

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

FILIAL JAEN



**ECUACIONES VOLUMÉTRICAS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE
Cordia alliodora (Ruiz y Pavón) Oken EN PLANTACIONES
AGROFORESTALES DE CAFÉ DEL CENTRO POBLADO SAN MIGUEL
DE LAS NARANJAS, JAÉN – CAJAMARCA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
JOSE ARISTEDES TINOCO ZAMORA**

ASESOR

Ing.M.Sc.GERMÁN PÉREZ HURTADO

Jaén – Perú

2019

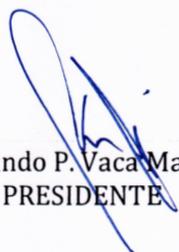


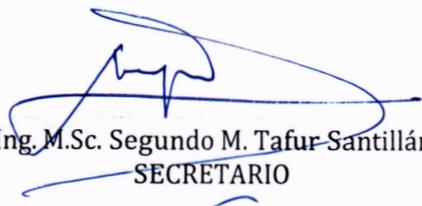
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

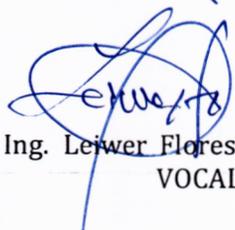
En la ciudad de Jaén, a los veintitrés días del mes de Abril del año dos mil diecinueve, se reunieron en el Ambiente del Auditorio Auxiliar de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 416-2018-FCA-UNC, de fecha 12 de setiembre de 2018, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado **"ECUACIONES VOLUMÉTRICAS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) OKEN EN PLANTACIONES AGROFORESTALES DE CAFÉ DEL CENTRO POBLADO SAN MIGUEL DE LAS NARANJAS, JAÉN- CAJAMARCA"**, ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales **don JOSE ARISTEDES TINOCO ZAMORA**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

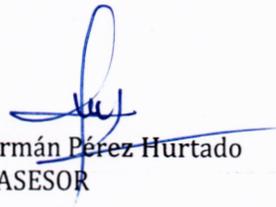
A las diecisiete horas y diez minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Terminado el 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, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

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


Dr. Segundo P. Vaca Marquina
PRESIDENTE


Ing. M.Sc. Segundo M. Tafur Santillán
SECRETARIO


Ing. Leiver Flores Flores
VOCAL


Ing. M.Sc. Germán Pérez Hurtado
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres: Jose Aristedes Tinoco Acuña y Matilde Zamora Goicochea, que me brindaron su apoyo incondicional además de sus enseñanzas y valores para lograr ser un profesional.

A mis hermanos que me brindaron el apoyo moral para poder guiarme en el camino como una persona de bien.

Jose Aristedes Tinoco Zamora

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca por haberme aceptado ser parte de ella y poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Forestal - Filial Jaén, que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

A mi Asesor de Tesis el Ing. Germán Pérez Hurtado, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Finalmente, agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de culminar mi tesis para la obtención de mi grado como ingeniero.

ÍNDICE

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	9
II. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes	11
2.2. Bases Teóricas	12
2.2.1. La función de la agroforestería	12
2.2.2. Sistemas agroforestales	12
2.2.3. Árboles fijadores de nitrógeno en los sistemas agroforestales	13
2.2.4. Sistemas agroforestales de café	14
2.2.5. Ventajas y desventajas de arborización de cafetales	14
2.2.6. Especie <i>Cordia alliodora</i> (Ruíz y pavón) Oken.	17
2.2.7. Definición y empleo de Taper	18
2.2.8. Definición de volumen	18
2.2.9. Métodos para determinación directa del volumen en árboles individuales	19
2.2.10. Unidades para expresar volumen	20
2.2.11. Relaciones funcionales de volumen	21
2.2.12. Relación altura versus diámetro	23
2.2.13. Modelación matemática	24

III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación	26
3.2. Materiales y equipos	29
3.3. Metodología	29
3.3.1. Trabajo de campo	28
3.3.2. Trabajo de gabinete	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1. Resultados	33
4.1.1. Ecuaciones para estimar la producción	34
4.1.2. Volumen observado y volumen estimado	35
4.1.3. Análisis estadístico	36
4.1.4. Gráficas obtenidas del análisis de los parámetros de los modelos matemáticos	37
4.2. Discusión	42
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1. Conclusiones	48
5.2. Recomendaciones	48
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ANEXO

Anexo 1: Base de datos del inventario de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken en sistemas agroforestales de las diferentes parcelas de evaluación

Anexo 2: Evidencias fotográficas del trabajo en campo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de <i>Cordia alliodora</i> (Ruíz y Pavón) Oken en la parcela Santa Fé	25
Figura 2. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de <i>Cordia alliodora</i> (Ruíz y Pavón) Oken en la parcela La Palma	26
Figura 3. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de <i>Cordia alliodora</i> (Ruíz y Pavón) Oken en la parcela Cruz Grande	26
Figura 4. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de <i>Cordia alliodora</i> (Ruíz y Pavón) Oken en la parcela Miraflores	27
Figura 5. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de <i>Cordia alliodora</i> (Ruíz y Pavón) Oken en la parcela La Florida	27

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ecuaciones volumétricas	31
Tabla 2. Parámetros de regresión para cada ecuación volumétrica	34
Tabla 3. Ecuaciones volumétricas con respectivos parámetros de regresión (β)	35
Tabla 4. Volumen estimado con ecuaciones volumétricas	35
Tabla 5. Volumen observado y el volumen estimado	36

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue ajustar ecuaciones volumétricas para estimar la producción de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken en plantaciones agroforestales de café en el centro poblado San Miguel de las Naranjas, provincia de Jaén de la región de Cajamarca; para ello se procedió a recopilar información dasométrica en campo de datos como estableciendo 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 altura donde el diámetro d es considerado (h); en campo se consideró un muestro al azar simple (MAS) de 10 árboles a los cuales se les extrajo una muestra de madera con el barreno de pressler obteniendo un total de 50 muestras las cuales fueron procesadas y posteriormente con los datos obtenidos se aplicó el ajuste de las ecuaciones volumétricas (regresión lineal). Para la proyección se realizó un inventario al 100% de las 5 parcelas evaluadas considerando únicamente la variable del DAP, luego los datos obtenidos de campo se procesaron en gabinete, estableciendo el ajuste de la ecuación hipsométrica y el cálculo de la producción observada, a partir de la función taper, aplicando el modelo lineal polinomial de Kozak et al. (1969). Se evaluaron estadísticamente las ecuaciones volumétricas de Husch, Schumacher y Hall, Spurr, Leite, Guimarães y Campos, para estimar la producción para árboles individuales. Los resultados indican que, de las ecuaciones volumétricas aplicadas en el presente estudio, solo 2 presentan un coeficiente de determinación (R^2) cercano a la unidad siendo los modelo Schumarcer Hall con 99.9984 % y Husch 99.9908 %; de las dos ecuaciones volumétricas, la más apropiada para los individuos de la plantación agroforestal de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken es la ecuación de Schumarcer y Hall, debido a que los resultados obtenidos de los parámetros analizados presentan mejores estimaciones estadísticas.

Palabras clave: Ecuaciones volumétricas, Parcelas agroforestales, *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to adjust volumetric equations to estimate the production of *Cordia alliodora* (Ruiz and Pavón) Oken in coffee agroforestry plantations in the town of San Miguel de las Naranjas, province of Jaén in the Cajamarca region; To do this, dasometric information was collected in the data field, such as the diameter of the chest diameter (DAP), diameter at any height above the DAP (d), total height (H) and height where the diameter d is considered (h); In the field, a simple random sampling (MAS) of 10 trees was considered, from which a wood sample was extracted with the presshole, obtaining a total of 50 samples which were processed and subsequently with the data obtained the adjustment was applied. of the volumetric equations (linear regression). For the projection, an inventory was made of 100 % of the 5 plots evaluated considering only the DAP variable, then the data obtained from the field were processed in the cabinet, establishing the adjustment of the hypsometric equation and the calculation of the observed production, starting from of the taper function, applying the polynomial linear model of Kozak et al. (1969). The volumetric equations of Husch, Schumacher and Hall, Spurr, Leite, Guimarães and Campos were statistically evaluated to estimate the production for individual trees. The results indicate that, of the volumetric equations applied in the present study, only 2 present a coefficient of determination (R^2) close to the unit being the Schumarcer Hall model with 99.9984 % and Husch 99.9908 %; of the two volumetric equations, the most appropriate for the individuals of the agroforestry plantation of *Cordia alliodora* (Ruiz and Pavón) Oken is the equation of Schumarcer and Hall, because the results obtained from the parameters analyzed present better statistical estimates.

Key words: Volumetric equations, Agroforestry plots, *Cordia alliodora* (Ruíz and Pavon) Oke

I. INTRODUCCIÓN

El inventario forestal es la herramienta fundamental en la toma de decisiones dentro de un Plan de Manejo, siendo la estimación del volumen aprovechable en pie uno de sus objetivos principales. Específicamente en el sector forestal, los modelos matemáticos son utilizados en el planeamiento de las actividades forestales (Chiari et al 2008). 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). La altura y el diámetro en especies forestales son dos variables correlacionadas entre sí, donde esas relaciones pueden ser expresadas por funciones matemáticas y se propone modelos no lineales para describir la relación de altura y diámetro en plantaciones (Husch et al. 1982). El manejo intensivo del bosque y la utilización de su madera requiere de técnicas precisas y versátiles para la estimación del volumen (Wiant et al. 2002), es por ello que los productores forestales se enfrentan a retos complejos, donde una toma de decisión no bien fundamentada puede llegar a tener graves consecuencias en la valoración económica (Rivera 2012). La estimación del volumen maderable es una actividad intrínseca del manejo forestal, donde se destacan los modelos de Spurr (1952), en forma aritmética y logarítmica, de Shumacher y Hall (1993) donde los volúmenes comerciales se estiman con calibración de las ecuaciones por medio índices sencillos (Navar y Domínguez 1997). El presente trabajo de investigación establece 4 ecuaciones volumétricas para estimar la producción en campo de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken con el objetivo de estimar la producción y de esta manera permita establecer un planeamiento para la toma de decisiones.

El objetivo general de la investigación fue ajustar ecuaciones volumétricas para estimar la producción de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken, en plantaciones agroforestales de café en el centro poblado San Miguel de las Naranjas, provincia de Jaén de la región Cajamarca y los objetivos específicos fueron:

- Determinar el volumen real de los individuos de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken aplicando el modelo Taper.

- Determinar volumen de los individuos de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken aplicando cuatro ecuaciones volumétricas.
- Analizar diferentes parámetros estadísticos para la evaluación de precisión de las ecuaciones volumétricas propuestas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Dos santos et al. (2009), estima el volumen del fuste individual de diferentes especies nativas del estado de Paraná, Brasil, utilizando 7 modelos volumétricos, entre ellos la de Shumacher y Hall, Spurr y Husch, obteniendo como resultado que el modelo de Schumacher y Hall presenta mayor R^2 siendo igual a 0,9614 o 96.14 %.

De Ríos (1994), utiliza el modelo de Shumacher y Hall para elaborar una tabla de volumen comercial para *Eucalyptus pellita* utilizando el método de la razón volumétrica proporcionando estimaciones consistentes y relaciones lógicas entre el volumen de madera para celulosa y para energía con el volumen total del tronco, o con cualquier otro volumen comercial considerado.

En México, Navar y Domínguez (1997), ajustan modelos volumétricos y funciones que describen el perfil diamétrico de 4 especies de pino, donde la ecuación de Schumacher y Hall, predijo mejor los volúmenes de manera consistente, junto con el modelo de Spurr, aunque con parámetros estadísticos no significativos.

Martínez et al. (2002), establece funciones de rendimiento volumétrico en pie y en aserrío para la especie de *Nothofagus pumilio*, utilizando modelos volumétricos llegando a concluir que la estimación de volúmenes aprovechables en pie es una herramienta útil de uso sencillo, con parámetros de fácil y usual obtención durante los inventarios forestales en *N. pumilio*, cuya metodología puede ser aplicable a otras especies de boques nativos de Argentina y Chile.

En España, Salas et al. (2005), evaluó diferentes modelos volumétricos para la especie de *Pinus pinaster*, siendo estos evaluados no solo con coeficientes de determinación sino con diferentes pruebas estadísticas, presentando como

resultado que el mejor modelo presenta una raíz del error cuadrático medio de un 7,77 % y un sesgo de 0,25 %.

En el Perú, región de Cajamarca, Montalvo y Casas (2017), utilizan el modelo volumétrico de Schumacher y Hall para valorar el vuelo forestal de las especies de *Pinus patula* y *P. radiata*, obteniendo las ecuaciones $\text{LnV} = -0,9347984 + 2,00002362 \cdot \text{LnDAP} + 1,0015779 \cdot \text{LnHc}$ y $\text{LnV} = 0,35264369 + 1,9401478 \cdot \text{LnDAP} + 1,2038246 \cdot \text{LnHc}$ con R^2 igual a 85.22 % y 84.9 % respectivamente.

En Ucayali, Guerra et al. (2008), utiliza modelos matemáticos para estimar el volumen comercial del árbol en pie de la bolaina blanca (*Guazuma crinita*) presentando que el modelo de Shumacher y Hall fue el que presentó mejores estimativas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La función de la agroforestería

La Agroforestería es frecuentemente señalada como una solución a los problemas de degradación de la tierra y del agua, y como una respuesta a la escasez de alimento, leña, ingreso, forraje animal y materiales de construcción. La amplitud y la variedad de sistemas y prácticas agroforestales implica que la Agroforestería puede ofrecer soluciones parciales para muchos problemas productivos y de uso de la tierra en las zonas rurales. Es conocida la potencialidad de los árboles fijadores de nitrógeno para mejorar la fertilidad de las tierras cultivadas y de las áreas de pastizal; la resistencia de ciertos árboles a la sequía (muy importante en las zonas áridas); la función de las cortinas rompevientos en la protección de las tierras cultivadas y de las áreas de pastizal; la contribución de los árboles forrajeros ricos en proteína para la producción ganadera, y el potencial comercial de algunos tipos de árboles cultivados. Además, las prácticas agroforestales son apropiadas para una

amplia variedad de sitios, tales como tierras con pendiente o tierras planas (Mendieta y Rocha 2007).

2.2.2. Sistemas agroforestales

Un Sistema Agroforestal es un sistema agropecuario cuyos componentes son árboles, cultivos o animales. Un sistema agroforestal tiene los atributos de cualquier sistema: límites, componentes, interacciones, ingresos y egresos, una relación jerárquica con el sistema de finca y una dinámica. El límite define los bordes físicos del sistema; los componentes son los elementos físicos, biológicos y socioeconómicos; los ingresos son la energía solar, mano de obra, productos agroquímicos, etc.; y los egresos como madera, productos animales, frutos, cultivos, leña, etc.; los ingresos y los egresos son la energía o materia que se intercambia entre diferentes sistemas; las interacciones son las relaciones, o la energía o materia que se intercambia entre los componentes de un sistema; la jerarquía indica la posición del sistema con respecto a otros sistemas y las relaciones entre ellos (Mendieta y Rocha 2007).

Un ejemplo de SAF es el cultivo de cafeto bajo la sombra de árboles podados periódicamente. Los componentes son el cafeto y los árboles, que se encuentran dentro del límite del lindero de la asociación. Los ingresos o entradas incluyen agua, energía solar, fertilizantes y mano de obra. Los egresos o salidas incluyen las cosechas de café y la leña y madera resultante de la poda de los árboles y de los cafetos. Son interacciones el reciclaje de nutrientes de la hojarasca de los árboles al suelo, y la sombra de los árboles sobre el cafetal, entre otras. La dinámica del sistema podría incluir cambios en la densidad de los árboles, la periodicidad y densidad de la poda, en el tipo de cultivos asociados y en la fertilidad de los suelos. Estos cambios influirán en las actividades futuras de manejo del sistema (Mendieta y Rocha 2007).

2.2.3. Árboles fijadores de nitrógeno en los sistemas agroforestales

Se conocen aproximadamente 650 especies arbóreas fijadoras de nitrógeno. La mayoría de éstas son leguminosas originarias de los trópicos y de los subtrópicos. Al menos otras 9 familias de plantas tienen asociación con actinomicetos. La mayoría de las especies fijadoras de nitrógeno son arbustos o árboles pequeños de bosques secundarios; a menudo estas especies son componentes de sistemas agroforestales. Los árboles más importantes en los sistemas agroforestales tienen los siguientes usos: forraje, abono verde, leña, pulpa, madera, sombra y cortinas rompevientos. Los árboles fijadores de nitrógeno tienen especial importancia en los sistemas agroforestales porque son una fuente de abono verde con alto contenido de nitrógeno, mejorando la fertilidad del suelo. Entre los árboles y arbustos fijadores de nitrógeno que han sido usados en sistemas agroforestales se encuentran leucaena, madero negro, acacia, caliandra, guaba, casuarina, etc. (CATIE 2001).

2.2.4. 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 y dependen del arreglo espacial, 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).

2.2.5. Ventajas y desventajas de la arborización de cafetales

La arborización es un término utilizado para indicar un grado de sombrío, el cual puede llegar hasta el 50 % de la cobertura del terreno. La arborización es una práctica en permanente controversia. Su adopción y aplicación varía considerablemente, de acuerdo con las condiciones ecológicas, la tradición local y el nivel de manejo o tecnología disponible en las plantaciones. (Camargo 1990).

Principales ventajas

Aspectos climáticos: mejoramiento de las condiciones micro-climáticas, especialmente por la reducción de los eventos extremos de la temperatura del aire y del suelo, reducción de la velocidad del viento, mantenimiento de la humedad relativa (HR) y aumento de la disponibilidad hídrica en el suelo. Como consecuencia, los cafetales arborizados están mejor protegidos contra las heladas y se crea un ambiente más adecuado para el mantenimiento de su intercambio gaseoso (Caramori et al. 2004).

Aspectos edáficos: mejoramiento o mantenimiento de la fertilidad debido al aumento en la capacidad de reciclaje de nutrientes y adición de residuos. La estabilidad de la temperatura del suelo converge con menores pérdidas por volatilización del nitrógeno. Además, la capacidad de absorción e infiltración del agua se incrementa lo cual favorece la reducción de la erosión. Sin embargo, de modo general, la utilización y la respuesta a la aplicación de nutrientes en cafetales sombreados es menor que en aquellos que crecen a pleno sol (Caramori et al. 2004).

Aspectos endógenos: atenuación del ciclo bienal de la producción disminuyendo el estímulo a la superproducción que, a su vez, reduce el agotamiento de la planta y el secamiento de las yemas apicales y, en última instancia, hace el cultivo más perdurable (DaMatta 2004). Además, el tamaño de los frutos producidos es mayor, si bien el incremento en la calidad de la bebida es asunto de controversia. Así mismo, hay un alargamiento del período de maduración del fruto que permite adoptar mayor flexibilidad en las operaciones de cosecha. No obstante, debido a las varias floraciones, puede ser necesario mayor número de repases que encarecen el proceso de cosecha (DaMatta y Rena 2002).

Aspectos bióticos: reducción de la incidencia de chasparria o cercosporiosis (*Cercospora coffeicola*), del minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) y de malezas, especialmente gramíneas (DaMatta y Rena 2002).

Aspectos económicos: ganancias adicionales derivadas de la explotación de la especie usada para la arborización (por ejemplo, madera, frutos, látex, palmito, etc.) (Beer et al. 1998).

Principales desventajas

Las desventajas de la arborización están íntimamente asociadas con el uso de especies inadecuadas que compiten significativamente con el cafeto, con el sombreado excesivo y las dificultades en las operaciones de la cosecha. De esta manera, se pueden destacar como principales desventajas:

En regiones con estaciones de sequía prolongada, con suelos pobres tanto en su estructura como en su contenido de nutrientes, o cuando se usan especies cuyo sistema radicular sea demasiado superficial, puede ocurrir competencia severa entre el cafeto y el árbol de sombrío. En regiones con suelos profundos y poca capacidad de retención hídrica para la caficultura, el uso de árboles con sistemas radiculares profundos que compiten poco con el

café (por ejemplo, *Grevillea robusta*) ha mostrado resultados satisfactorios (DaMatta y Rena 2002).

Mayor incidencia de la broca del fruto (*Hipotenemus hampei*) y de la roya (*Hemileia vastatrix*) (DaMatta y Rena 2002).

Limitaciones para la cosecha mecanizada: para minimizar ese problema se pueden plantar los árboles para sombrío en las líneas de la plantación de café, cada 8 o 16 líneas, lo que favorece la cosecha manual (DaMatta y Rena 2002).

Dependiendo de las especies usadas, la poda o desbaste puede ser frecuente, ya que la densidad se puede tornar excesiva. Esas operaciones son onerosas pero de fácil ejecución; además, los ramos caídos pueden causar daños mecánicos al cafeto (DaMatta y Rena 2002).

El potencial de producción se ve muchas veces limitado bajo condiciones de arborización y la respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados es también limitada. Especialmente en épocas de precios altos, ello puede tener un impacto considerable en la rentabilidad del cultivo para el agricultor (Carvajal 1984).

2.2.6. 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 *Auxemmam* donde el género *Cordia* presenta cerca de 400 especies, es el género más grande de la familia (Estrada 1995).

Esta especie está presente en el bosque húmedo tropical y muy húmedo tropical, con precipitaciones mayores de 2000 mm anuales donde alcanza su

máximo desarrollo, pero pueden crecer en zonas secas con alrededor de 1000 mm anuales (Pérez 1954).

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).

2.2.7. Definición y empleo de Taper

Taper, es el término aplicado al decrecimiento del diámetro a lo largo del fuste. Habiendo regularidad en el cambio del diámetro, el perfil del fuste puede ser expresado por funciones denominadas "Funciones de Taper". A partir de una función o ecuación es posible estimar directamente el diámetro a cualquier altura del fuste. Por transformaciones algebraicas en la ecuación, se estima también el volumen total o volumen en cualquier sección del fuste, así como también la altura total o comercial hasta un diámetro definido (Campos y Leite 2013). A lo largo del tiempo, gracias a los avances en las técnicas biométricas e informáticas, se han desarrollado diversas ecuaciones para simular el perfil fustal de los árboles, desde las más simples de ahusamiento (Kozak et al. 1969; Ormerod 1973; Hilt 1980) hasta las polinomiales segmentadas (Bruce et al 1968; Max y Burkhart 1976; Cao et al. 1980) y las geométricas y trigonométricas (Parresol y Tomas 1996; Fang y Bailey 1999; Bi 2000; Zhang et al. 2002). No obstante que estas aportaciones han permitido una reducción considerable en costos de inventarios (García 2009).

2.2.8. Definición de volumen

El volumen por unidad muestral se obtiene a partir de los árboles medidos y se expande a la unidad de superficie utilizando el factor de expansión definido por el tamaño de la unidad muestral. La determinación del volumen puede realizarse árbol por árbol o agrupando los árboles en clases de tamaño

basadas en el diámetro (clases de diámetro). Los resultados se presentan en forma de Tabla de rodal y existencia (Burkhart 1977).

El volumen es la medida de la cantidad de madera sólida más ampliamente utilizada. En el árbol individual pueden identificarse diferentes categorías de volumen. El árbol completo, esto es considerando todos los componentes, constituye el volumen total; todos aquellos componentes cuyas dimensiones son aceptables para el mercado constituyen el volumen comercial; el volumen de desechos está conformado por secciones maderables del árbol que presentan defectos y dimensiones menores o no comerciales; también existe la denominación de volumen bruto, cuando se estima el volumen total hasta un diámetro comercial (dlu: diámetro límite de utilización) incluyendo defectos; desde este último, descontados los defectos, se obtiene el volumen neto. Esos volúmenes pueden expresarse con o sin corteza. La medición directa de cualquiera de los volúmenes mencionados en el párrafo anterior es difícil de realizar directamente en árboles en pie. Así, la cubicación normalmente se realiza mediante métodos indirectos. Esto consiste en estimar el volumen del árbol a partir de variables de más fácil medición como el dap, la altura y la forma del fuste utilizando una función de volumen. La construcción y validación de una función de volumen requiere determinar directamente el volumen en un número suficiente de árboles, a partir de mediciones intensivas del diámetro y corteza a lo largo del fuste o por medio de metodologías que implican el uso de implementación costosa (Burkhart 1977).

2.2.9. Métodos para la determinación directa del volumen en árboles individuales

La determinación directa del volumen en árboles individuales es una tarea laboriosa que consume habitualmente mucho tiempo. Es una labor necesaria para el desarrollo de relaciones funcionales de volumen. A partir de una muestra de árboles, en los que se ha obtenido directamente el volumen y otras variables auxiliares fáciles de medir, se ajustan relaciones entre el volumen y las variables auxiliares. Esas relaciones se utilizan para estimar el volumen en

otros árboles a partir de las variables de fácil medición. La determinación directa del volumen se realiza mediante métodos analíticos, gráficos o por desplazamiento de líquidos (Cao et al. 1980)

a) Método analítico

Este método asume que la forma del fuste del árbol, ya sea como un todo o por secciones, es semejante a sólidos geométricos básicos (cilindro, paraboloides, cono o neiloide) o troncos de estos sólidos. El volumen de esos sólidos se obtiene mediante fórmulas específicas, las que a su vez se utilizan para la cubicación de árboles y trozas. El desarrollo de esas fórmulas se describe a continuación. Se emplean las fórmulas de Smalian, Huber y Newton. Las fórmulas de volumen se utilizan normalmente para la cubicación de secciones de árboles. Para ello se realizan mediciones de diámetro lo largo del fuste. La cubicación se realiza sección tras sección, quedando cada sección definida entre dos mediciones sucesivas en el caso de utilizar la fórmula de Smalian. En la cubicación mediante la fórmula de Huber se utiliza cada medición, tomando como longitud de troza la distancia entre los puntos medios entre mediciones. La fórmula de Newton requiere definir las secciones en base a tres mediciones sucesivas, las cuales deben realizarse a intervalos uniformes. El volumen total o de una fracción del fuste del árbol se obtiene sumando los volúmenes obtenidos de las secciones. La precisión de las fórmulas obtenidas por el método analítico depende del grado de cercanía entre la forma real de la sección del árbol y la ideal asumida por el sólido de referencia. Así, la precisión depende, por un lado, de la sección del árbol donde se utilice una fórmula determinada y, por otro, de la distancia entre las mediciones de diámetro realizadas en el fuste. Mientras mayor es la distancia, menor es la precisión de las fórmulas (Cao et al. 1980).

b) Método gráfico

El primer paso en la obtención del volumen mediante este método es graficar el diámetro al cuadrado (d^2 en el eje Y) con las alturas en el fuste (h en el eje X). Luego se determina el factor de volumen, esto es la cantidad de m^3 que representa cada cm^2 de gráfico. Ese factor multiplicado por el área bajo la curva, que se genera al unir los puntos del gráfico d^2-h , entrega el volumen de la troza o árbol, según sea el área tomada desde el gráfico (Cao et al. 1980).

2.2.10. Unidades para expresar volumen

Existe una variedad de unidades que se utilizan para expresar el volumen de un árbol. Algunas de ellas corresponden a unidades para expresar volumen cúbico del árbol completo o parte de él, otras expresan el volumen de productos del árbol.

Las unidades para expresar el volumen sólido son variadas. En Chile se encuentran en uso unidades del sistema métrico decimal (m^3) y unidades del sistema inglés (pie^3); también se utilizan otras unidades particulares como el m^3 JAS (Japanese Agricultural Standards), impuesto para la cubicación de rollizos. Las unidades utilizadas para expresar volumen después del proceso de aserrío provienen del sistema inglés. Éstas se denominan, en general, unidades comerciales (Cancino 2012).

Tabla 01: unidades para medir el volumen.

Unidad de volumen	Símbolo	Dimensiones (espesor, ancho, longitud)	Uso habitual
Metro cúbico	m ³	1m x 1m x 1m	volumen sólido
Pie cúbico	pie ³	1' x 1' x 1'	volumen sólido
Metro cúbico JAS	m ³ JAS		volumen sólido de rollizos
Pulgada larga (frontera)		1" x 10" x 12'	volumen comercial
Pulgada corta (pinera)		1" x 10" x 10,5'	volumen comercial
Pie maderero (pie cuadrado)	pm, pie ²	1" x 1' x 1'	volumen comercial
Otras:			
pie Hoppus $L(\frac{C}{4})^2 \approx 10$ pie ²	ph		
Cunit ≈ 100 pie ³			madera sólida, aserrín, astillas

Fuente: Cancino (2012)

2.2.11. Relaciones funcionales de volumen

Las funciones de volumen relacionan matemáticamente el volumen con otras variables de más fácil medición como el dap y altura de los árboles. La función de volumen individual se desarrolla y aplica a nivel de árbol individual, permitiendo realizar estimaciones de volumen a nivel de rodal a partir de mediciones realizadas a nivel de árbol individual en unidades muestrales. Existen también funciones de volumen agregado, desarrolladas para estimar directamente el volumen por unidad de superficie de rodal, en base a valores promedio del dap y altura de los árboles (Coble y Wiant 2000).

a) Funciones de volumen individual

Una función de volumen individual relaciona el volumen con variables más fáciles de medir, como el dap y la altura del árbol. En su construcción se utilizan datos (volumen, diámetro, altura, forma fustal) obtenidos directamente de los árboles (Coble y Wiant 2000).

Hay dos principios básicos involucrados en la construcción de funciones de volumen. El primero asume que el volumen del árbol depende del diámetro, la altura y de la forma fustal. El segundo asume que una función que determine correctamente el volumen de un árbol también es válida para otros árboles de

igual diámetro, altura y forma. Existe una variedad de modelos posibles para ajustar funciones de volumen individual; para decidir cuál de ellos usar deben considerarse aspectos de simplicidad, objetividad y precisión (Coble y Wiant 2000).

Dependiendo de la estructura del modelo usado para ajustar la relación entre el volumen del árbol y otras variables de más fácil medición, las funciones obtenidas pueden clasificarse en: i) funciones de volumen local, que incorporan el dap como única variable independiente; ii) funciones de volumen general, cuyas variables independientes son el dap y la altura; y iii) funciones de volumen con clase de forma, que incorporan el dap, la altura y la forma como variables independientes (Coble y Wiant 2000).

La función de volumen local es útil cuando la altura y forma fustal son constantes o presentan una variabilidad baja; en esas circunstancias, la incorporación de esas variables en la función no aporta información adicional sobre la variabilidad del volumen; ello podría ser válido en rodales coetáneos, localizados en sectores de calidad de sitio homogénea y con poca variación en la densidad de rodal; el término local proviene de lo reducido que es la extensión para la cual es válida la función, normalmente sólo el rodal de donde se recopilaron datos para su ajuste. Cuando se requiere una función aplicable a variadas condiciones de sitio, manejo y edad debe recurrirse a funciones de tipo general; la variabilidad en la calidad de sitio se refleja en la variabilidad de la altura fustal y la variabilidad en manejo se refleja en la variabilidad diamétrica. Ambas variables son a su vez afectadas por la edad del rodal. El ajuste de una función con esas características requiere información de variadas condiciones de sitio, manejo y edad, siendo a su vez aplicable a una amplia gama de condiciones, siempre en el rango de condiciones que aportan datos para el ajuste. El tercer tipo de función es adecuado cuando individuos de igual dap y altura tienen diferente forma fustal. A continuación se presentan algunos modelos de volumen individual (Coble y Wiant 2000).

Los modelos de volumen individual incluyen modelos lineales y no lineales en los parámetros. Los primeros se ajustan mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios o ponderados, dependiendo del comportamiento de la varianza del volumen; el segundo tipo requiere de métodos de ajuste no lineales. Algunos modelos no lineales pueden linealizarse mediante logaritmos para facilitar el ajuste y/o para homogeneizar la varianza. En ese caso, la función resultante puede subestimar el volumen real del árbol (Cancino 2012).

Los modelos pueden ser utilizados para modelar el volumen del árbol individual independientemente del volumen que se trate o de la unidad utilizada para expresarlo. Así, el volumen puede referirse al volumen total del árbol o al volumen comercial hasta un determinado dlu, y puede ser determinado en cualquier unidad (m^3 ssc, pm, etc.) (Cancino 2012).

2.2.12. Relación altura versus diámetro

Al emplear ecuaciones de volumen o de Taper, en áreas de población equiana, es necesario estimar la altura de los árboles por medio de ecuaciones específicas, definidas con base en datos disponibles y ajustados a partir de modelos usualmente denominados hipsométricos (Campos y Leite 2013). La expresión de la altura del árbol en función del 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 apenas su DAP, donde tal procedimiento implica reducción de costos de inventario (Soares 2006).

2.2.13. 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:

$$Y = aXb$$

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

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

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

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

Dónde:

Y = componente a estimar,

X_j = variable de dimensión del árbol,

β_j = parámetro del modelo y

ε = 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 (Parresol 1999).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La investigación de campo se realizó en los caseríos La Palma, San fe, Cruz Grande, Miraflores y La Florida del Centro Poblado San Miguel de Las Naranjas del distrito y provincia de Jaén, región de Cajamarca (Fig.1, 2, 3, 4 y 5), dado que existen zonas agroforestales con laurel sembrado como sombra permanente del cultivo de café. Los caseríos se encuentran a una altitud entre 1700 a 1750 m s.n.m. Presenta un clima templado húmedo a húmedo con una precipitación media anual de 1200 mm; su temperatura media anual varía desde los 18 a 25 °C y la humedad relativa es de 70 a 80 % (PCMPJ 2013).

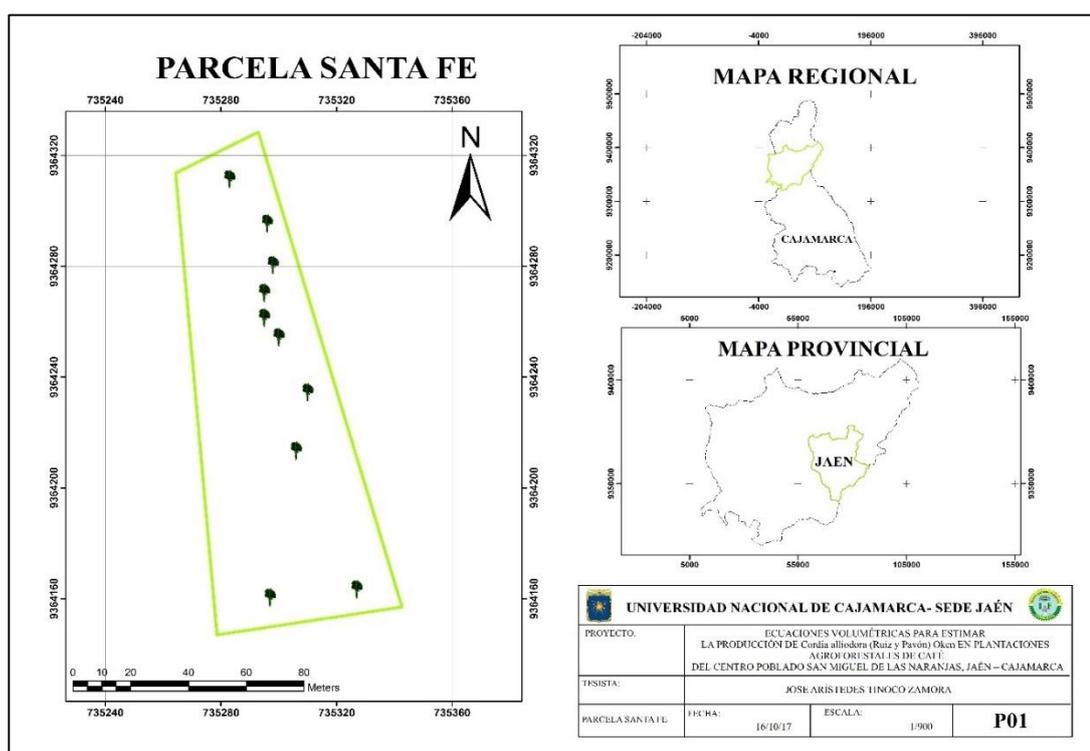


Figura 1. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken en la Parcela Santa Fe

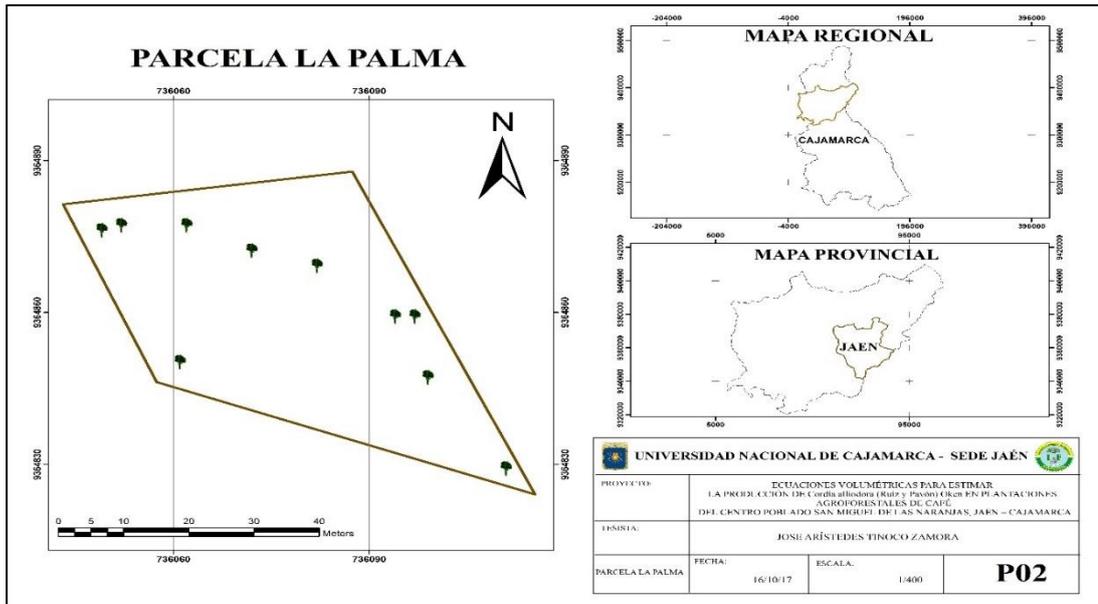


Figura 2. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken en la Parcela La Palma

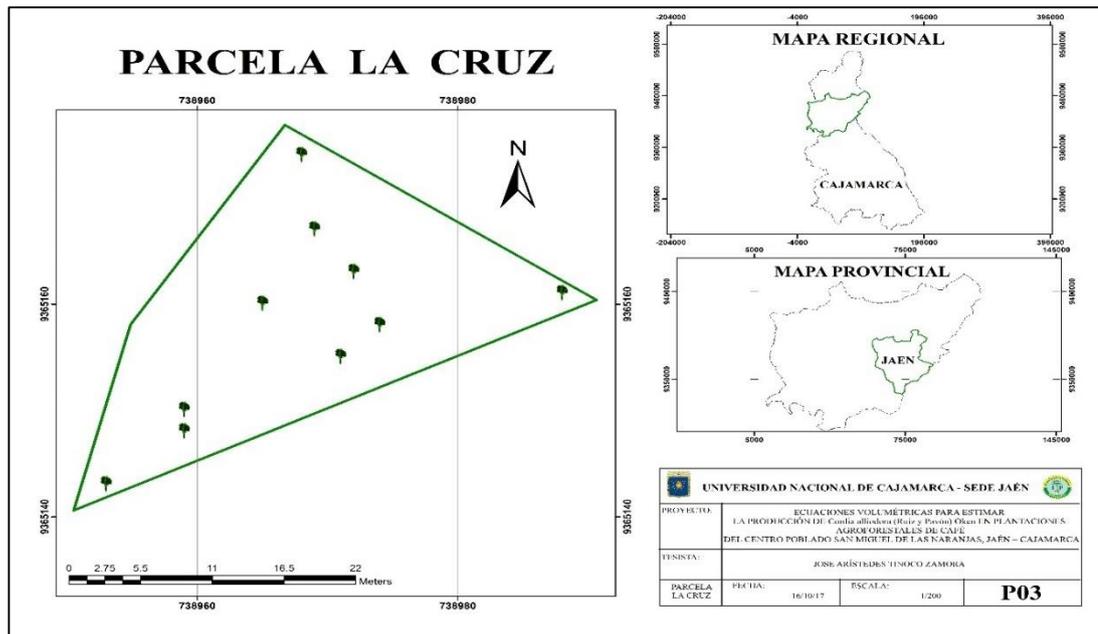


Figura 3. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken en la Parcela La Cruz

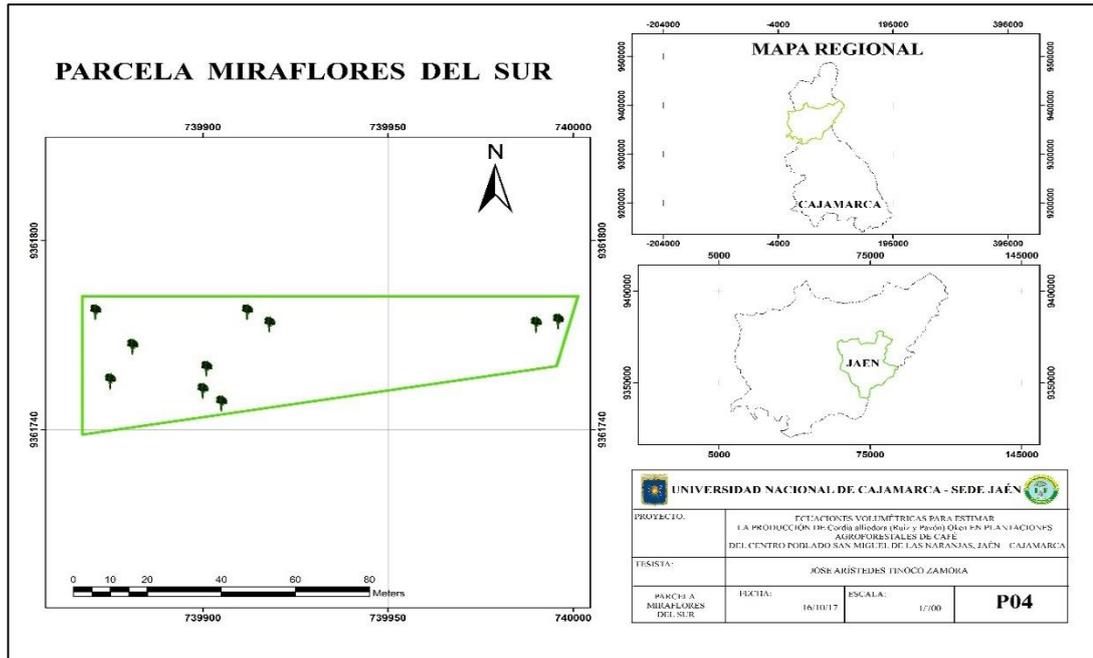


Figura 4. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken en la Parcela Miraflores del Sur

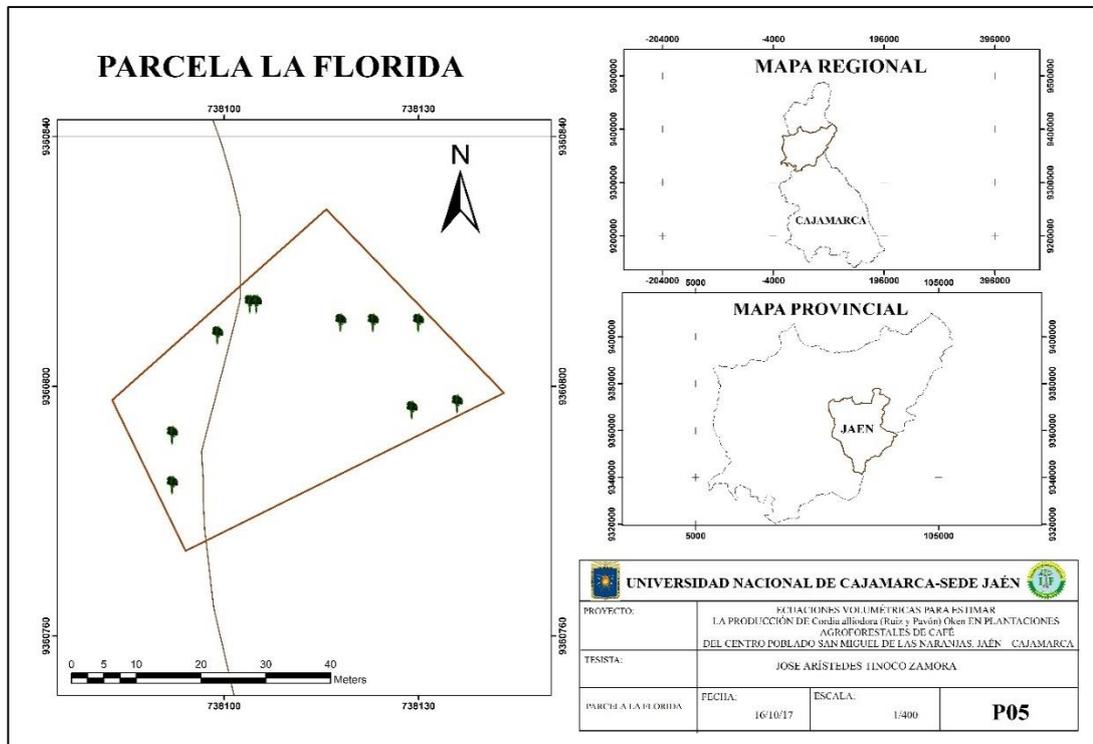


Figura 5. Mapa de dispersión de los individuos muestreados de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken en la Parcela La Florida

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Material Biológico: Árboles de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken.

Materiales de campo: Cinta métrica, cinta mastic, plumón indeleble.

Material informático: Software Microsoft Office 2013, ArcGis 10.5 y Statística 13.

3.2.2. Equipos

Equipos de campo: Eclímetro, forcípula, receptor GPS, nivel de abney y barreno de pressler, cámara fotográfica.

Equipos 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, seguidamente se realizó un levantamiento de puntos con receptor GPS y se utilizará un sistema de coordenadas proyectadas UTM con Datum Horizontal WGS 84 que posteriormente serán descargados y procesados con auxilio del software ArcGis 10.5 y Base Camp.

b) Muestreo e inventario forestal

Para el ajuste de las ecuaciones de regresión lineal se aplicó un muestro al azar simple (MAS), con árboles de diferentes clases diamétricas y considerando 10 árboles (muestra) aleatorios en una determinada área por cada parcela a evaluar. Las variables consideradas en el muestreo

fueron el 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), área de muestreo en la parcela (AM), área total de la parcela (AT). Posteriormente se realizará un inventario al 100 % por cada parcela a evaluar considerando únicamente la variable DAP. (Ver anexo 1)

3.3.2. Trabajo de gabinete

a) Ordenamiento y procesamiento de datos

b) Los datos colectados en campo se añadieron 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.

c) Ajuste de ecuación hipsométrica

Para relacionar la altura de los árboles a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP), se aplicó la siguiente ecuación:

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{dap} \right) + \varepsilon$$

Donde:

Ln: logaritmo neperiano

H: altura total, en m;

dap: diámetro a la altura del pecho, en cm;

β_i = parámetro de regresión (i=0, 1); y

ε = error aleatorio, considerado igual a 0.

d) Cálculo de la producción observada

El cálculo del volumen del fuste se estimará a partir de la función taper, aplicando el modelo lineal polinomial de Kozak et al. (1969):

$$Y^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h}{H} \right)^2 + \varepsilon$$

$$V = \frac{\pi}{40000} dap^2 \left[\beta_0(h_2 - h_1) + \frac{\beta_1}{2H} (h_2^2 - h_1^2) + \frac{\beta_2}{3H^2} (h_2^3 - h_1^3) \right]$$

Dónde:

$Y=(d/dap)$

d =diámetro en la altura h ;

dap =diámetro, medido en la altura de 1,30m;

h =distancia del suelo hasta el punto donde el diámetro d es considerado;

h_1 y h_2 =límites de integración correspondiendo a las alturas inferior y superior de cualquier sección, considerando $h_1=0,3m$.

H =altura total;

β_i =parámetro de regresión ($i=0, 1, 2$); y

ε =error aleatorio, considerado igual a 0.

e) Ecuaciones para estimar la producción

Las ecuaciones para estimar la producción para árboles individuales fueron las que se representan en la tabla 1.

Tabla 1: Ecuaciones volumétricas

Ecuación volumétrica	Autor
$V = \beta_0 * dap^{\beta_1} + \varepsilon$	Husch
$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Lndap + \beta_2 * LnH + \varepsilon$	Schumacher y Hall
$LnV = \beta_0 + \beta_2 * Ln(dap^2 H) + \varepsilon$	Spurr
$V_i = \beta_0 * dap^{\beta_1} H^{\beta_2} e^{\beta_3 \frac{Tx}{dap}} \left[1 - \left(\frac{d_i}{dap} \right)^{1+\beta_4*d_i} \right] + \varepsilon$	Leite, Guimarães y Campos

Dónde:

V = Volumen por árbol;

H = Altura del árbol;

V_i = Volumen para el diámetro comercial d_i ;

$T_x = 0$ para volumen con corteza y 1 para volumen sin corteza;

\ln = Logaritmo neperiano

f) Análisis estadístico

Los modelos de producción fueron ajustados por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios y se evaluaron a través de los siguientes parámetros estadísticos: coeficiente de determinación (R^2), la correlación entre volumen estimado y observado ($R\hat{Y}Y$), sesgo (BIAS), la raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) y la media de las diferencias absolutas (MDA). Para ambos se analizaron la gráfica de residuos y frecuencia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Ajuste de ecuación hipsométrica y modelo función Taper

La relación del diámetro (dap) y la altura total de la población evaluada de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken en sistemas agroforestales de café, formando una hipérbola de tendencia logarítmica obteniendo la siguiente ecuación de regresión matemática:

$$\ln H = 3.19881185 - 12.3215832 \left(\frac{1}{dap} \right)$$

La presente ecuación hipsométrica de regresión matemática representa la relación matemática entre el dap y altura total de la población de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken en sistemas agroforestales de café, distribuido por la inversa del dap y el logaritmo neperiano de la altura total.

La relación de la altura total y el volumen de la población evaluada de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken en sistemas agroforestales de café, formando una tendencia exponencial, obtenido a partir de la función Taper del modelo lineal polinomial de Kozak et al. (1969), representada por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi}{40000} dap^2 \left[0.856334(h_2 - h_1) + \frac{0.677973}{2H} (h_2^2 - h_1^2) + \frac{-0.974072}{3H^2} (h_2^3 - h_1^3) \right]$$

La ecuación representa la relación que existe entre la altura total y el volumen de la población evaluada de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken en sistemas agroforestales de café, donde el volumen está en función al diámetro cuadrático y proporciones de alturas distribuido por el largo del fuste.

4.1.2. Ecuaciones para estimar la producción

En la tabla 2, se presenta los parámetros de regresión obtenidos con el software Statistica 10 a partir del procesamiento de los datos dasométricos obtenidos de todos los individuos de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavon) Oken analizados de las 5 parcelas agroforestales analizadas.

Tabla 2. Parámetros de regresión para cada ecuación volumétrica

Ecuación Volumétrica	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4
Husch	0.8563	0.6780	-	-	-
Schumacher y Hall	-6.3019	2.0037	0.0151	-	-
Spurr	-5.2335	0.5966	-	-	-
Leite Guimãraes y Campos	0.0040	1.6079	0.0093	0.0000	0.0717

En la tabla 3, se representa las ecuaciones volumétricas propuestas para determinar la estimación de la biomasa fustal de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavon) Oken en las parcelas agroforestales de café del C.P San Miguel de las Naranjas con sus respectivas parámetros de regresión (β) reemplazados, integrada para los 5 lugares de evaluación (Tabla 3).

Tabla 3. Ecuaciones volumétricas con respectivos parámetros de regresión (β)

Ecuación volumétrica	Autor
$V = 0.856334dap^{0.677973} + \varepsilon$	Husch
$Ln(V) = -6.30187 + 2.00371Lndap + 0.01507LnH + \varepsilon$	Schumacher y Hall
$LnV = -5.233477 + 0.59658Ln(dap^2H) + \varepsilon$	Spurr
$V_i = 0.003992dap^{1.607910} H^{0.009298} e^{0 \frac{Tx}{dap}} \left[1 - \left(\frac{d_i}{dap} \right)^{1+0.071722} d_i \right] + \varepsilon$	Leite, Guimaraes y Campos

4.1.3. Volumen observado y volumen estimado

Después de haber procesado los datos recolectados en campo se procedió al procesar éstos en el software Statistica 10 y se obtuvieron los parámetros de regresión los cuales fueron reemplazados en cada una de las ecuaciones volumétricas (Tabla 2) con lo cual se procedió a realizar el cálculo de volumen al que se le llamó volumen observado, obteniendo así que la ecuación que obtuvo mayor cantidad de volumen fue la ecuación Shumacher con 313.9063 m³ y la que obtuvo menor cantidad de volumen fue la ecuación de Spurr con 297.7765 m³ los resultados se pueden apreciar a detalle en la Tabla 4.

Tabla 4. Volumen estimado con ecuaciones volumétricas

PARCELA AGROFORESTAL DE CAFÉ	HUSCH (m ³)	SCHUMACHER Y HALL (m ³)	SPURR (m ³)	LEITE, GUIMARAES Y CAMPOS (m ³)
SANTA FE	73.5973	73.1551	52.6337	72.8338
LA PALMA	96.8214	97.4115	103.8562	104.3478
LA CRUZ	95.5454	95.6052	101.0906	93.0782
MIRAFLORES	29.5966	29.4167	23.1453	28.8807
LA FLORIDA	18.3801	18.3178	16.0507	38.288
TOTAL	313.9408	313.9063	296.7765	337.4285

El cálculo del volumen real se realizó aplicando el modelo Taper y se le llamó volumen observado obteniendo que la parcela que presentó mayor cantidad de volumen fue la parcela La Cruz y se obtuvo un total de 313.8935 m³ provenientes de los cálculos realizados con los individuos de las 5 parcelas analizadas los resultados se observan a detalle en la Tabla 5.

Tabla 5. Volumen observado y el volumen estimado

PARCELA AGROFORESTAL	Ecuación Volumétrica				
	Volumen observado (m ³)	Husch (m ³)	Schumacher y Hall (m ³)	Spurr (m ³)	Leite, Guimaraes Y Campos (m ³)
SANTA FE	73.2828	73.5973	73.1551	52.6337	72.8338
LA PALMA	97.2227	96.8214	97.4115	103.8562	104.3478
LA CRUZ	95.5614	95.5454	95.6052	101.0906	93.0782
MIRAFLORES	29.4696	29.5966	29.4167	23.1453	28.8807
LA FLORIDA	18.357	18.3801	18.3178	16.0507	38.288
TOTAL	313.8935	313.9408	313.9063	296.7765	337.4285

4.1.4. Análisis estadísticos

La tabla 6, representa las estimativas obtenidas a partir de las ecuaciones para estimar la producción de la *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken en las parcelas agroforestales de café. De los modelos establecidos en el estudio, solo 3 representan un coeficiente de determinación (R²) mayor del 75 %, siendo así, éstos los modelos más confiables, donde los modelos de mayor coeficiente de determinación fueron: el modelo Schumacher y Hall con 99.99 %, seguido por el modelo h con 99.99 % y finalmente el modelo Leite Guimãraes y Campos con 90.35 % y por último el modelo de menor coeficiente de determinación fue el modelo Spurr con 61.39 %.

Tabla 6. Estimaciones obtenidas para ajustar las ecuaciones volumétricas para estimar la producción

Ecuación Volumétrica	R ² (%)	RŶY	BIAS	RQEM	MDA
Husch	99.9908	0.9964	- 0.00016	0.5864	0.0053
Schumacher y Hall	99.9984	0.9964	- 0.00004	0.2419	0.0022
Spurr	61.3944	0.7915	0.06048	38.0011	0.3015
Leite Guimarães y Campos	0.903505	0.9615	- 0.09729	18.9986	0.1392

4.1.5. Gráficas obtenidas del análisis de los parámetros de los modelos matemáticos

4.1.5.1. Ecuación volumétrica de Husch

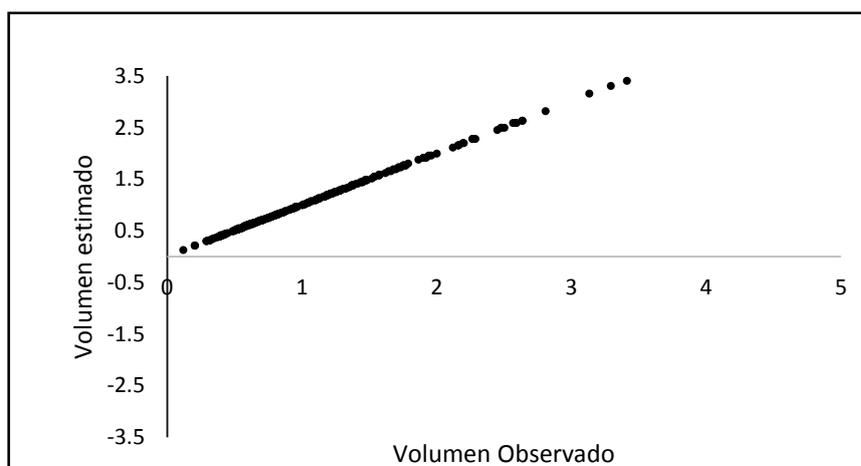


Figura 6. Gráfica de la correlación del volumen observado y volumen estimado con la ecuación de Husch

Se aprecia la correlación de los datos de volumen observado y volumen estimado de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta una correlación de 99.9908 %, una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 0.58641667 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 0.005355 (Figura 6).

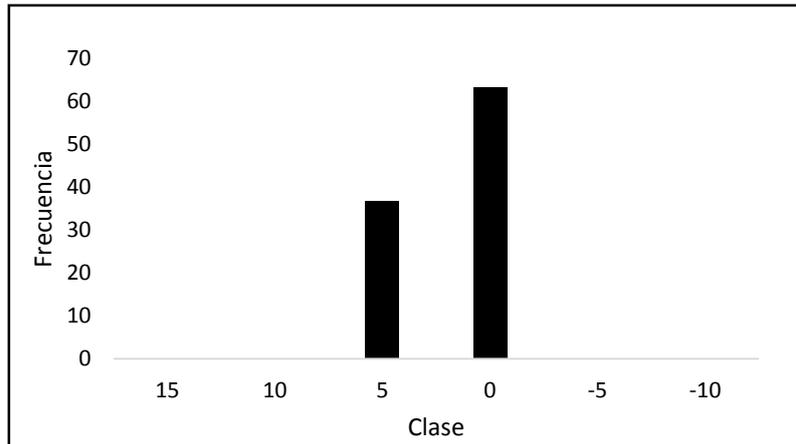


Figura 7. Gráfica de la frecuencia establecida por clases

Se aprecia en la figura 7 la frecuencia establecida por clases de los datos de Volumen de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que es muy cercano a cero, -0.000167 , también se observa que los datos están distribuidos en las clases(0) y (+5), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase 0; sin embargo, se indica una sobre estimación de los datos estimados debido a que gran cantidad de los datos se encuentran agrupados en la clase +5.

4.1.5.2. Ecuación volumétrica de Schumacher y Hall

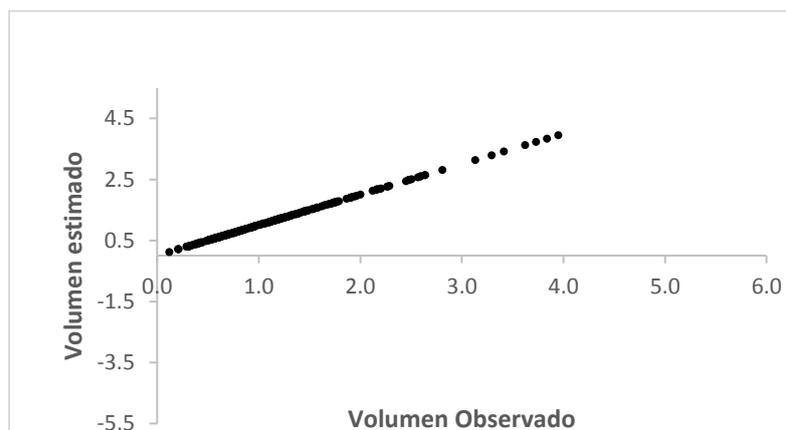


Figura 8: Gráfica de la correlación del volumen observado y volumen estimado según la ecuación de Schumacher y Hall

Se muestra la correlación de los datos de volumen observado y volumen estimado de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta una correlación de los datos de 99.9984 %, una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 0.241918 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 0.002263 (Figura10).

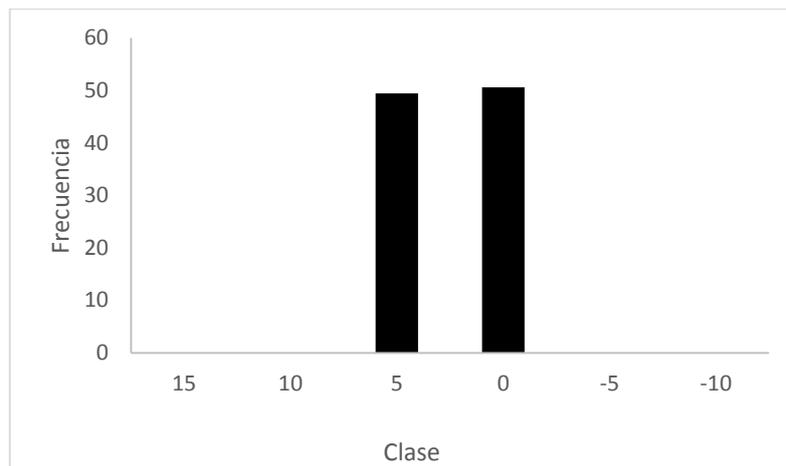


Figura 9. Gráfica de frecuencia establecida por clases

Se aprecia la frecuencia establecida por clases de los datos de volumen de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que es muy cercano a cero, - 0.0000459210, también se aprecia que los datos están distribuidos en las clases (0) y (+5); así mismo se puede apreciar que gran cantidad de los datos se agrupan en la clase (+5) lo cual indica una sobre estimación (Figura11).

4.1.5.3. Ecuación volumétrica de Spurr

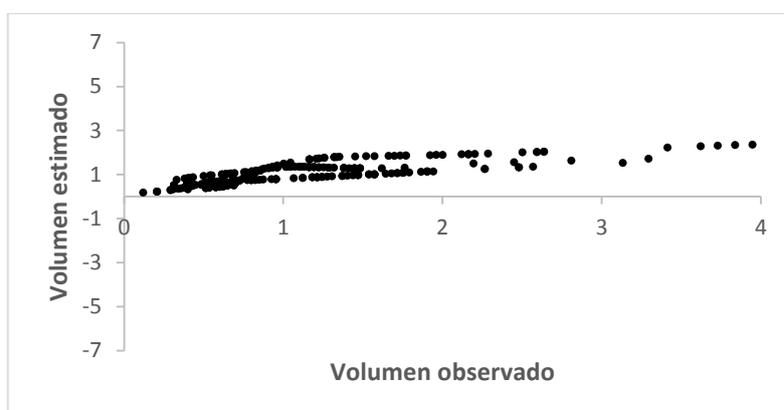


Figura 10. Gráfica de la correlación del volumen observado y volumen estimado según la ecuación de Spurr

En la figura 10, se aprecia la correlación de los datos de volumen observado y volumen estimado de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta una correlación de los datos de 61.3944 %, una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 38.001128 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 0.301586.

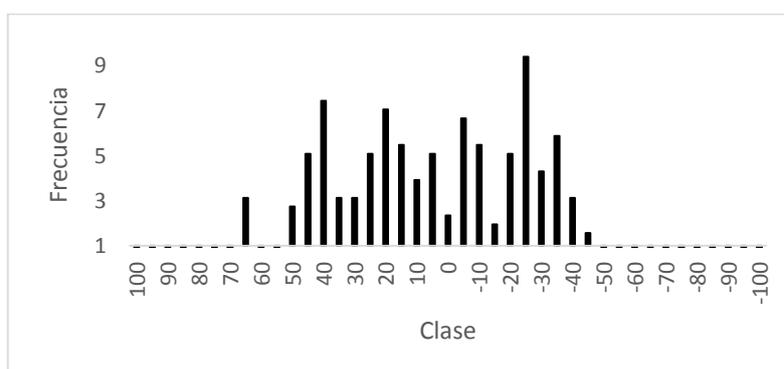


Figura 11. Gráfica de frecuencia establecida por clase de los datos

En la figura 11, se aprecia la gráfica de frecuencia establecida por clases de los datos de volumen de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo que tiende a cero, 0.060484, también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (-50) y

(+70), a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase de -25, indicando subestimación de los datos.

4.1.5.4. Ecuación volumétrica de Leite, Guimarães y Campos

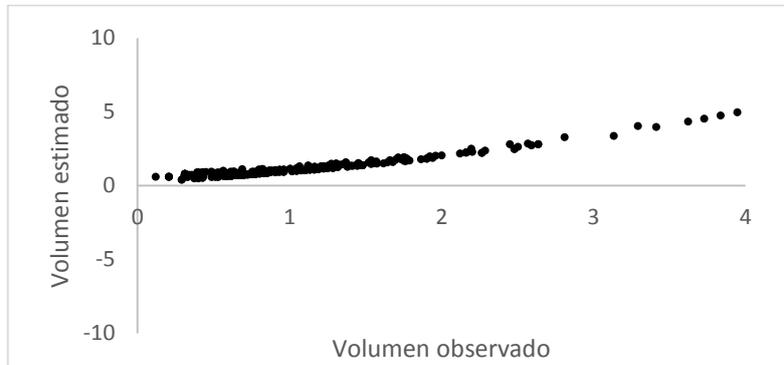


Figura 12: Gráfica de la correlación del volumen observado y volumen estimado según la ecuación de Leite, Guimarães y Campos

En la figura 12, se aprecia la correlación de los datos de volumen observado y volumen estimado de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken, donde el resultado estadístico presenta una correlación de los datos de 90.3505 %, una raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 18.998648 y una media de las diferencias absolutas (MDA) de 0.139212.

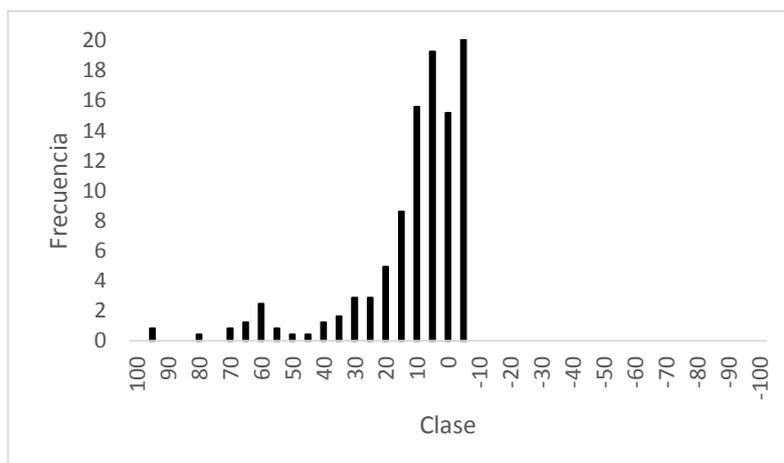


Figura 13: Gráfica de frecuencia establecida por clases

En la gráfica 13, se observa la frecuencia establecida por clases de los datos de Volumen de la *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, donde el resultado estadístico presenta un sesgo negativo que tiende a cero, -0.097297, a la vez los datos se agrupan en gran parte en la clase de -5, también se aprecia que los datos están distribuidos a lo largo de las clases (-5) y (+95) indicando sobre estimación de los datos estimados.

4.2. Discusión

La especie *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavon) Oken (Laurel), es muy popular debido a su alta calidad, dureza de su madera y rápido crecimiento, teniendo gran demanda para la industria, ebanistería y en sistemas agroforestales, donde en estos sistemas influyen una fuente de ingreso adicional a los cultivos que se les considera como una caja de ahorro para cualquier emergencia de gastos por ser madera comercial.

Para el trabajo de investigación se establecieron cuatro ecuaciones volumétricas, de los cuales tres tienen la calidad de confiables debido a que el valor de R^2 se encuentra por encima del 75 % por lo tanto, mientras que, solo la ecuación volumétrica tiene un R^2 de 0,613944 o 61.39 %, es el que menos se adecua para este tipo de especie debido a que se encuentra por debajo del valor mínimo 75 % corroborando lo indicado por Imaña et al. (2009).

En el presente trabajo se obtuvieron resultados muy semejantes como ocurre con la ecuación volumétrica Husch y la ecuación volumétrica Schumacher y Hall, lo cual resulta un problema al momento de seleccionar una ecuación volumétrica, para proyectar el manejo de la plantación; para lo cual las ecuaciones volumétricas fueron ajustados por el método de mínimos cuadrados ordinarios, donde las ecuaciones volumétricas fueron evaluados por el 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), los cuales son parámetros que con los resultados obtenidos se puede determinar cuál de las dos ecuaciones volumétricas es el que se selecciona pero según los resultados obtenidos se puede observar que tanto la ecuación volumétrica Husch y la ecuación volumétrica Schumacher y Hall presentan un coeficiente de determinación (R^2) de 99.99 %, lo cual nos conlleva a tener que analizar los resultados obtenidos de los otros parámetros con lo cual se puede elegir la ecuación volumétrica de Schumacher y Hall debido a que es el que tiene los parámetros más bajos de BIAS = -0.0000459210; RQEM = 0.241918

y $MDA = 0.002263$ con respecto a la ecuación volumétrica Husch que cuenta con los valores $BIAS = -0.000167$, $RQEM = 0.58641667$, $MDA = 0.005355$; corroborando lo que dice Campos e Leite (2013), cuanto más menor son las estimaciones de $BIAS$, $RQEM$ y MDA , más confiable es la ecuación ajustada. Para estimar el volumen y realizar proyecciones a futuro de una plantación se emplean modelos matemáticos como lo establece Gualvis et al. (2003), donde elaboró una tabla de volumen para la especie *Buchenavia capitata*, Vahl, donde incluye a las ecuaciones volumétricas de Spurr y Schumarcel-Hall, el modelo de Spurr de doble entrada presenta un alto coeficiente de determinación con R^2 con 89 %; sin embargo, en el presente trabajo de investigación que se realizó en el centro poblado San Miguel de las Naranjas en la provincia de Jaén, departamento de Cajamarca con la especie *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken la ecuación volumétrica Spurr es la que obtiene un coeficiente de determinación más bajo de tan solo 61.39 %.

En Brasil, Da Cunha y Guimarães (2012), propone el uso de la ecuación volumétrica de Spurr con variable combinada, para estimar el volumen total con corteza de árboles de *Pinus taeda*; sin embargo, en el trabajo de investigación para la especie *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken la ecuación volumétrica Spurr es el que menos se ajusta puesto que tiene un $R^2 = 61.39\%$ el cual está por debajo del 75 %.

En el presente trabajo de investigación se establece que de todas las ecuaciones volumétricas, la ecuación volumétrica de Schumacher y Hall, es la más confiable debido a que representa un alto índice de coeficiente de determinación (R^2) de 99.99 %; así mismo, en el Parque Forestal Aylambo de la Universidad Nacional de Cajamarca de la provincia de Cajamarca, Montalvo y Casas (2017), establecen que la ecuación volumétrica de Shumacher y Hall es el adecuado para el cálculo volumétrico de las especies de *Pinus patula* y *Pinus radiata*, puesto que se obtuvieron un coeficiente de determinación (R^2) superiores a 75 %.

En Chubut, Argentina, Amico y Calderón (2009), proponen para especie *Populus nigra* cv 'Italica' diversos ecuaciones de las cuales la ecuación de Schumacher y Hall resultó ser el más conveniente de que los probados en el presente trabajo debido que R^2 es de 97.30 %.

En los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación podemos se puede observar que según Campos y Leite (2013), se puede concluir que tanto para la figura 6 como la figura 9 de la gráfica de residuos para la ecuación volumétrica de Husch y la ecuación volumétrica de Schumacher y Hall, correspondientemente, existe un ajuste ideal. Por otra parte, para la figura 12 que representa la gráfica de residuos del modelo Spurr, según Campos y Leite (2013) ello indicaría que, la ecuación usada no es la adecuada para los datos levantados en campo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se ajustaron las ecuaciones volumétricas de Husch, Schumacher y hall, Spurr y Leite, Guimarães y Campos, para estimar la producción de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken en plantaciones agroforestales de café en el centro poblado San Miguel de las Naranjas, provincia Jaén, región de Cajamarca, determinándose que la ecuación de Schumacher y Hall es la más apropiada para aplicarla en los individuos de la plantación evaluada.

El volumen total observado (función Taper) es de 313.8935 m³ y el total del volumen estimado utilizando el modelo de Husch es de 313.9408 m³, para el modelo de Schumacher y Hall es de 313.9063 m³, con el modelo Spurr es 296.7765 m³ y con el modelo Leite, Guimarães y Campos es de 337.4285 m³.

El modelo más apropiado fue el de Schumacher y Hall por presentar un coeficiente de determinación (R^2) de 0.99, la correlación ($R_{\hat{Y}Y}$) de 0.99, por sesgo (BIAS) que tiende a cero, por la raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) de 0.24 y por la media de las diferencias absolutas (MDA) de 0.002.

De las cuatro ecuaciones establecidas en el estudio, tres presentan un alto grado de confiabilidad al presentar coeficientes de determinación R^2 por encima del 75 %, indicando así que la calidad de los modelos son aceptables.

5.2. Recomendaciones

Para establecer un sistema o modelo de manejo volumétrico para las plantaciones agroforestales de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, se recomienda utilizar el modelo matemático de Schumacher y Hall debido que presenta un alto coeficiente de determinación (R^2) = 99.99 % y los resultados de sus parámetros analizados son los bajos y cercanos a cero.

Se recomienda que cuando se tiene dos o más modelos matemáticos con coeficientes de determinación altos como ocurre con el modelo matemático de Husch y el modelo matemático de Schumacher y Hall, se proceda a analizar los parámetros estadísticos y el que tenga los resultados de BIAS, RQEM y MDA, más bajo o cercano a cero será el óptimo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amico, I., Bava, J., & Calderón, A. 2009. Tabla de volumen para *Populus nigra* cv 'Italica' en plantaciones lineales en el noroeste de Chubut. Jornadas de Salicáceas. Chubut. 7p.
- Beer, J., R. Muschler, D. Kass y E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38, 139–164.
- Bi H. 2000. Trigonometric variable–form taper equations for Australian Eucalyptus. *For. Sci.* 46(3): 397–409.
- Bruce D., R., O. Curtis and C. Vancoevering. 1968. Development of system and taper volume tables for red alder. *For. Sci.* 14(3): 339–350.
- Burkhart, H.E. 1977. Cubic-foot volume of loblolly pine to any merchantable top limit. *Southern J. Appl. For.* 1:7-9.
- Camargo, A.P. 1990. A arborização como meio de reduzir as adversidades climáticas e promover a sustentação da cafeicultura. En: *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeiteiras, Espírito Santo do Pinhal (SP)*. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café. pp. 6-7.
- Campos, J. C. C.; Leite, H. G. 2013. *Mensuração florestal: Perguntas e respostas*. 4. ed. Viçosa: UFV. 605 p.
- Cancino Cancino, J. O. 2012. *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente.
- Cao Q., V., H. E. Burkhart and T. A. Max. 1980. Evaluation of two methods for cubic volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *For. Sci.* 26(1): 71–80.
- Caramori, P.H., C.A.Kathounian, H. Morais, A.C.Leal, R.G Hugo y A. Androcioni-Filho. 2004. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. En: *Matsumoto*,

S.N. (eds.). Arborização de Cafezais no Brasil. Edições UESB, Vitória da Conquista. pp. 19-42

Carvajal, J.F., 1984. Cafeto, cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la Potassa, Berna.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE). 2001. Módulos de enseñanza agroforestal. Turrialba, C.R.

CATIE. 1994. Laurel (*Cordia alliodora* R y P) Oken, especie de árbol de uso múltiple en América central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 47 p. (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.

Coble, D.W., and H.V. Wiant, Jr. 2000. Centroid method: Comparison of simple and complex proxy tree taper functions. *For. Sci.* 46(4):473 - 477.

Da Cunha, T. A., & Guimarães-Finger, C. A. 2012. Modelo de regresión para estimar el volumen total con corteza de árboles de *Pinus taeda* L. en el sur de Brasil. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 6(16), 26-40.

DaMatta, F.M. y A.B. Rena. 2002. Ecofisiología de cafezais sombreados e a pleno sol. En: Zambolim, L. (ed.). *O estado da arte de tecnologias na produção de café*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. pp. 93-135.

DaMatta, F.M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Res.* 86, 99-114

De Ríos, M. P. 1994. Tabla de volumen comercial para *Eucalyptus pellita* utilizando el método de la razón volumétrica. Quebracho, 2, 54-63.

Dos Santos, K., Sanquetta, C. R., de Loyola Eisfield, R., Watzlawick, L. F., & Ziliotto, M. A. B. 2009. Equações Volumétricas por Classe Diamétrica para Algumas Espécies Folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais, 8(1), 99-112.

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

Fang, Z. and R. L. Bailey. 1999. Compatible volume and taper models with coefficients for tropical species on Hainan Island in southern China. For. Sci. 45(1): 85–100.

Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. For. Sci. 7: 337- 341.

García, M. P., Rivas, J. J. C., Vásquez, M. A. D., & Salvador, M. M. 2009. Función De Ahusamiento Y Volumen Compatible Para Pinus Arizonica Engelm. En El Suroeste De Chihuahua. Vol. 34 Ene-Jun 2009 Núm. 105 Contenido Pág., (105), 119.

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

Gregoire, T.G., H.T. Valentine, and G.M. Furnival. 1986. Estimation of bole volume by importance sampling. Can. J. For. Res. 16:554-557.

Gualvis Machado Carcasés, E., Pereira, A., & Ríos, N. A. 2003. Tabla de volumen para *Buchenavia capitata*, Vahl. Quebracho-Revista de Ciencias Forestales, (10).

Guerra, W., Soudre Z. M., y Chota, M. 2008. Tabla De Volumen Comercial de Bolaina Blanca (*Guazuma crinita* Mart.) de las plantaciones experimentales De Alexander Von Humboldt, Ucayali, Perú. Folia Amazónica, 17(1-2), 47-58.

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.

Hilt, D. E. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. For. Sci. 26(1): 117–120.

Husch, B; Miller, Cl; Beers, TW. 1982. Forest mensuration. New York, US, John Willey and Sons. 402 p.

Imaña-Encinas, J., Santana, O. A., de Paula, J. E., & Imaña, C. R. 2009. Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás. Floresta, 39(1).

Kozak, A., D. D. Munro and J. H. G. Smith. 1969. Taper functions and their application in forest inventory. For. Chron. 45(4):278–283.

Martínez P., G., Cellini, J. M., Lencinas, M. V., Díaz, B., Peri, P. L., y Vukasovic, R. 2002. Funciones de rendimiento volumétrico en pie y en aserradero para la Lengua (*Nothofagus pumilio*). Ciencias Forestales, 15(1-2), 32-45.

Max, T. A. and H. E. Burkhart. 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. For. Sci. 22(3):283–289.

Mendieta López, M., & Rocha Molina, L. R. 2007. Sistemas agroforestales.

Montalvo, V. B., y Casas, G. G. 2017. Ecuación volumétrica para valorar el vuelo forestal del Parque Forestal Aylambo de la Universidad Nacional de Cajamarca. Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería, 1(1).

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

Navar, J. D. J., y Domínguez, P. A. 1997. Ajuste de modelos de volumen y funciones que describen el perfil diamétrico de cuatro especies de pino plantadas en el Nordeste de México. Forest Systems, 6(1), 147-161.

Ormerod, D. W. 1973. A simple bole model. *For. Chron.* 49: 136–138.

Parresol B., R. and C. C. Thomas. 1996. A simultaneous density–integral system for estimating stem profile and biomass: Slash pine and Willow Oak. *Can. J. For. Res.* 26(5): 773–781.

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.

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

Rivera, B. 2012. Un esquema integrado para la administración de recursos de contención de incendios forestales desde un enfoque estocástico (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León.

Rubinstein, R.Y. 1981. *Simulation and the montecarlo method*, John Wiley. New York. 278 p.

Salas, C., Nieto, L., y Irisarri, A. 2005. Modelos de volumen para *Pinus pinaster* Ait. en la Comarca del Baixo Miño, Galicia, España. *Quebracho*, 12, 11-22.

Schumacher, F., y Hall, F. X. 1993. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, (47), 719-734.

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

Spurr S. H. 1952. *Forest inventoy*. The Ronald Press Company. New York. 476 p.

Wiant, J., Spangler, M. L., y Baumgras, J. E. 2002. Field Note—Comparison of Estimates of Hardwood Bole Volume Using Importance Sampling, the Centroid Method, and Some Taper Equations. *Northern Journal of Applied Forestry*, 19(3), 141-142.

Wiant, Jr., H.V., G.B. Wood y G.M. Furnival. 1992. Estimating log volume using the centroid position. *For Sci.* 38(1):187–191.

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.

Zhang, L., C. Peng., S. Huang and X. Zhou. 2002. Development and evaluation of ecoregion–based tree height–diameter models for jack pine in Ontario. *For. Chron.* 78(40): 530–538.

ANEXO

Anexo 1: Datos de inventario de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavon) Oken en sistemas agroforestales de café de las diferentes parcelas de evaluación.

PARCELA	CODIGO DE ARBOL	LM	DISTANCIA DE OBSERVACION	LÍMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR	DAP	DAP H	ALTURA H	ALTURA TOTAL
SANTA FE	SF01	12	15	48	56	28.6478898	88	1.5	15.6
	SF02	23	9	58	63	17.8253536	55	1.5	10.89
	SF03	20	10.5	50	59	17.8253536	55.5	1.5	11.445
	SF04	30	16.5	40	52	21.3267624	63	1.5	15.18
	SF05	40	16.5	100	4	30.5577491	92	1.8	17.16
	SF06	27	24	70	10	20.0535229	61	1.8	19.2
	SF07	10	18	60	40	17.6661987	53	1.8	18
	SF08	10	16.5	70	45	33.740848	99.5	1.8	18.975
	SF09	10	25.5	55	35	28.01127	81	1.8	22.95
LA PALMA	LA01	20	22.5	80	26	27.3746502	72	1.8	23.85
	LA02	35	25.5	60	10	19.4169031	59.5	1.8	17.85
	LA03	36	25.5	72	10	16.5521141	50	1.8	20.91
	LA04	20	21	90	15	18.9394382	58	1.8	22.05
	LA05	15	15	70	40	29.6028194	89	1.8	16.5
	LA06	17	15	70	22	21.8042272	63	1.8	13.8
	LA07	10	15	90	70	29.9211293	91	1.8	24
	LA08	15	12	45	55	19.2577481	58.2	1.8	12
	LA09	40	21	80	17	18.7802833	55	1.8	20.37
	LA10	50	30	90	10	21.9633822	62.5	1.8	30
CRUZ GRANDE	CG01	11	20	80	-11	26.7380305	78	1.8	13.8
	CG02	25	18	89	-15	25.4647909	78	1.8	13.32

	CG03	20	17	89	22	20.6901426	62	1.8	18.87
	CG04	12	28	57	25	21.3267624	64	1.8	22.96
	CG05	18	23	72	-10	24.5098613	75	1.8	14.26
	CG06	19	18	90	-5	25.4647909	77	1.8	15.3
	CG07	12	23	80	-10	27.0563404	82	1.8	16.1
	CG08	25	22	70	-10	20.0535229	62	1.8	13.2
	CG09	15	36	48	-5	25.146481	75	1.8	15.48
	CG10	44	16	110	-5	26.1014107	79	1.8	16.8
MIRAFLORES DEL SUR	MS01	55	13	125	5	12.7323955	43	1.8	16.9
	MS02	17	14	90	-32	28.01127	84	1.8	8.12
	MS03	55	9	120	-5	24.8281712	76	1.8	10.35
	MS04	20	10	70	-11	11.140846	33	1.8	5.9
	MS05	20	10	80	-10	18.4619734	54	1.8	7
	MS06	10	10	70	-25	14.005635	44	1.8	4.5
	MS07	15	13	80	-30	30.876059	91	1.8	6.5
	MS08	13	15	70	-21	17.1887339	58	1.8	7.35
	MS09	19	9	120	-35	19.0985932	56	1.8	7.65
LA FLORIDA	LA01	25	10	125	-10	14.9605647	45	1.8	11.5
	LA02	20	12	120	-15	17.1887339	52	1.8	12.6
	LA04	40	12	80	-15	15.9154943	49	1.8	7.8
	LA05	30	11	90	-45	14.9605647	48	1.8	4.95
	LA07	40	13	120	-25	12.0957757	36	1.8	12.35
	LA08	25	15	125	-55	35.6507073	108	1.8	10.5
	LA09	-40	14	80	-15	15.9154943	48	1.8	9.1
	LA10	20	12	120	-20	14.3239449	48	1.8	12

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 1. Medición del dap a una altura de 1.80 mts



Figura 2. Medición del DAP a 1.30mts



Figura 3. Medición del DAP a 1.30 mts



Figura 4. Medición del DAP a 1.30 mts