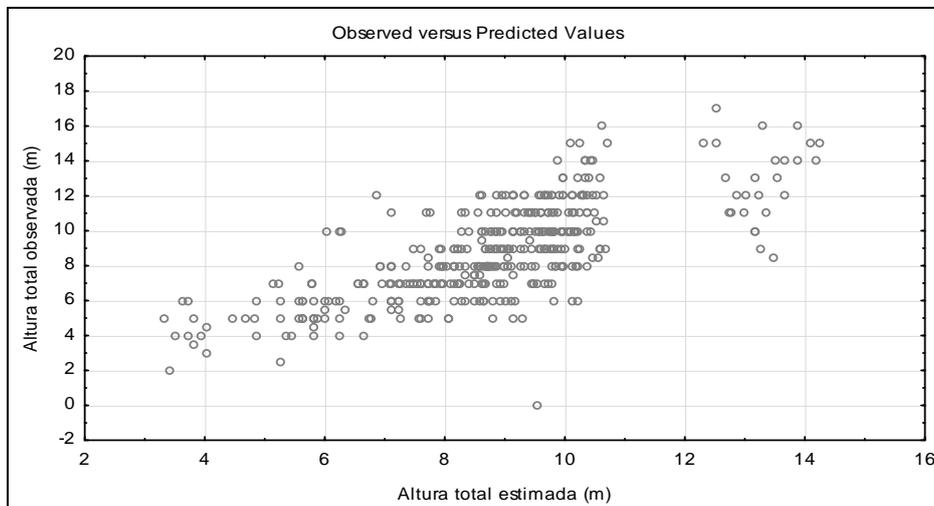
En la gráfica 21, se muestra la frecuencia establecida por clases de los datos de Altura de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que tiende a cero, 0.215966678, también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (+0.7) y (-0.8), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase +0.1, indicando una sobre estimación de los datos.



**Gráfica 21.** Frecuencia establecida por clase de los datos.

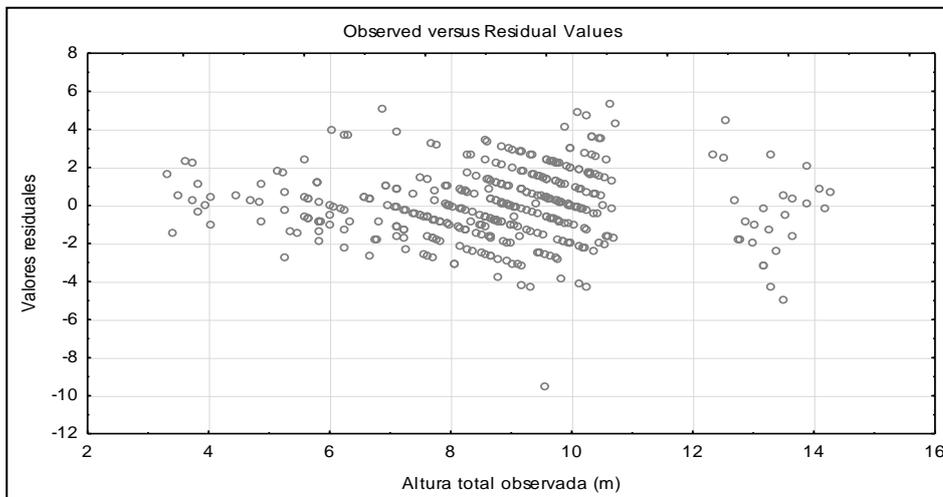
### MODELO 8

En la gráfica 22, se aprecia la correlación de los datos de la altura observada y la altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.5731, una correlación de los datos de 0.755147667, raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 19.9290315 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 1.374795035.



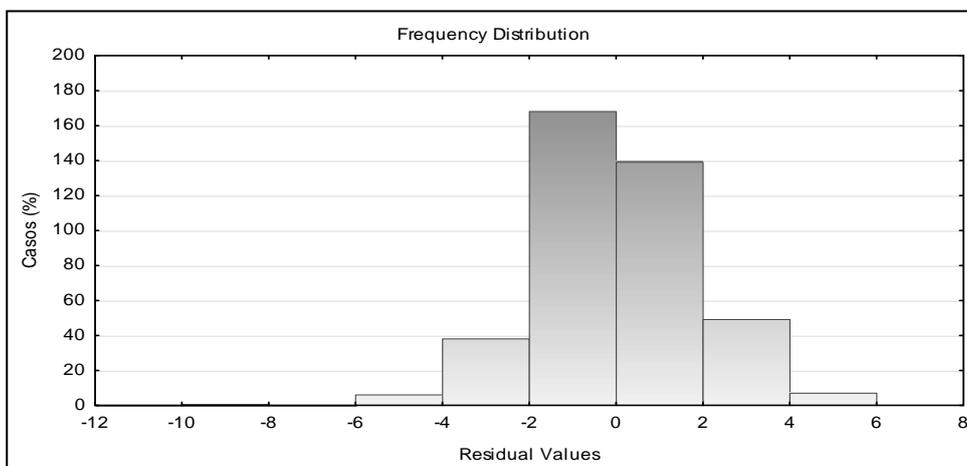
**Gráfica 22.** Correlación de la altura observada y la altura estimada.

En la gráfica 23, se muestra los residuos a partir de los datos observados de la altura de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde la mayoría de los datos se encuentran cercanos de la línea de tendencia, indicando su alta correlación de datos.



**Gráfica 23.** Residuos de los datos de la altura observada.

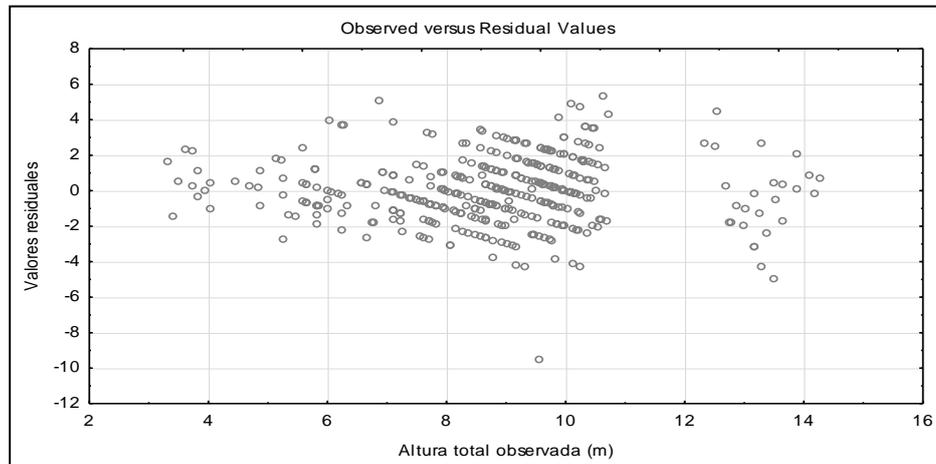
En la gráfica 24, se muestra la frecuencia establecida por clases de datos de Altura de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que tiende a cero, 0.215966678, también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (+6) y (-10), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase 0 a -2, indicando una sub estimación de los datos.



**Gráfica 24.** Frecuencia establecida por clase de los datos.

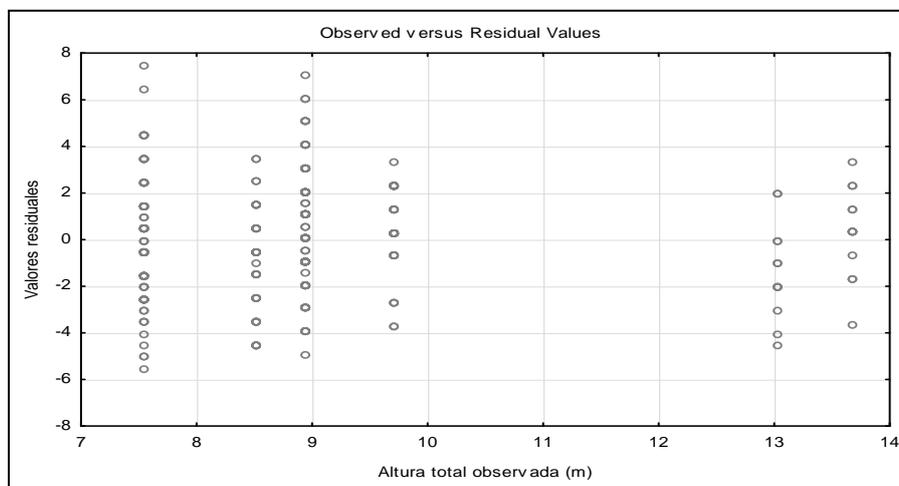
## MODELO 9

En la gráfica 25, se aprecia la correlación de los datos de la altura observada y la altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el coeficiente de determinación  $R^2$  es 0.2889, una correlación de los datos de 0.536175, una raíz cuadrada medio del error (RQEM) de 25.70754147 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 1.790255878.



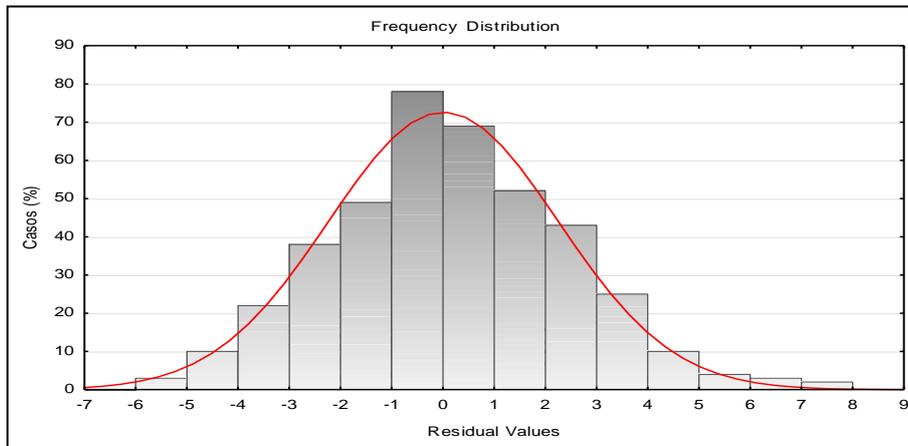
**Gráfica 25.** Correlación de la altura observada y la altura estimada.

En la gráfica 26, se muestra los residuos a partir de los datos observados de la altura de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde la mayoría de los datos se encuentran lejos de la línea de tendencia, indicando su baja correlación de datos.



**Gráfica 26.** Residuos de los datos de la altura observada.

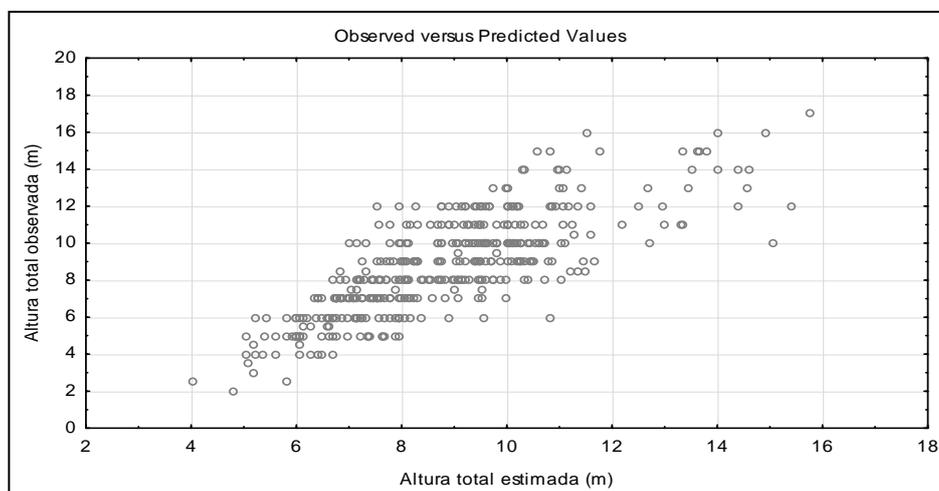
En la gráfica 27, se muestra la frecuencia establecida por clases de datos de Altura de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que tiende a cero, -0.003953414, también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (+0.8) y (-0.7), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase -0, indicando una sub estimación de los datos.



**Gráfica 27.** Frecuencia establecida por clase de los datos.

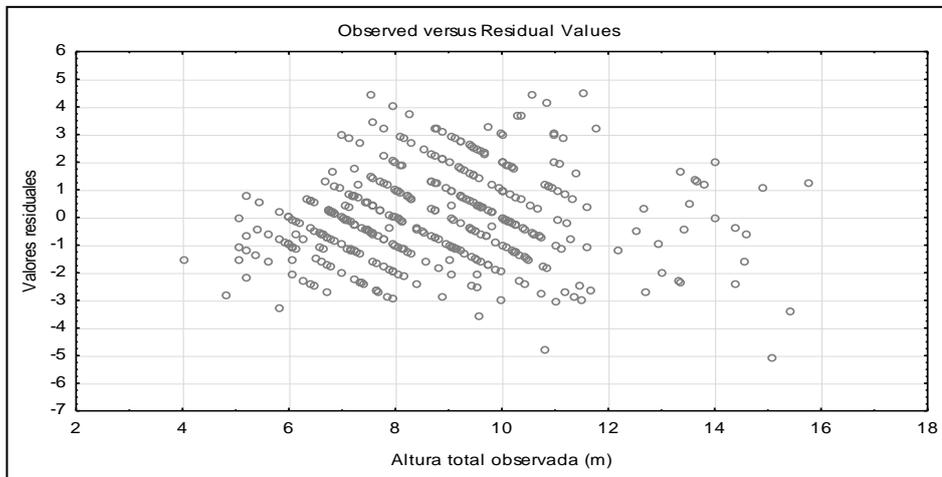
### MODELO 10

En la gráfica 28, se aprecia la correlación de los datos de la altura observada y la altura estimada de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.6314, una correlación de los datos de 0.79267, una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 31.51577 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 1.290767849.



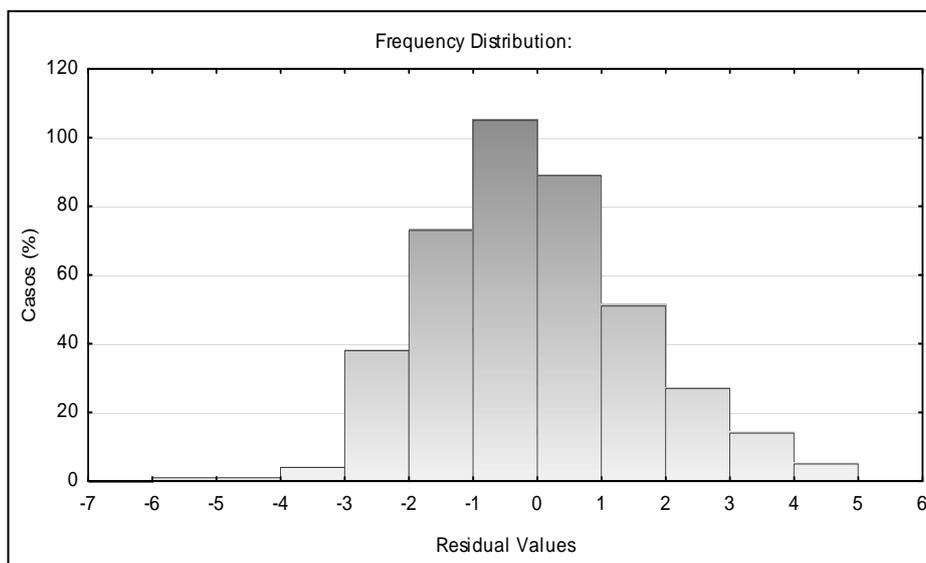
**Gráfica 28.** Correlación de la altura observada y la altura estimada.

En la gráfica 29, se muestra los residuos a partir de los datos observados de la altura de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde la mayoría de los datos se encuentran dispersos, indicando su baja correlación de datos.



**Gráfica 29.** Residuos de los datos de la altura observada.

En la gráfica 30, se presenta la frecuencia establecida por clases de los datos de Altura de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que tiende a cero, 0.030022975, también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (+5) y (-6), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase -0, indicando una sub estimación de los datos.



**Gráfica 30.** Frecuencia establecida por clase de los datos.

## 4.2. Discusión

La especie *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavon) Oken (Laurel) es muy conocida debido a su rápido crecimiento y buenas propiedades de su madera, teniendo gran demanda en sistemas agroforestales, donde estos sistemas son fuente de ingreso adicional a los cultivos que se considera como una caja de ahorro para cualquier emergencia de gastos por ser madera comercial.

En el presente trabajo de investigación desarrollado en cuatro parcelas del distrito de San José del Alto, Jaén departamento de Cajamarca, se evaluó la predicción de altura total de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken en plantaciones agroforestales mediante modelamiento matemático utilizando diez ecuaciones de las cuales 7 fueron modelos lineales y 3 fueron modelos no lineales, de donde se obtuvo que el modelo matemático lineal N°6 y el modelo matemático no lineal N°10; son los más apropiados para aplicar a los individuos evaluados debido a que tienen valores  $R^2$  de 0.6852 y 0.6314 respectivamente, mientras que, solo el modelo no lineal N°9 tiene un valor  $R^2$  de 0.2882 el cual debido a su bajo valor de coeficiente de determinación es el que menos se adecua para esta especie por que se encuentra demasiado lejos de la unidad, corroborando con lo indicado por Barros et al. (2002), quien indica que el modelo seleccionado será el que se encuentre más próximo a la unidad (1).

Para la validación de la prueba de los modelos matemáticos se realizó el ajuste de estos sometidos a un análisis estadístico donde se estimaron parámetros como coeficiente de determinación  $R^2$ , la correlación entre volumen estimado y observado ( $R\hat{Y}Y$ ), sesgo (BIAS), raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) y la media de las diferencias absolutas (MDA), parámetros que son usados para poder reforzar la decisión al momento de seleccionar un modelo matemático para la especie en evaluación, así se seleccionó la ecuación que obtiene el valor del coeficiente de determinación más cercano a la unidad según Barros et al (2002), en el caso de este estudio el modelo seleccionado es el modelo lineal N° 6 con el valor  $R^2$  de 0.6852, el cual es el modelo establecido para poder aplicar al manejo de las plantaciones agroforestales de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken, en el distrito de San José del Alto, provincia de Jaén.

Vendruscolo et al. (2017), realizó estimación de la altura de los árboles de *Tectona grandis L.f.* utilizando regresión y redes neuronales artificiales, donde aplicó 5 modelos de regresión y obtuvo que las ecuaciones ajustadas presentaron ajustes satisfactorios y poca variación en cuanto a las estadísticas dentro de cada tratamiento. Observando que los modelos no lineales presentaron una ligera preponderancia en relación a los modelos lineales, en la mayoría de los casos; sin embargo, en la presente investigación se observa que los modelos lineales obtuvieron superioridad en relación a los modelos no lineales (8; 9; 10).

Según investigaciones realizadas por Machado (et al. 2012) quien probó 13 modelos matemáticos para la relación de altura del fuste/Dap, obtuvo que el valor de  $R^2$  varía de 0.1191 para el modelo 7 a 0.1416 para el modelo 8 valores muy bajos. Esto indica que ninguno de los 13 modelos ajustados presenta gran supremacía sobre los demás con relación a estos dos estimadores de precisión. En cambio Barros (et al. 2002) en plantaciones de *Pinnus ocarpa*, probó 14 modelos matemáticos, determinando que los modelos probados presentaron buen desempeño con valores  $R^2$ , entre 0.5408 a 0.6633, respectivamente para los modelos 2 y 14; sin embargo, en la presente investigación donde se probaron 10 modelos matemáticos y se obtuvo valores de  $R^2$  ensayados relativamente altos, por lo que se puede indicar que los modelos ensayados son aplicables a la especie *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken, debido a que tuvieron buen desempeño en la prueba, con excepción del modelo matemático No lineal N°9 que obtuvo el valor de  $R^2 = 0.2882$  que es el más bajo, por lo que queda descartado para esta especie.

Da Costa y De Andrade (2018) probaron 5 modelos hipsométricos para estimar altura de árboles de *Khaya ivorensis* de 3 años de edad, la elección del mejor modelo se realizó por medio de un análisis estadístico centrándose principalmente en el valor del  $R^2$ ; y se obtuvo que el coeficiente de determinación se encontró alrededor de 0.46 y la distribución de los residuos resultó ser homogénea; sin embargo en el presente trabajo de investigación donde se probaron ecuaciones de regresión lineal y no lineal se obtuvo que los valores del  $R^2$  va desde 0.28 a 0.68 y se tiene que la distribución de los residuos es heterogénea.

Pereira et al. (2014) trabajaron con el ajuste de once modelos hipsométricos para mejor estimar altura en un plantío seminal de *T. grandis* a los trece años de edad en el municipio de Mojú, región Nordeste del estado de Pará. Los autores verificaron que todas las ecuaciones también sobre estimaron la altura de los individuos de Teca, y tal análisis fue justificado por los valores de DMP, que variaron de -0,8 a -3,2 %; de la misma manera, en el presente trabajo de investigación los modelos probados realizaron una sobre estimación de la altura de los individuos analizados de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken.

Barreto et al. (2014) en su estudio determinaron que los modelos de doble entrada fueron estadísticamente superiores a los modelos de simples entrada; por su lado, Campos y Leite, (2009) concluye que los modelos que presentan dos variables independientes son señalados como más eficientes, visto que en razón de sus propiedades estadísticas, esos modelos resultan casi siempre en estimaciones más precisas; en el presente trabajo de investigación se determinó que las ecuaciones que en promedio obtuvieron un mejor análisis estadístico fueron los modelos lineales.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

Se analizaron los modelos matemáticos lineales y no lineales, para predecir la altura de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken en plantaciones agroforestales de café en cuatro parcelas de los caseríos de Buenos Aires la Laguna y Huahuaya Grande del distrito de San José del Alto, provincia de Jaén de la región de Cajamarca, y se determinó que el modelo matemático lineal N°6 es el más adecuado para aplicar en los individuos de la plantación de la zona evaluada, por presentar el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.6852, la correlación ( $R_{\hat{Y}Y}$ ) de 0.80, por sesgo (BIAS) que tiende a cero, siendo estos valores los que dan más confiabilidad al modelo para su aplicación.

Se realizó las mediciones respectivas de las variables dasométricas de Diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro a cualquier altura por encima del DAP (d), altura total (H), altura donde el diámetro d es considerado (h), presente en el fuste de los individuos de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken de las plantaciones agroforestales.

De los diez modelos establecidos en el estudio, los modelos matemáticos lineales N°2, 4, 5, 6, 7 y los modelos matemáticos no lineales N°8 y 10 presentan un alto grado de confiabilidad al presentar coeficientes de determinación  $R^2$  cercano a la unidad, indicando que la calidad de los modelos es aceptable.

### 5.2. Recomendaciones

Para establecer un sistema de manejo para las plantaciones agroforestales de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, se recomienda utilizar el modelo matemático Lineal N° 6 debido a que presenta un alto coeficiente de determinación ( $R^2$ ) 68.52 % y los resultados de sus parámetros analizados son bajos y cercanos a cero.

Se recomienda que para la selección de un modelo matemático se analice en primer lugar el coeficiente de determinación, siendo así que el modelo que presente su coeficiente de determinación más cercano a la unidad será el más apropiado para seleccionarlo, y en caso se encuentre dos o más modelos con el valor de  $R^2$  semejante, se proceda a analizar los demás parámetros estadísticos y así el que tenga los resultados más bajo o cercano a cero será el óptimo.

Se recomienda que se empleen los modelos matemáticos que dieron un resultado de estimación óptimo para realizar planificaciones de manejo y lograr incrementar la producción maderera y por ende obtener mayores ingresos económicos.

## VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Aguilar, D. A. 2004. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 1(2), 33-43.

Avery T. E y Burkhardt H. E. 1994. *Forest measurements*. New York: McGRAW-HILL. 432 p.

Barros, D. D., Machado, S. D. A., Acerbi Junior, F. W., y Scolforo, J. R. S. 2002. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. *Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo*, 45, 3-28.

Barreto WF, Leão FM, Menezes MC, Souza DV (2014). Equação de volume para apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em Anapu, Pará. *Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo*, 34: 1-9

Bartoszeck, A. C. P. S. 2000. Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracatingais da região metropolitana de Curitiba. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Blanco J. L. A. 1984. Equação de relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus elliottii* Elgelm na Floresta Nacional de Três Barras, SC. *Brasil Florestal, Brasília, DF*, (56), 41-47.

Campos, J. C. C.; Leite, H. G. 2017. *Mensuração florestal: Perguntas e respostas*. 5. ed. Viçosa: UFV. 605 p.

Cardoso, D. J. 1989. Avaliação da influência dos fatores sítio, idade, densidade e posição sociológica na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do Estado do Paraná. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Catie. 1994. Laurel (*Cordia alliodora* R y P) Oken, especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turriaba, Costa Rica, CATIE. 47p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 239).

Chiari, R., Carrero, O. E., Jerez, M., Quintero, M. A., Stock, A., y Stock, J. 2008. Modelo preliminar para la planificación del aprovechamiento en plantaciones forestales industriales en Venezuela. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 33(11), 802-809.

Cordero, J; Mesén, F; Montero, M; Stewart, J; Boshier, D; Chamberlain, J; Pennington, T; Hands, M; Hughes, C; Defletsen, G. 2003. Descripciones de especies de árboles nativos de America Central. En *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Eds. Cordero, J; Boshier DH. OFI-CATIE, Turrialba, Costa Rica. p. 473-476.

Cortés, J., Bielsa, N., & Cobo, E. (2015). Regresión lineal simple.

Crecente F, M Tomé, P Soares, U Diéguez. 2010. A generalized nonlinear mixed-effects height-diameter model for *Eucalyptus globulus* L. in Northwestern Spain. *Forest Ecology and Management* 259: 943-952.

Da Costa Gama, R., y De Andrade, V. C. L. (2018) Equações hipsométricas e volumétricas para mogno africano no sul do Tocantins. *Scientia Agraria Paranaensis*, 17(4), 507-514.

Do Amaral Machado, S., Nascimento, R. G. M., Augustynczyk, A. L. D., da Silva Silva, L. C. R., Figura, M. A., Pereira, E. M., & Téó, S. J. 2008. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. *Pesquisa Florestal Brasileira*, (56), 5.

Estrada S, J. 1995. *Cordia* subgénero *Varronia* (Boraginaceae). *Flora de Colombia* (ISSN 0120-4351; monogr, (14).

Gottwald, H. 1983. Wood anatomical studies of Boraginaceae (s.l.). I. Cordioideae. *IAWA Bull. n.s.* 4: 161-178.

Hairiah K., Sitompul S.M., Van Noodwick M. y Palm C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Centre for Research in Agroforestry. Southeast Asian Regional Research Programme. Bogor, Indonesia.

Hasenauer, H. 2000. Princípios para a modelagem de ecossistemas florestais. Revista Ciência & Ambiente, n. 20, p. 53-69.

Larsen, D. R., y Hann, D. W. 1987. *Height-diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon*. Corvallis, OR: Forest Research Laboratory, College of Forestry, Oregon State University.

López, A. M., Trincado, G., Barrios, A., y Nieto, V. 2013. Modelos regionales de altura-diámetro para plantaciones jóvenes de *Eucalyptus tereticornis* en la costa atlántica colombiana. *Bosque (Valdivia)*, 34(2), 233-241.

Machado S.A. 2012. Studies in Growth and Yield Estimation for *Pinus taeda* L. Plantations in the State of Paraná-Brazil. Dissertation. (Doctor of Philosophy). University of Washington. 170 p.

Misir N. 2010. Generalized height-diameter models for *Populus tremula* L. stands. *African Journal of Biotechnology* 9(28): 4348-4355.

Muschler R.G. 2000. Árboles en cafetales. Turrialba: CATIE. 139 p.

Noste, M. E. S. (2013). Apunte de Regresión Lineal. Buenos Aires.

Novales, A. (2010). Análisis de Regresión. Disponible en: <http://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>

Oliveira Y. M. y Oliveira E. B. 1988. Relacao hipsométrica para bracatinga. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Manual técnico de bracatinga (*Mimosa scabellia* Benth). Curitiba. Embrapa-CNPQ, p.46-47.

Parresol BR. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4): 573–593.

Perez F. C. A. 1954. Estudio forestal del laurel, *Cordia alliodora* (R. & P.)" Cham., en Costa Rica. Tesis, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica, 209 p.

Prodan, M. 1997. *Mensura forestal* (No. 1). Agroamerica.

Rice R.A.1997. The land use patterns and the history of coffee in eastern Chiapas, Mexico. *Agric. Human Values* 14, 127– 143.

Sánchez M, I Cañellas, G Montero. 2007. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 16(1): 76-88.

Scolforo J. R. S. 1997. Técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira. Lavras: ESAL: FAEPE. 292 p.

Sharma M, J Partem. 2007. Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using mixed-effects modeling approach. *Forest Ecology and Management* 249:187-198.

Soares, C. P. B., de Paula Neto, F., & de Souza, A. L. 2006. *Dendrometria e inventário florestal*. UFV.

Vasquez, J. B. B., y Gonzalez, J. A. 2015. Modelamiento Del Crecimiento De Tornillo *Cedrelinga Catenaeformis* Ducke En Plantaciones En Jenaro Herrera, Departamento De Loreto, Perú. *Folia Amazónica*, 24(1), 21-32.

Vendruscolo, D. G. S., Chaves, A. G. S., Medeiros, R. A., da Silva, R. S., Souza, H. S., Drescher, R., & Leite, H. G. 2017. Estimativa da altura de árvores de *Tectona grandis* Lf utilizando regressão e redes neurais artificiais. *Nativa*, 5(1), 52-58.

Wilkinson, K.M. y Elevitch, C.R. 2000. Integrating understory crops with tree crops: An introductory guide pacific island. Hawaii: Permanent Agriculture Resources. 4 p.

# **ANEXOS**

**Anexo 1.** Inventario de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken, donde DAP (diámetro a la altura del pecho), Dapd (diámetro a la altura del pecho dominante), Ht (altura total), Hc (altura comercial) Hd (altura dominante).

Nombre de la parcela	Código	Edad (años)	Edad(meses)	DAP	HC (m)	dap (cm)	Dap d	HT	Hd
PA 01	A1	5	60	0.210084034	4	21.0084034	13.701928	7	6
		8	96	0.257830405	6	25.7830405	15.806942	11	9
	A2	5	60	0.165520754	5	16.5520754	13.701928	6	6
		8	96	0.213267125	4	21.3267125	15.806942	8	9
	A3	5	60	0.229182582	6	22.9182582	13.701928	7	6
		8	96	0.276928953	10	27.6928953	15.806942	14	9
	A4	5	60	0.235548765	6	23.5548765	13.701928	7	6
		8	96	0.248281131	9	24.8281131	15.806942	12	9
	A5	5	60	0.171886937	5	17.1886937	13.701928	6	6
		8	96	0.190985485	8	19.0985485	15.806942	12	9
	A6	5	60	0.210084034	7	21.0084034	13.701928	8	6
		8	96	0.238731856	7	23.8731856	15.806942	10	9
	A7	5	60	0.232365674	8	23.2365674	13.701928	9	6
		8	96	0.235548765	12	23.5548765	15.806942	13	9
	A8	5	60	0.29284441	5	29.284441	13.701928	6	6
		8	96	0.302393685	5	30.2393685	15.806942	9	9
	A9	5	60	0.213267125	6	21.3267125	13.701928	7	6
		8	96	0.219633308	7	21.9633308	15.806942	10	9
	A10	5	60	0.15597148	6	15.597148	13.701928	7	6
		8	96	0.171886937	10	17.1886937	15.806942	12	9
	A11	5	60	0.168703845	7	16.8703845	13.701928	8	6
		8	96	0.175070028	9	17.5070028	15.806942	11	9

A12	5	60	0.187802394	5	18.7802394	13.701928	6	6
	8	96	0.213267125	10	21.3267125	15.806942	13	9
A13	5	60	0.248281131	5	24.8281131	13.701928	6	6
	8	96	0.181436211	6	18.1436211	15.806942	8	9
A14	5	60	0.175070028	5.5	17.5070028	13.701928	7	6
	8	96	0.194168577	9	19.4168577	15.806942	12	9
A15	5	60	0.178253119	5	17.8253119	13.701928	6	6
	8	96	0.203717851	4	20.3717851	15.806942	8	9
A16	5	60	0.171886937	4	17.1886937	13.701928	5	6
	8	96	0.152788388	7	15.2788388	15.806942	11	9
A17	5	60	0.200534759	4	20.0534759	13.701928	5	6
	8	96	0.241914948	8	24.1914948	15.806942	11	9
A18	5	60	0.190985485	3.5	19.0985485	13.701928	5	6
	8	96	0.225999491	5	22.5999491	15.806942	8	9
A19	5	60	0.108225108	6	10.8225108	13.701928	7	6
	8	96	0.143239114	8	14.3239114	15.806942	11	9
A20	5	60	0.130506748	6	13.0506748	13.701928	7	6
	8	96	0.159154571	9	15.9154571	15.806942	12	9
A21	5	60	0.124140565	6.5	12.4140565	13.701928	8	6
	8	96	0.159154571	9	15.9154571	15.806942	11	9
A22	5	60	0.175070028	8	17.5070028	13.701928	9	6
	8	96	0.210084034	7	21.0084034	15.806942	9	9
A23	5	60	0.165520754	5	16.5520754	13.701928	6	6
	8	96	0.213267125	5	21.3267125	15.806942	8	9
A24	5	60	0.108225108	3	10.8225108	13.701928	4	6
	8	96	0.136872931	5	13.6872931	15.806942	6	9
A25	5	60	0.136872931	5	13.6872931	13.701928	7	6

		8	96	0.171886937	6	17.1886937	15.806942	8	9
	A26	5	60	0.149605297	6	14.9605297	13.701928	7	6
		8	96	0.197351668	5	19.7351668	15.806942	8	9
	A27	5	60	0.08912656	4	8.91265597	13.701928	5	6
		8	96	0.114591291	5	11.4591291	15.806942	7	9
	A28	5	60	0.108225108	6	10.8225108	13.701928	7	6
		8	96	0.13368984	7	13.368984	15.806942	9	9
	A29	5	60	0.08912656	5	8.91265597	13.701928	6	6
		8	96	0.127323657	6	12.7323657	15.806942	8	9
	A30	5	60	0.108225108	5	10.8225108	13.701928	7	6
		8	96	0.130506748	5	13.0506748	15.806942	7	9
	A31	5	60	0.146422205	5	14.6422205	13.701928	6	6
		8	96	0.152788388	6	15.2788388	15.806942	10	9
	A32	5	60	0.149605297	6	14.9605297	13.701928	7	6
		8	96	0.165520754	7	16.5520754	15.806942	11	9
	A33	5	60	0.070028011	4	7.00280112	13.701928	5	6
		8	96	0.085943468	5	8.59434683	15.806942	7	9
	A34	5	60	0.095492743	5	9.54927426	13.701928	6	6
		8	96	0.108225108	7	10.8225108	15.806942	8	9
	A35	5	60	0.130506748	6	13.0506748	13.701928	7	6
		8	96	0.149605297	7	14.9605297	15.806942	9	9
	A36	5	60	0.168703845	6	16.8703845	13.701928	8	6
		8	96	0.197351668	10	19.7351668	15.806942	12	9
	A37	5	60	0.127323657	6	12.7323657	13.701928	7	6
		8	96	0.149605297	8	14.9605297	15.806942	11	9
	A38	5	60	0.146422205	6	14.6422205	13.701928	7	6
		8	96	0.178253119	6	17.8253119	15.806942	11	9

A39	5	60	0.08912656	4	8.91265597	13.701928	5	6
	8	96	0.108225108	5	10.8225108	15.806942	7	9
A40	5	60	0.08912656	4	8.91265597	13.701928	5	6
	8	96	0.136872931	6	13.6872931	15.806942	8	9
A41	5	60	0.130506748	5	13.0506748	13.701928	7	6
	8	96	0.168703845	5	16.8703845	15.806942	8	9
A42	5	60	0.127323657	6	12.7323657	13.701928	7	6
	8	96	0.149605297	6	14.9605297	15.806942	10	9
A43	5	60	0.054112554	1	5.41125541	13.701928	2	6
	8	96	0.085943468	4	8.59434683	15.806942	7	9
A44	5	60	0.13368984	5	13.368984	13.701928	7	6
	8	96	0.149605297	6	14.9605297	15.806942	8	9
A45	5	60	0.08912656	4	8.91265597	13.701928	6	6
	8	96	0.105042017	5	10.5042017	15.806942	8	9
A46	5	60	0.1114082	4	11.14082	13.701928	6	6
	8	96	0.120957474	5	12.0957474	15.806942	7	9
A47	5	60	0.130506748	6	13.0506748	13.701928	7	6
	8	96	0.152788388	5	15.2788388	15.806942	8	9
A48	5	60	0.159154571	4	15.9154571	13.701928	6	6
	8	96	0.197351668	6	19.7351668	15.806942	7	9
A49	5	60	0.143239114	5.5	14.3239114	13.701928	8	6
	8	96	0.15597148	5	15.597148	15.806942	7	9
A50	5	60	0.092309651	4	9.23096511	13.701928	5	6
	8	96	0.101858925	4	10.1858925	15.806942	5	9
A51	5	60	0.082760377	3	8.27603769	13.701928	6	6
	8	96	0.098675834	5	9.8675834	15.806942	7	9
A52	5	60	0.136872931	4.5	13.6872931	13.701928	7	6

		8	96	0.152788388	6	15.2788388	15.806942	9	9
	A53	5	60	0.165520754	5	16.5520754	13.701928	7	6
		8	96	0.181436211	4	18.1436211	15.806942	11	9
	A54	5	60	0.117774382	4	11.7774382	13.701928	6	6
		8	96	0.162337662	5	16.2337662	15.806942	8	9
	A55	5	60	0.060478737	3.5	6.04787369	13.701928	3.5	6
		8	96	0.070028011	3	7.00280112	15.806942	5	9
	A56	5	60	0.038197097	2	3.8197097	13.701928	2.5	6
		8	96	0.050929463	3	5.09294627	15.806942	5	9
	A57	5	60	0.063661828	3	6.36618284	13.701928	4.5	6
		8	96	0.076394194	5	7.6394194	15.806942	7	9
	A58	5	60	0.171886937	6	17.1886937	13.701928	8	6
		8	96	0.190985485	4	19.0985485	15.806942	9	9
	A59	5	60	0.095492743	4.5	9.54927426	13.701928	5	6
		8	96	0.108225108	6	10.8225108	15.806942	8	9
	A60	5	60	0.076394194	3	7.6394194	13.701928	4	6
		8	96	0.098675834	6	9.8675834	15.806942	7	9
	A61	5	60	0.162337662	5	16.2337662	13.701928	7.5	6
		8	96	0.194168577	8	19.4168577	15.806942	11	9
	A62	5	60	0.13368984	5	13.368984	13.701928	7	6
		8	96	0.149605297	8	14.9605297	15.806942	10	9
	A63	5	60	0.101858925	3	10.1858925	13.701928	5.5	6
		8	96	0.120957474	2	12.0957474	15.806942	5	9
	A64	5	60	0.098675834	3.5	9.8675834	13.701928	6	6
		8	96	0.120957474	5	12.0957474	15.806942	6	9
	A65	5	60	0.092309651	2.5	9.23096511	13.701928	4	6
		8	96	0.117774382	3	11.7774382	15.806942	5	9

A66	5	60	0.092309651	3	9.23096511	13.701928	5	6
	8	96	0.1114082	4	11.14082	15.806942	5	9
A67	5	60	0.063661828	2	6.36618284	13.701928	3	6
	8	96	0.079577285	3	7.95772855	15.806942	4	9
A68	5	60	0.092309651	3	9.23096511	13.701928	5	6
	8	96	0.085943468	4	8.59434683	15.806942	7	9
A69	5	60	0.082760377	4	8.27603769	13.701928	5	6
	8	96	0.082760377	3	8.27603769	15.806942	5	9
A70	5	60	0.082760377	1.5	8.27603769	13.701928	2.5	6
	8	96	0.159154571	2	15.9154571	15.806942	6	9
A71	5	60	0.120957474	4	12.0957474	13.701928	6	6
	8	96	0.127323657	5	12.7323657	15.806942	7	9
A72	5	60	0.117774382	4	11.7774382	13.701928	5.5	6
	8	96	0.127323657	6	12.7323657	15.806942	8	9
A73	5	60	0.136872931	2	13.6872931	13.701928	6	6
	8	96	0.200534759	7	20.0534759	15.806942	10	9
A74	5	60	0.130506748	3.5	13.0506748	13.701928	5	6
	8	96	0.235548765	6	23.5548765	15.806942	8	9
A75	5	60	0.095492743	4	9.54927426	13.701928	5.5	6
	8	96	0.120957474	5	12.0957474	15.806942	6	9
A76	5	60	0.184619302	6	18.4619302	13.701928	8.5	6
	8	96	0.213267125	6	21.3267125	15.806942	10	9
A77	5	60	0.168703845	6	16.8703845	13.701928	8	6
	8	96	0.200534759	8	20.0534759	15.806942	11	9
A78	5	60	0.181436211	6.5	18.1436211	13.701928	8	6
	8	96	0.206900942	11	20.6900942	15.806942	12	9
A79	5	60	0.092309651	3	9.23096511	13.701928	4.5	6

	A80	8	96	0.108225108	7	10.8225108	15.806942	11	9	
		5	60	0.159154571	5	15.9154571	13.701928	7	6	
	A81	8	96	0.184619302	7	18.4619302	15.806942	10	9	
		5	60	0.13368984	7	13.368984	13.701928	8.5	6	
	A82	8	96	0.152788388	9	15.2788388	15.806942	12	9	
		5	60	0.152788388	5	15.2788388	13.701928	7.5	6	
	A83	8	96	0.168703845	6	16.8703845	15.806942	10	9	
		5	60	0.092309651	4	9.23096511	13.701928	6	6	
	A84	8	96	0.105042017	6	10.5042017	15.806942	8	9	
		5	60	0.130506748	4.5	13.0506748	13.701928	6	6	
	A85	8	96	0.13368984	6	13.368984	15.806942	9	9	
		5	60	0.120957474	4	12.0957474	13.701928	5.5	6	
	A86	8	96	0.143239114	7	14.3239114	15.806942	8	9	
		5	60	0.213267125	2.5	21.3267125	13.701928	7	6	
	A87	8	96	0.13368984	5	13.368984	15.806942	7	9	
		5	60	0.162337662	3	16.2337662	13.701928	8	6	
	PA 02	L1	8	96	0.194168577	7	19.4168577	15.806942	11	9
			22	264	0.257830405	6	25.7830405	32.663415	11	12
L2		25	300	0.280112045	13	28.0112045	34.965035	15	14	
		22	264	0.324675325	7	32.4675325	32.663415	12	12	
L3		25	300	0.331041508	8	33.1041508	34.965035	12	14	
		22	264	0.331041508	5	33.1041508	32.663415	11	12	
L4		25	300	0.346956965	9	34.6956965	34.965035	13	14	
		22	264	0.299210593	7	29.9210593	32.663415	10	12	
L5		25	300	0.302393685	11	30.2393685	34.965035	16	14	
		22	264	0.432900433	9	43.2900433	32.663415	15	12	
			25	300	0.455182073	8	45.5182073	34.965035	12	14

	L6	22	264	0.394703336	5	39.4703336	32.663415	13	12
		25	300	0.401069519	6	40.1069519	34.965035	10	14
	L7	22	264	0.171886937	5	17.1886937	32.663415	9	12
		25	300	0.331041508	9	33.1041508	34.965035	14	14
	L8	22	264	0.372421696	7	37.2421696	32.663415	11	12
		25	300	0.350140056	11	35.0140056	34.965035	14	14
	L9	22	264	0.296027502	8	29.6027502	32.663415	13	12
		25	300	0.270562771	11	27.0562771	34.965035	14	14
	L10	22	264	0.283295136	5	28.3295136	32.663415	12	12
		25	300	0.302393685	8	30.2393685	34.965035	14	14
	L11	22	264	0.487012987	6	48.7012987	32.663415	15	12
		25	300	0.38197097	14	38.197097	34.965035	16	14
	L12	22	264	0.378787879	7	37.8787879	32.663415	11	12
		25	300	0.531576267	15	53.1576267	34.965035	17	14
L13	22	264	0.216450216	5	21.6450216	32.663415	8.5	12	
	25	300	0.261013496	13	26.1013496	34.965035	15	14	
PA 03	L1	7	84	0.162337662	6	16.2337662	12.86831	10	7.5104
		10	120	0.175070028	8	17.5070028	14.927372	10	10.2708
	L2	7	84	0.171886937	8	17.1886937	12.86831	12	7.5104
		10	120	0.175070028	7	17.5070028	14.927372	11	10.2704
	L3	7	84	0.130506748	4	13.0506748	12.86831	7	7.5104
		10	120	0.15597148	9	15.597148	14.927372	11	10.2708
	L4	7	84	0.149605297	8	14.9605297	12.86831	12	7.5104
		10	120	0.15597148	10	15.597148	14.927372	12	10.2708
	L5	7	84	0.151196842	5	15.1196842	12.86831	10	7.5104
		10	120	0.194168577	8	19.4168577	14.927372	12	10.2708
	L6	7	84	0.146422205	5	14.6422205	12.86831	8	7.5104

		10	120	0.165520754	9	16.5520754	14.927372	12	10.2708
	L7	7	84	0.130506748	6	13.0506748	12.86831	9	7.5104
		10	120	0.159154571	8	15.9154571	14.927372	10	10.2708
	L8	7	84	0.159154571	6	15.9154571	12.86831	8	7.5104
		10	120	0.194168577	10	19.4168577	14.927372	12	10.2708
	L9	7	84	0.120957474	4	12.0957474	12.86831	7	7.5104
		10	120	0.13368984	8	13.368984	14.927372	10	10.2708
	L10	7	84	0.140056022	8	14.0056022	12.86831	11	7.5104
		10	120	0.149605297	7	14.9605297	14.927372	10	10.2708
	L11	7	84	0.130506748	5	13.0506748	12.86831	8	7.5104
		10	120	0.15597148	7	15.597148	14.927372	10	10.2708
	L12	7	84	0.15597148	5	15.597148	12.86831	8	7.5104
		10	120	0.190985485	8	19.0985485	14.927372	10	10.2708
	L13	7	84	0.152788388	7	15.2788388	12.86831	10	7.5104
		10	120	0.175070028	8	17.5070028	14.927372	10	10.2708
	L14	7	84	0.159154571	8	15.9154571	12.86831	10	7.5104
		10	120	0.184619302	7	18.4619302	14.927372	12	10.2708
	L15	7	84	0.175070028	8	17.5070028	12.86831	11	7.5104
		10	120	0.184619302	9	18.4619302	14.927372	12	10.2708
	L16	7	84	0.15597148	5	15.597148	12.86831	8	7.5104
		10	120	0.184619302	7	18.4619302	14.927372	10	10.2708
	L17	7	84	0.149605297	4	14.9605297	12.86831	6	7.5104
		10	120	0.149605297	7	14.9605297	14.927372	10	10.2708
	L18	7	84	0.136872931	4	13.6872931	12.86831	8	7.5104
		10	120	0.143239114	6	14.3239114	14.927372	9	10.2708
	L19	7	84	0.152788388	6	15.2788388	12.86831	8	7.5104
		10	120	0.197351668	7	19.7351668	14.927372	10	10.2708

L20	7	84	0.152788388	5	15.2788388	12.86831	7	7.5104
	10	120	0.190985485	8	19.0985485	14.927372	10	10.2708
L21	7	84	0.168703845	6	16.8703845	12.86831	9	7.5104
	10	120	0.197351668	8	19.7351668	14.927372	11	10.2708
L22	7	84	0.146422205	6	14.6422205	12.86831	7.5	7.5104
	10	120	0.159154571	8	15.9154571	14.927372	11	10.2708
L23	7	84	0.140056022	6	14.0056022	12.86831	9	7.5104
	10	120	0.149605297	7	14.9605297	14.927372	12	10.2708
L24	7	84	0.140056022	4	14.0056022	12.86831	6	7.5104
	10	120	0.168703845	9	16.8703845	14.927372	12	10.2708
L25	7	84	0.15597148	8	15.597148	12.86831	9	7.5104
	10	120	0.143239114	8	14.3239114	14.927372	12	10.2708
L26	7	84	0.095492743	2	9.54927426	12.86831	4	7.5104
	10	120	0.101858925	6	10.1858925	14.927372	7	10.2708
L27	7	84	0.127323657	5	12.7323657	12.86831	7	7.5104
	10	120	0.165520754	8	16.5520754	14.927372	10	10.2708
L28	7	84	0.1114082	2	11.14082	12.86831	6	7.5104
	10	120	0.13368984	6	13.368984	14.927372	12	10.2708
L29	7	84	0.13368984	4	13.368984	12.86831	5	7.5104
	10	120	0.165520754	6	16.5520754	14.927372	9	10.2708
L30	7	84	0.13368984	2	13.368984	12.86831	5	7.5104
	10	120	0.15597148	5	15.597148	14.927372	9	10.2708
L31	7	84	0.105042017	2	10.5042017	12.86831	5	7.5104
	10	120	0.143239114	7	14.3239114	14.927372	10	10.2708
L32	7	84	0.095492743	2	9.54927426	12.86831	5	7.5104
	10	120	0.1114082	7	11.14082	14.927372	9	10.2708
L33	7	84	0.082760377	2	8.27603769	12.86831	4	7.5104

		10	120	0.114591291	4	11.4591291	14.927372	6	10.2708
	L34	7	84	0.08912656	2	8.91265597	12.86831	5	7.5104
		10	120	0.117774382	6	11.7774382	14.927372	9	10.2708
	L35	7	84	0.057295646	1.5	5.72956455	12.86831	4	7.5104
		10	120	0.074802648	5	7.48026483	14.927372	7	10.2708
	L36	7	84	0.060478737	1.5	6.04787369	12.86831	4	7.5104
		10	120	0.079577285	5	7.95772855	14.927372	6	10.2708
	L37	7	84	0.054112554	2	5.41125541	12.86831	4	7.5104
		10	120	0.085943468	8	8.59434683	14.927372	10	10.2708
	L38	7	84	0.092309651	2	9.23096511	12.86831	6	7.5104
		10	120	0.114591291	9	11.4591291	14.927372	11	10.2708
	L39	7	84	0.073211103	2	7.32111026	12.86831	5	7.5104
		10	120	0.08912656	7	8.91265597	14.927372	10	10.2708
	L40	7	84	0.108225108	4	10.8225108	12.86831	7	7.5104
		10	120	0.112999745	8	11.2999745	14.927372	11	10.2708
	L41	7	84	0.140056022	8	14.0056022	12.86831	10	7.5104
		10	120	0.149605297	6	14.9605297	14.927372	9	10.2708
	L42	7	84	0.057295646	2	5.72956455	12.86831	6	7.5104
		10	120	0.098675834	7	9.8675834	14.927372	12	10.2708
	L43	7	84	0.143239114	6	14.3239114	12.86831	9	7.5104
		10	120	0.162337662	7	16.2337662	14.927372	10	10.2708
	L44	7	84	0.152788388	6	15.2788388	12.86831	9	7.5104
		10	120	0.165520754	8	16.5520754	14.927372	10	10.2708
	L45	7	84	0.159154571	6	15.9154571	12.86831	9	7.5104
		10	120	0.184619302	7	18.4619302	14.927372	13	10.2708
	L46	7	84	0.095492743	3	9.54927426	12.86831	6	7.5104
		10	120	0.105042017	5	10.5042017	14.927372	7	10.2708

	L47	7	84	0.136872931	6	13.6872931	12.86831	8	7.5104
		10	120	0.149605297	9	14.9605297	14.927372	12	10.2708
	L48	7	84	0.136872931	6	13.6872931	12.86831	9	7.5104
		10	120	0.149605297	7	14.9605297	14.927372	10	10.2708
<b>PA 04</b>	P1	5	60	0.289661319	7	28.9661319	19.888637	10	9.2767
		8	96	0.302393685	10	30.2393685	22.989309	13	10.1875
	P2	5	60	0.229182582	6	22.9182582	19.888637	9	9.2767
		8	96	0.240323402	12	24.0323402	22.989309	15	10.1875
	P3	5	60	0.219633308	4	21.9633308	19.888637	7	9.2767
		8	96	0.270562771	14	27.0562771	22.989309	14	10.1875
	P4	5	60	0.210084034	7	21.0084034	19.888637	9	9.2767
		8	96	0.280112045	9	28.0112045	22.989309	11	10.1875
	P5	5	60	0.245098039	6	24.5098039	19.888637	10	9.2767
		8	96	0.257830405	6	25.7830405	22.989309	8	10.1875
	P6	5	60	0.254647313	10	25.4647313	19.888637	14	9.2767
		8	96	0.261013496	9	26.1013496	22.989309	11	10.1875
	P7	5	60	0.197351668	6	19.7351668	19.888637	9	9.2767
		8	96	0.200534759	7	20.0534759	22.989309	10	10.1875
	P8	5	60	0.229182582	6	22.9182582	19.888637	10	9.2767
		8	96	0.267379679	7	26.7379679	22.989309	10	10.1875
	P9	5	60	0.280112045	3	28.0112045	19.888637	11	9.2767
		8	96	0.334224599	9	33.4224599	22.989309	12	10.1875
	P10	5	60	0.165520754	4	16.5520754	19.888637	8	9.2767
		8	96	0.195760122	5	19.5760122	22.989309	9	10.1875
P11	5	60	0.261013496	6	26.1013496	19.888637	10	9.2767	
	8	96	0.229182582	9	22.9182582	22.989309	10	10.1875	
P12	5	60	0.232365674	8	23.2365674	19.888637	12	9.2767	

		8	96	0.273745862	10	27.3745862	22.989309	12	10.1875
	P13	5	60	0.222816399	5	22.2816399	19.888637	9	9.2767
		8	96	0.249872676	10	24.9872676	22.989309	12	10.1875
	P14	5	60	0.225999491	3	22.5999491	19.888637	10	9.2767
		8	96	0.262605042	10	26.2605042	22.989309	13	10.1875
	P15	5	60	0.117774382	4	11.7774382	19.888637	8	9.2767
		8	96	0.125732111	6	12.5732111	22.989309	8	10.1875
	P16	5	60	0.152788388	3	15.2788388	19.888637	11	9.2767
		8	96	0.308759868	7	30.8759868	22.989309	9	10.1875
	P17	5	60	0.289661319	4.5	28.9661319	19.888637	10	9.2767
		8	96	0.257830405	8	25.7830405	22.989309	10	10.1875
	P18	5	60	0.149605297	4	14.9605297	19.888637	8	9.2767
		8	96	0.194168577	8	19.4168577	22.989309	10	10.1875
	P19	5	60	0.178253119	3	17.8253119	19.888637	9	9.2767
		8	96	0.232365674	5	23.2365674	22.989309	8	10.1875
	P20	5	60	0.181436211	7	18.1436211	19.888637	9	9.2767
		8	96	0.241914948	6	24.1914948	22.989309	9	10.1875
	P21	5	60	0.184619302	4.5	18.4619302	19.888637	8	9.2767
		8	96	0.216450216	7	21.6450216	22.989309	9	10.1875
	P22	5	60	0.181436211	3	18.1436211	19.888637	7	9.2767
		8	96	0.229182582	8	22.9182582	22.989309	10	10.1875
	P23	5	60	0.168703845	4	16.8703845	19.888637	8	9.2767
		8	96	0.219633308	7	21.9633308	22.989309	10	10.1875
	P24	5	60	0.146422205	3.5	14.6422205	19.888637	8	9.2767
		8	96	0.163929208	5	16.3929208	22.989309	7.5	10.1875
	P25	5	60	0.124140565	3	12.4140565	19.888637	7	9.2767
		8	96	0.146422205	6	14.6422205	22.989309	9	10.1875

P26	5	60	0.181436211	3	18.1436211	19.888637	8	9.2767
	8	96	0.210084034	5	21.0084034	22.989309	8	10.1875
P27	5	60	0.184619302	5	18.4619302	19.888637	9	9.2767
	8	96	0.198943214	7	19.8943214	22.989309	9	10.1875
P28	5	60	0.159154571	5	15.9154571	19.888637	7.5	9.2767
	8	96	0.195760122	8	19.5760122	22.989309	10	10.1875
P29	5	60	0.120957474	3	12.0957474	19.888637	6	9.2767
	8	96	0.143239114	6	14.3239114	22.989309	8	10.1875
P30	5	60	0.222816399	6	22.2816399	19.888637	12	9.2767
	8	96	0.261013496	10	26.1013496	22.989309	12	10.1875
P31	5	60	0.222816399	6	22.2816399	19.888637	11	9.2767
	8	96	0.243506494	10	24.3506494	22.989309	12	10.1875
P32	5	60	0.146422205	5	14.6422205	19.888637	9	9.2767
	8	96	0.168703845	9	16.8703845	22.989309	10	10.1875
P33	5	60	0.15597148	7	15.597148	19.888637	10	9.2767
	8	96	0.176661574	8	17.6661574	22.989309	9.5	10.1875
P34	5	60	0.184619302	4	18.4619302	19.888637	9	9.2767
	8	96	0.232365674	8	23.2365674	22.989309	10	10.1875
P35	5	60	0.162337662	4	16.2337662	19.888637	8	9.2767
	8	96	0.205309396	7	20.5309396	22.989309	9	10.1875
P36	5	60	0.076394194	2	7.6394194	19.888637	6	9.2767
	8	96	0.108225108	5	10.8225108	22.989309	6	10.1875
P37	5	60	0.251464222	3	25.1464222	19.888637	8	9.2767
	8	96	0.275337408	4	27.5337408	22.989309	8.5	10.1875
P38	5	60	0.060478737	2	6.04787369	19.888637	5	9.2767
	8	96	0.082760377	5	8.27603769	22.989309	8	10.1875
P39	5	60	0.057295646	2	5.72956455	19.888637	6	9.2767

		8	96	0.093901197	6	9.39011968	22.989309	10	10.1875
	P40	5	60	0.13368984	4.5	13.368984	19.888637	8	9.2767
		8	96	0.152788388	7	15.2788388	22.989309	10	10.1875
	P41	5	60	0.140056022	2.5	14.0056022	19.888637	7	9.2767
		8	96	0.165520754	3	16.5520754	22.989309	6	10.1875
	P42	5	60	0.120957474	2.5	12.0957474	19.888637	7	9.2767
		8	96	0.14483066	4.5	14.483066	22.989309	7	10.1875
	P43	5	60	0.190985485	6	19.0985485	19.888637	10	9.2767
		8	96	0.227591036	9	22.7591036	22.989309	11	10.1875
	P44	5	60	0.127323657	6	12.7323657	19.888637	9	9.2767
		8	96	0.14483066	7	14.483066	22.989309	9.5	10.1875
	P45	5	60	0.216450216	3	21.6450216	19.888637	11	9.2767
		8	96	0.238731856	3	23.8731856	22.989309	6	10.1875
	P46	5	60	0.225999491	3	22.5999491	19.888637	10	9.2767
		8	96	0.254647313	11	25.4647313	22.989309	14	10.1875
	P47	5	60	0.343773873	4	34.3773873	19.888637	12	9.2767
		8	96	0.369238605	8	36.9238605	22.989309	15	10.1875
	P48	5	60	0.245098039	5	24.5098039	19.888637	9	9.2767
		8	96	0.334224599	7	33.4224599	22.989309	10.5	10.1875
	P49	5	60	0.245098039	5	24.5098039	19.888637	9	9.2767
		8	96	0.286478228	7	28.6478228	22.989309	10.5	10.1875
	P50	5	60	0.241914948	8	24.1914948	19.888637	12	9.2767
		8	96	0.253055768	8	25.3055768	22.989309	14	10.1875
	P51	5	60	0.222816399	7	22.2816399	19.888637	11	9.2767
		8	96	0.254647313	11	25.4647313	22.989309	13	10.1875
	P52	5	60	0.254647313	4	25.4647313	19.888637	11	9.2767
		8	96	0.29284441	10	29.284441	22.989309	12	10.1875

	P53	5	60	0.264196588	3	26.4196588	19.888637	10	9.2767
		8	96	0.296027502	6	29.6027502	22.989309	8.5	10.1875
	P754	5	60	0.222816399	6	22.2816399	19.888637	11	9.2767
		8	96	0.237140311	8	23.7140311	22.989309	9	10.1875
	P55	5	60	0.331041508	4	33.1041508	19.888637	12	9.2767
		8	96	0.343773873	6	34.3773873	22.989309	9	10.1875
	P56	5	60	0.286478228	9	28.6478228	19.888637	15	9.2767
		8	96	0.319900688	10	31.9900688	22.989309	16	10.1875

**Anexo 2. Número de árboles por parcela**

Nombre de la Parcela	Número de Arboles
P 01	87
P 02	13
P 03	48
P 04	56

### Anexo 3: Panel fotográfico



Foto 1: medición de CAP de los árboles de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken



Foto 2: estimación de altura de los árboles de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken

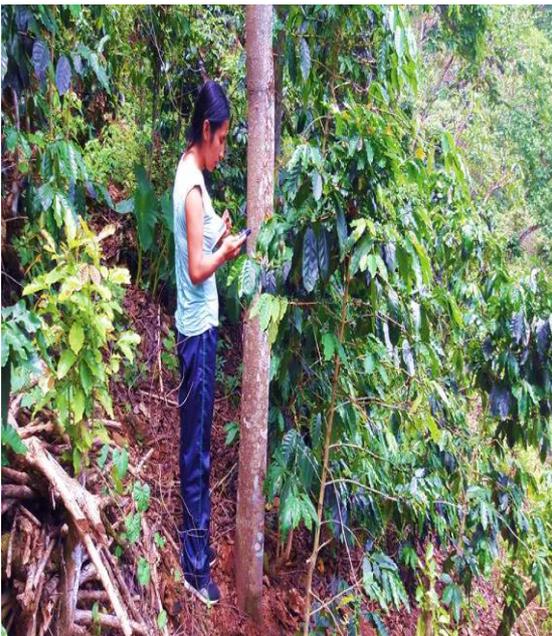


Foto 3: Georreferenciación con GPS de los árboles de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken



Foto 4: toma de datos dasométricos de los árboles de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken