



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

TEMA

**Uso del escáner láser terrestre (TLS) para el inventario de
plantaciones de Teca en la Región Costa de Ecuador.**

AUTORA

Polo Aguilar, Emily Mishelle

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA AGROPECUARIA**

TUTOR

Ing. Alberto Peñalver Romeo, Ph.D.

Guayaquil, Ecuador

Septiembre de 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Emily Mishelle Polo Aguilar**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniera Agropecuaria**.

TUTOR

Ing. Alberto Peñalver Romeo, Ph.D.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Franco Rodríguez, John Eloy, Ph.D.

Guayaquil, 9 de septiembre del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, POLO AGUILAR, EMILY MISHELLE

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: **Uso del escáner láser terrestre (TLS) para el inventario de plantaciones de Teca en la Región Costa de Ecuador**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agropecuaria**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 9 de septiembre del 2019

AUTORA

Polo Aguilar, Emily Mishelle



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

Yo, Polo Aguilar, Emily Mishelle

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Uso del escáner láser terrestre (TLS) para el inventario de plantaciones de Teca en la Región Costa de Ecuador**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 9 de septiembre del 2019

AUTORA

Polo Aguilar, Emily Mishelle



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN URKUND

La Dirección de las Carreras Agropecuarias revisó el Trabajo de Titulación: **“Uso del escáner láser terrestre (TLS) para el inventario de plantaciones de Teca en la Región Costa de Ecuador”** presentado por la estudiante **Polo Aguilar, Emily Mishelle**, de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, donde obtuvo del programa URKUND, el valor de 0% de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.

| URKUND | |
|----------------|---|
| Documento | Polo Aguilar Emily UTE A 2019 TT.docx (D54672018) |
| Presentado | 2019-08-02 12:24 (-05:00) |
| Presentado por | ute.fetd@gmail.com |
| Recibido | noelia.caicedo.ucsg@analysis.urkund.com |
| | 0% de estas 36 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes. |

Fuente: URKUND-Usuario Caicedo Coello, 2019

Certifican,

Ing. John Franco Rodríguez, Ph.D.
Director Carreras Agropecuarias
UCSG-FETD

Ing. Noelia Caicedo Coello, M.Sc.
Revisora - URKUND

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios, por poder culminar esta etapa de mi vida; gracias a mi familia, por ser un pilar fundamental en mi vida, motivándome día a día a alcanzar mis objetivos; a mis padres, que siempre estuvieron presentes brindándome su apoyo; a mis hermanas y primas, por acompañarme y guiarme durante todos mis años de estudio.

Gracias a mis maestros, por brindarme parte de sus conocimientos, por su paciencia durante el transcurso de la carrera y especialmente al Ing. Alberto Peñalver Romeo, por impartirme los conocimientos necesarios para la realización de este trabajo, por su dedicación y paciencia.

Gracias a mis compañeros de clases y amigos, por compartir estos años juntos, por su amistad y cariño.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia, especialmente a mis padres Aurora y Xavier, por el sacrificio hecho para permitirme cumplir con todas mis metas, por su amor y comprensión, a mis hermanas Ana, Paula y mi prima Daniela, por acompañarme durante toda la carrera, por su amor, cariño y por su tiempo invertido en ayudarme siempre en todo lo que necesite para lograr mis objetivos.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Alberto Peñalver Romeo, Ph.D.

TUTOR

Ing. John Eloy Franco Rodríguez, Ph.D.

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Noelia Carolina Caicedo Coello, M.Sc.

COORDINADORA UTE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CALIFICACIÓN

Ing. Alberto Peñalver Romeo, Ph.D.

TUTOR

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1 Objetivos..... | 3 |
| 1.1.1 Objetivo general. | 3 |
| 1.1.2 Objetivos específicos. | 3 |
| 1.2 Hipótesis | 4 |
| 2 MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1 Plantaciones de teca | 5 |
| 2.2 Inventarios forestales..... | 5 |
| 2.2.1 Tipos de inventarios forestales..... | 6 |
| 2.3 Escáner Láser Terrestre | 9 |
| 3 MARCO METODOLÓGICO | 14 |
| 3.1 Población objeto de estudio..... | 14 |
| 3.2 Tipo de Investigación..... | 14 |
| 3.3 Inventario forestal | 15 |
| 3.3.1 Inventario forestal tradicional. | 15 |
| 3.3.2 Metodología de inventario. | 15 |
| 3.4 Variables..... | 16 |
| 3.5 Inventario con escáner láser terrestre | 18 |
| 3.5.1 Metodología de inventario digital (teledetección). | 19 |
| 3.6 Metodología para comparar la precisión del inventario TLS y el inventario tradicional PC..... | 21 |
| 3.7 Metodología para evaluar el efecto del tamaño de la parcela de medición mediante escáner láser terrestre..... | 22 |
| 3.8 Metodología para comparar la eficiencia del inventario forestal mediante teledetección y tradicional de las plantaciones de teca. | 23 |
| 3.8.1 Técnicas y programas estadísticos. | 24 |
| 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 25 |
| 4.1 Resultados..... | 25 |
| 4.1.1 Resultados de la comparación de la precisión del inventario TLS y el inventario tradicional PC. | 25 |
| 4.1.2 Resultado de la evaluación del efecto del tamaño de la parcela de medición mediante escáner láser terrestre. | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1.3 Resultado de la comparación de la eficiencia del inventario forestal mediante teledetección y tradicional de las plantaciones de teca..... | 28 |
| 4.2 Discusión | 29 |
| 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 32 |
| 5.1 Conclusiones | 32 |
| 5.2 Recomendaciones | 32 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Descripción de los predios de estudios | 14 |
| Tabla 2. Operacionalización de variables de medición directa obtenidas en las parcelas de inventario tradicional. | 16 |
| Tabla 3. Estadísticos descriptivos e inferenciales para el contraste de los promedios muestrales de las parcelas PC y TLS..... | 25 |
| Tabla 4. Estadísticos descriptivos e inferenciales para el contraste de los promedios muestrales de las variables obtenidas en las parcelas TLS de radio 18 m y radio 12.64m. | 27 |
| Tabla 5. Eficiencia relativa, parcela TLS versus PC | 29 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| Gráfico 1. a) bosquejo del principio de funcionamiento de LiDAR que muestra el dispositivo TLS, el rayo láser y la dimensión del punto (b) Intensidad de la señal..... | 10 |
| Gráfico 2. Localización de las tres plantaciones de teca objeto del estudio, predios Morondava, El Tecal y All Teak..... | 14 |
| Gráfico 3. Distribución de parcelas en el Predio Morondava. | 17 |
| Gráfico 4. Distribución de parcelas en el Predio El Tecal. | 177 |
| Gráfico 5. Distribución de parcelas en el Predio Allteak. | 18 |
| Gráfico 6. Escáner Láser Terrestre..... | 20 |
| Gráfico 7. Levantamiento de datos con el escáner TLS: a) posición de los cuatro escaneos y los clips de referencia: en negro el clip circular de 18 m de radio y en verde el clip rectangular de 36 m de lado b) Vista del escáner FARO. | 20 |
| Gráfico 8. Tiempos medios de trabajo del escáner láser por parcela. | 21 |

RESUMEN

La práctica usual en los inventarios forestales es el levantamiento en campo de parcelas y medición de las variables dendrométricas mediante los procedimientos tradicionales. Un método alternativo de muestreo es la utilización del escáner láser terrestre para la extracción de las métricas de los árboles en las parcelas. En este trabajo se evaluó la precisión y eficiencia del método de inventario forestal mediante escáner láser terrestre (TLS) para la determinación de variables dasométricas en las plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn). Para este trabajo se establecieron parcelas de 500 m² en plantaciones de teca en tres predios de la región Costa de Ecuador donde se midieron sus variables dendrométricas principales, diámetro, altura y radios de copa. En las mismas ubicaciones se realizaron mediciones TLS y se extrajeron las métricas a las mismas variables medidas en el inventario tradicional, además se determinaron los tiempos de trabajo en cada método de inventario. Mediante la prueba T de Student se contrastaron las estimaciones de los índices dasométricos para cada tipo de método de inventario y se determinó la eficiencia relativa del método TLS con respecto al tradicional, como resultado se obtuvo que la prueba de contrastes no detectó diferencias entre tipos de muestreo para ninguna de las variables y tiempos de trabajo. Los valores de eficiencia relativa evidenciaron cierta superioridad del método TLS sobre el método tradicional de inventario, los resultados obtenidos afirman que ambos métodos son suficientemente precisos, los errores, eventualmente, pueden ser atribuibles a los procedimientos instrumentales de medición en el inventario terrestre.

Palabras claves: *Tectona grandis* Linn, scanner láser terrestre, inventario forestal, dasometría

ABSTRACT

The usual practice in forest inventories is the field survey of plots and measurement of dendrometric variables using traditional procedures. An alternative method of sampling is the use of the terrestrial laser scanner for the extraction of tree metrics in the plots. In this work the precision and efficiency of the forest inventory method was evaluated by means of a terrestrial laser scanner (TLS) for the determination of dasometric variables in teak plantations (*Tectona grandis* Linn). For this work, 500 m² plots were established in teak plantations on three farms in the Costa de Ecuador region where their main dendrometric variables, diameter, height and cup radii were measured. In the same locations, TLS measurements were made and the metrics were extracted to the same variables measured in the traditional inventory, in addition the work times in each inventory method were determined. By means of the Student's T test, the estimates of the dasometric indices for each type of inventory method were contrasted and the relative efficiency of the TLS method with respect to the traditional one was determined, as a result it was obtained that the test of contrasts did not detect differences between types of Sampling for any of the variables and working times. The relative efficiency values showed some superiority of the TLS method over the traditional inventory method, the results obtained affirm that both methods are sufficiently precise, the errors, eventually, can be attributable to the instrumental procedures of measurement in the terrestrial inventory.

Keywords: *Tectona grandis* Linn, terrestrial láser scanner, forest inventory, dasometry

1 INTRODUCCIÓN

Los bosques proveen maderas y otras materias primas para satisfacer las necesidades de la sociedad y también tienen mucha importancia en la conservación de la biodiversidad y en mitigar los efectos del cambio climático gracias a su capacidad de ser grandes receptores de CO₂.

En los últimos 30 años en Ecuador la teca (*Tectona grandis* Linn. F.) ha alcanzado niveles notables de presencia en los planes de reforestación con los fines de producción de madera. La teca es una especie proveniente del continente asiático que es muy valorada en el mercado de la madera por sus características estéticas, de trabajabilidad y durabilidad.

En el 2013, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca de Ecuador promovió la plantación de teca como parte de un programa gubernamental de incentivos para la reforestación con la finalidad comercial, que establecía una meta de 120 000 ha de nuevos bosques plantados en cinco años (MAGAP, 2014).

Aproximadamente el 40 % de la superficie total de plantaciones promovidas por este programa gubernamental resultaron ser de teca. Sin embargo, los avances en los objetivos sugeridos, expresados como área reforestada, han sido más bien modesto, teniendo dificultad en encontrar cifras confiables sobre las nuevas plantaciones de teca debido a la falta de inventarios actualizados.

Para encontrar una forma de hacer frente a las necesidades de información sobre superficies, crecimiento y rendimiento de las plantaciones forestales antes mencionadas se requiere de la realización más ágil y eficiente de los inventarios de bosques, en este sentido se quieren implementar los recientes desarrollos de las tecnologías de teledetección que han proporcionado nuevos tipos de dispositivos que tienen mejores

capacidades para el registro de información espacial desde plataformas satelitales, aéreas y terrestres, mediante procedimientos especialmente adecuados para ser aplicados en los inventarios forestales.

Este nuevo enfoque para la realización del inventario forestal que utiliza tecnologías avanzadas de detección remota, como es el escáner láser terrestre (TLS), el escáner láser aerotransportado (*Airborne Láser Scanning; ALS*) y la estéreo fotogrametría digital (DAP; *Digital Aerial Photogrammetry*), que cuando se combinan con los métodos tradicionales de inventario terrestre, permiten generar una información más actualizada, precisa y eficiente sobre el desarrollo y evolución del bosque.

El Trabajo de Titulación se inserta en el contexto del proyecto de investigación institucional de la UCSG titulado “Evaluación de tecnología de detección remota para la estimación de biomasa de Teca en la Región Costa del Ecuador” el cual provee los datos dendrométricas obtenidos en los inventarios realizados en este proyecto, los que son utilizados en esta investigación para la obtención del grado en Ingeniería Agropecuaria mediante un estudio con enfoque cuantitativo y alcance empírico y correlacional y los objetivos que a continuación se indican.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general.

Evaluar el uso del escáner láser terrestre (TLS) para el inventario de plantaciones de teca en la Región Costa de Ecuador.

1.1.2 Objetivos específicos.

Comparar la precisión del inventario forestal de las plantaciones de teca mediante técnicas de teledetección basadas en el escáner láser terrestre y el método tradicional de muestreo forestal.

Determinar el efecto del tamaño de la parcela de medición mediante escáner láser terrestre en la precisión de la estimación de variables dendrométricas de las plantaciones de teca.

Comparar la eficiencia del inventario forestal de las plantaciones de teca mediante técnicas de teledetección basadas en el escáner láser terrestre y el método tradicional de muestreo forestal.

1.2 Hipótesis

Los inventarios forestales realizados mediante técnicas de teledetección son más precisos y eficientes que los inventarios tradicionales.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Plantaciones de teca

La teca (*Tectona grandis* L. f.) es una de las especies más cultivadas del mundo ocupando un setenta y cuatro por ciento del total de maderas duras tropicales plantadas alrededor de este, por ello es considerada una de las especies más importantes de su categoría (Escamilla, Obrador, Carrillo y Palma, 2015).

En 2013, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca del Ecuador (MAGAP) recomendó el establecimiento de nuevas plantaciones forestales con el objetivo de reforestar el área y a la vez obtener un beneficio comercial, económico para el país en la zona costera y amazónica esto forma parte de un programa gubernamental para fomentar la reforestación con fines comerciales (MAGAP, 2014).

El cultivo de teca es un área forestal de gran importancia para la economía del Ecuador que cuenta con más de 40 000 hectáreas plantadas y es una fuente importante de ingresos de divisas para el país gracias a su exportación. La superficie sembrada de este cultivo ha incrementado en gran cantidad los últimos años, lo que ha causado la aparición de nuevas problemáticas (Vera et al., 2018).

2.2 Inventarios forestales

Los inventarios forestales son metodologías para recopilar datos sobre recursos forestales en un área determinada, que pueden utilizarse para evaluar el estado actual del bosque, el ecosistema natural, los componentes asociados, características de la superficie del terreno y muchos otros. El diseño del inventario depende de los objetivos planteados. (Kershaw Jr, Ducey, Beers y Husch, 2017).

Los inventarios forestales tradicionalmente han sido diseñados para recopilar información relacionada con el manejo de los bosques naturales, las plantaciones y su explotación; En la actualidad, los inventarios forestales incluyen otros objetivos relacionados con aspectos de la biodiversidad, la producción de biomasa y el secuestro de carbono. En este sentido, Bahamondez, Lorenz, Mery y Varjo (2005) enfatizan la necesidad de información global para la generación de modelos de manejo de ecosistemas forestales, teniendo en cuenta los efectos del cambio global, la desertificación, la producción de agua y sus interacciones con la biosfera.

Según Bahamondez et al. (2005), llevar a cabo un inventario forestal requiere la recopilación de datos de calidad y representativos, tanto cuantitativos como cualitativos, en diferentes escalas espaciales, de modo que la preparación de mapas determine la extensión de las áreas Terrestres de interés forestal y otras características que son de particular importancia, Köhl, Magnussen y Marchetti, (2006); Kershaw, et al. (2016), entre otros, señalan que los datos se obtienen de imágenes, utilizando sensores montados sobre diferentes plataformas y luego son integrados mediante sistemas de información geográficos.

2.2.1 Tipos de inventarios forestales.

La clasificación de inventarios según el objetivo a cumplir son los siguientes: (Vílchez, 2002).

- Inventario exploratorio
- Inventario para manejo de bosques naturales
- Inventario para aprovechamiento forestal
- Inventario para manejo de plantaciones

En su estudio Mora (2019) estableció el proceso para el diseño de inventarios forestales (p. 26); en general, los pasos principales para diseñar un inventario forestal por muestro son:

Definir los objetivos del inventario, madera, silvicultura, biodiversidad, biomasa, secuestro de carbono.

Determinar el tamaño del área de estudio y el uso espacial de la información cartográfica de la zona objeto de estudio, fotografías aéreas y satelitales y la implementación de tecnologías de sistemas de información geográficos (SIG).

Seleccionar el tipo de muestreo a aplicar, probabilístico o no probabilístico, y defina el método para seleccionar la muestra de población, con o sin reemplazo.

Determinar el tipo de unidad de muestreo en términos de tamaño, área y forma, si prefiere unidades de muestreo de superficie fija, en lugar de unidades variables o parcelas, como en el caso del método Bitterlich.

Determinar el tamaño de la muestra, este es el número de unidades de muestra, utilizando la formulación estadística y / o prefijando la intensidad de muestreo:

Establecer procedimientos para medir, registrar, monitorear, procesar e informar resultados.

Durante la última década, el uso de TLS para inventarios forestales a gran escala y la evaluación de la contribución de los macizos forestales a la mitigación del cambio climático se ha incrementado considerablemente a través del desarrollo del mapeo de la evolución del uso de la tierra y la determinación de las tasas de cambio en el almacenamiento de carbono (Hirata et al., 2018). Los sistemas de láser de exploración TLS y escáner láser aerotransportado (ALS), así como la estereofotogrametría aérea de muy alta resolución de las cámaras aéreas convencionales o los vehículos aéreos no tripulados (RPAP) capturan gran parte de la investigación y el desarrollo del monitoreo forestal a pequeña y mediana escala, que nos permite estimar, mediante el tratamiento adecuado de la "nube de puntos", diversos parámetros biofísicos y estructurales de la masa forestal relacionados con la biomasa asociada, y con la distribución espacial del carbono almacenado por

el bosque (Aguilar y Mills, 2008, Aguilar, Nemmaoui, Aguilar y Peñalver, 2019, Goodbody, Coops, Hermosilla, Tompalski y Crawford, 2018, White et al., 2016).

Una alternativa reciente y complementaria a la fuente de datos multiespectral sería la representada por imágenes satelitales de alta y mediana resolución (White et al., 2016). Las imágenes satelitales se caracterizan por una buena resolución geométrica y radiométrica, y una gran área de cobertura a un costo relativamente bajo, o incluso gratis en algunos casos, en comparación con las imágenes aéreas. Estas características los hacen ideales, al menos potencialmente, para realizar inventarios forestales a gran escala y monitorear un proceso previo de calibración y desarrollo de modelos de regresión a partir de datos de campo extraídos de un conjunto apropiado de parcelas piloto (Fernández O., Fernández A. y Quintano, 2014; Hirata, et al., 2018; Immitzer, Stepper, Böck, Straub y Atzberger, 2016; Kumar, Sinha, Taylor y Alqurashi, 2015; Maack, et al.; 2015).

Aunque la detección remota de imágenes satelitales es de muy alta resolución, como la captura de datos con escáner láser o la estereofotogrametría RPAS, son métodos prometedores para mapear la biomasa forestal y otras variables relacionadas. Debido a la capacidad del bosque para proporcionar servicios de los ecosistemas, estos métodos siguen siendo relativamente costosos y son adecuados solo para trabajos de pequeña y mediana escala (Kumar et al., 2015). En este sentido, el uso de series multitemporales de imágenes satelitales, multiespectrales de resolución espacial media y acceso abierto, como las imágenes del programa Landsat (USGS, 2018) o el Programa Europeo Centinela (ESA, 2019), permite el monitoreo del bosque a través del cálculo de índices de vegetación y su correlación con las variables biofísicas del bosque utilizando técnicas estadísticas (Das y Singh, 2016). Sin embargo, se necesitan más estudios para verificar la capacidad de monitoreo de la masa forestal desde imágenes de satélites ópticos o radares de resolución temporal de alta resolución, como

los proporcionados por los satélites Sentinel 1A y 1B y Sentinel 2A y 2B (Immitzer, et al., 2016).

2.3 Escáner Láser Terrestre

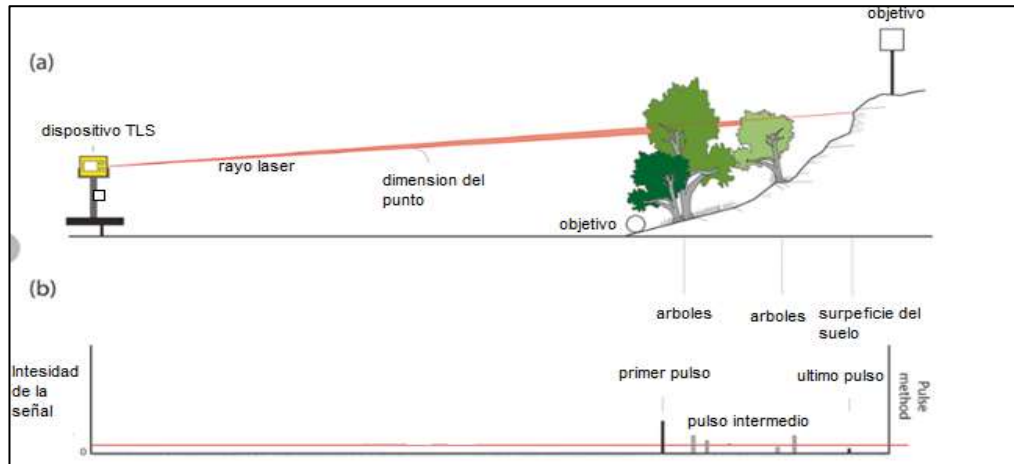
El uso de sensores remotos, como la tecnología LiDAR y sus alternativas, como TLS (escáner láser terrestre), SLA (escáner láser aéreo), estereofotogrametría aerotransportada de resolución ultra alta o imágenes satelitales multiespectrales (Kershaw, et al., 2017 White, et al., 2016) son estrategias alineadas con el concepto conocido como silvicultura de precisión, según la definición de Bare (2001). El objetivo de esta nueva disciplina sería desarrollar técnicas y procedimientos para aumentar la precisión de la extracción de datos forestales para mejorar el apoyo a la toma de decisiones para la gestión forestal y lograr la estimación de su valor económico y ambiental.

El rápido desarrollo de los dispositivos portátiles de escaneo láser terrestre (TLS) en los últimos años ha llevado a una mayor atención a su aplicabilidad para los inventarios forestales, especialmente cuando las mediciones directas son muy caras o casi imposibles. Sin embargo, en términos de precisión y reproducibilidad, todavía hay algunas preguntas pendientes (Abegg, Kükenbrink, Zell, Schaepman y Morsdorf, 2017).

El TLS es un instrumento capaz de capturar información topográfica y geométrica de cualquier estructura con una precisión milimétrica. Además, en algunos casos, capturan información radiométrica de los objetos escaneados (Porras, Cáceres, Gallo, 2014). El resultado es una nube de puntos con una geometría muy detallada y un alto grado de precisión, capturados de manera rápida y eficiente (Yan, Liy Xie, 2010).

A continuación, se ilustra el principio de funcionamiento del escáner láser:

Gráfico 1. a) bosquejo del principio de funcionamiento de LiDAR que muestra el dispositivo TLS, el rayo láser y la dimensión del punto. (b) Intensidad de la señal



Fuente: Franz, Carrea, Abellan, Derron, Jaboyedoff, (2016).

A lo largo de la última década, ha habido un aumento notable en el uso de los sistemas de escáner láser para el modelado 3D de superficies y aplicaciones para la gestión de bosques e inventario, planificación urbana, diseño de caminos, modelado de recursos naturales, entre otras aplicaciones, información sobre el tema se puede encontrar en (Aguilar y Mills, 2008, Aguilar et al., 2019, Bauwens, Bartholomeus, Calders, Bauwens y Bartholomeus, 2016).

El análisis multitemporal que utiliza estas técnicas permite estimar la evolución de la biomasa a lo largo del tiempo y conocer su vulnerabilidad al cambio climático, incendios, plagas y enfermedades, períodos de sequía y / o actividades antropogénicas. La tecnología LiDAR, combinada con la estereofotogrametría de las cámaras digitales (vehículos aéreos convencionales o aéreos no tripulados), aumenta la eficiencia y el volumen de adquisición de datos, en 2D y 3D, que se pueden usar como insumos para los modelos para estimar variables biofísicas de interés forestal. Hay principalmente dos sistemas LiDAR utilizados en el inventario forestal. Primero, aquellos cuyo impulso reflejado cubre un área terrestre relativamente grande (forma de onda de cavidad grande), en cuyo caso se registra un perfil

continuo de la intensidad de la señal reflejada, en segundo lugar, los de pequeña huella que registran distintos rendimientos para cada pulso a partir del cual se obtienen la intensidad y la posición 3D de cada retorno o eco (Lefsky, Cohen, Parker y Harding, 2002). Como en el caso de imágenes aéreas o satelitales de naturaleza óptica, las nubes de puntos LiDAR requieren un procesamiento manual más o menos intenso para extraer toda la información semántica que contienen (Zhang, 2010).

La clasificación de las nubes de puntos generalmente es un requisito previo para muchas aplicaciones como, por ejemplo, el modelado de vegetación, lo que la convierte en una línea de investigación muy actual y donde se realizan esfuerzos muy importantes para automatizar el proceso y obtener la extracción de información. Hay varios paquetes de software disponibles para la extracción manual de información forestal desde la visualización de la nube de puntos (McGaughey, 2013), desarrollado por el Departamento de Agricultura de EE. UU. Servicio Forestal del USDA). Algunos métodos automáticos o semiautomáticos se han publicado durante la última década y se refieren a la extracción y medición de árboles individuales. Entre ellos, podemos destacar aquellos basados en objetos (Falkowski, et al., 2008), filtros locales máximos (Brandtberg, Warner, Landenberger y McGraw, 2003), filtros de ventana variable (Popescu y Wynne, 2004), segmentación de imagen (Chen, 2007), umbrales de curvatura (Evans y Hudak, 2007) y análisis espacial de wavelets (Falkowski et al., 2008).

La mayoría de los métodos existentes para la delineación automática de árboles se basan en el uso de información espectral (imágenes 2D que contienen más o menos bandas espectrales) y modelos de altura de copa derivados de datos LiDAR (Modelo de Canopy Height, CHM). Estos se generan por interpolación desde los puntos del primer retorno de LiDAR y son, en la práctica, el área de superficie superior del modelo digital de superficie (MDS). En general, CHM se refiere a un modelo ráster de alturas estandarizadas (MDS_n), el resultado de la diferencia entre los píxeles entre el

MDS y el MDE (es decir, $MDS_n = MDS-MDE$). Como ya han señalado varios autores (Aguilar, et al., 2010), el proceso de pixilación de LiDAR apunta a formar los productos CHM. Errores inherentes al proceso de interpolación, por lo que la delineación precisa de la proyección cenital de las copas de los árboles o su segmentación generalmente se ve afectada significativamente.

La revisión del tema muestra claramente la necesidad de nuevos métodos y algoritmos para la segmentación de árboles aislados como resultado del uso de la nube de puntos 3D LiDAR original. Las aproximaciones propuestas por (Morsdorf, Meier, Allgöwer y Nüesch, 2003) por segmentación de árboles aplicando el método K-means a la nube de puntos LiDAR original, o la desarrollada por (Lee, Slatton, Roth y Cropper, 2010), basadas en una agrupación de puntos LiDAR 3D adaptativos similares al método de segmentación 2D basado en la delineación de cuencas en el CHM, se encuentran algunas de las alternativas que se pueden encontrar en la bibliografía que aprovechan la riqueza geométrica de la nube de puntos LiDAR original.

Esta es la razón por la que la tecnología de escaneo láser terrestre (TLS), sin duda, tiene el potencial de cambiar este estado de cosas y proporcionar perspectivas 3D reales para la investigación en ecología y dinámica forestal. Es muy prometedor para la recopilación de información espacial en bosques debido a su excelente precisión de medición, velocidad de adquisición y nivel de detalle. El TLS puede adquirir niveles de detalle mucho más allá de las capacidades de escaneo láser desde el aire. Por lo tanto, se puede utilizar para describir la vegetación forestal en árboles individuales, incluidos los subárboles juveniles (Trochta, Martin Kruecek, Tomáš Vrška, Kamil Král, 2017).

Por lo tanto, se han desarrollado distintos programas como 3D Forest, que es un software para describir la estructura 3D del bosque a través de la configuración de árboles individuales y sus copas. La aplicación tiene una

interfaz gráfica (GUI) fácil de usar, adecuada para no expertos en el procesamiento de datos TLS. Proporciona una solución para calcular los siguientes parámetros del árbol: posición de la base del árbol, DAP, altura del árbol, curva del tallo, proyección del árbol y parámetros de la corona como el centroide de la corona, desviación de la posición de la corona, la altura de la base de la corona, el tamaño de la corona (altura, longitud, anchura), el volumen y la superficie de la corona convexa o el volumen cóncavo y la posición de las intersecciones de las coronas de la corona, así como la capacidad de producir un detalle digital Modelo de terreno (DTM) de la parcela de estudio (Trochta et al., 2017).

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Población objeto de estudio

La población objeto de estudio la constituyen las plantaciones de teca ubicadas en las provincias de Guayas y Los Ríos, de la Región Costa del Ecuador, las plantaciones seleccionadas como áreas de trabajo se sitúan en los predios Morondava ($2^{\circ} 6'11.72''$ S, $80^{\circ} 2'59.43''$ W), El Tecal ($1^{\circ} 31'53.07''$ S, $80^{\circ} 2'30.51''$ W) y Allteak ($1^{\circ} 8'7.23''$ S, $79^{\circ} 41'58.08''$ W).

3.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es no experimental, de tipo transaccional, con un alcance descriptivo y correlacional para probar las hipótesis sobre la precisión y eficiencia de esta tecnología de teledetección para realizar inventarios forestales en comparación con las metodologías del inventario forestal tradicional (PC).

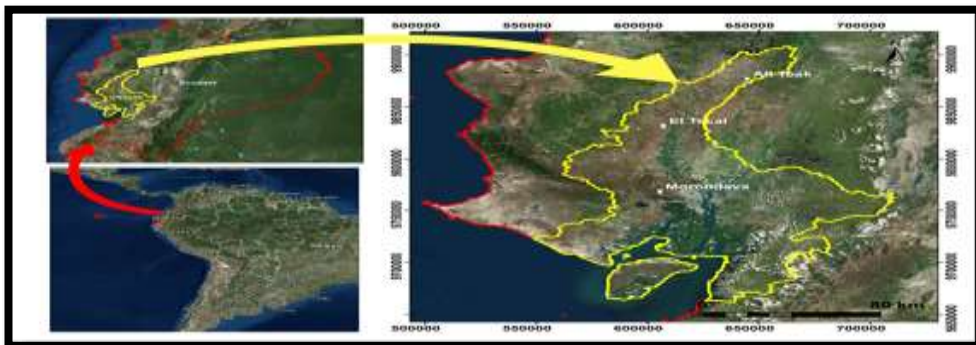
Las características generales de las plantaciones seleccionadas se describen en el Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los predios de estudios

| Predio | Superficie (ha) | Edad (años) |
|-----------|-----------------|-------------|
| Morondava | 78.28 | 2-3 |
| El Tecal | 21.12 | 17 |
| Allteak | 57.22 | 4, 10, 12 |

Fuente: Peñalver, (2018)

Gráfico 2. Localización de las tres plantaciones de teca objeto del estudio, predios Morondava, El Tecal y All Teak.



Fuente: Peñalver, (2018)

El clima de la región donde se ubican las plantaciones se caracteriza por una precipitación promedio de aproximadamente 1 222 mm, con una temperatura media de 24.4 °C y una humedad relativa del 72.9 % (Flores Velasteguí, Cabezas Guerrero, Crespo Gutiérrez, 2010). Perteneció al llamado Bosque Seco Tropical (Holdridge, 1982), que se caracteriza por un régimen de lluvia unimodal muy típico con un período de lluvia en el primer trimestre del año y una marcada sequía durante el resto del año estas condiciones climáticas provocan una fenología forestal estacional impulsada por el clima presentando temporadas alternas de follaje (de enero a julio) y sin follaje (de septiembre a diciembre).

3.3 Inventario forestal

3.3.1 Inventario forestal tradicional.

Durante los meses de marzo a mayo de 2018 y utilizando metodologías de muestreo probabilístico estratificado aplicadas a los inventarios forestales tradicionales (PC), se levantaron un total de sesenta y dos parcelas de superficie fija, con forma circular de 500 m² cada una (radio de 12.62 m), utilizando el método de muestreo simple aleatorio sin reemplazo, donde se midieron las diferentes variables dasométricas que permiten determinar el desarrollo y estado de las plantaciones de teca. Las parcelas se distribuyeron de acuerdo a la superficie de las plantaciones seleccionadas para el estudio de acuerdo a la intensidad de muestreo de 2 %.

3.3.2 Metodología de inventario.

Cada árbol perteneciente a una parcela de muestreo fue marcado y numerado con pintura y se midieron sus variables dendrométricas aplicando los procedimientos de medición y registro de datos propios de la Dasometría, Kershaw et al., (2017), los símbolos de las variables y sus definiciones corresponden a los establecidos por IUFRO (Soest, Ayrál, Schober y Hummel, 1969). Las coordenadas del centro de cada parcela y árbol fueron registradas mediante la técnica GPS-RTK, en los gráficos 3, 4 y 5 se muestran los mapas donde se indican las posiciones geodésicas de las parcelas en las

plantaciones objeto de estudio. También se anotó el tiempo de establecimiento de la unidad de muestreo y de medición de árboles.

3.4 Variables

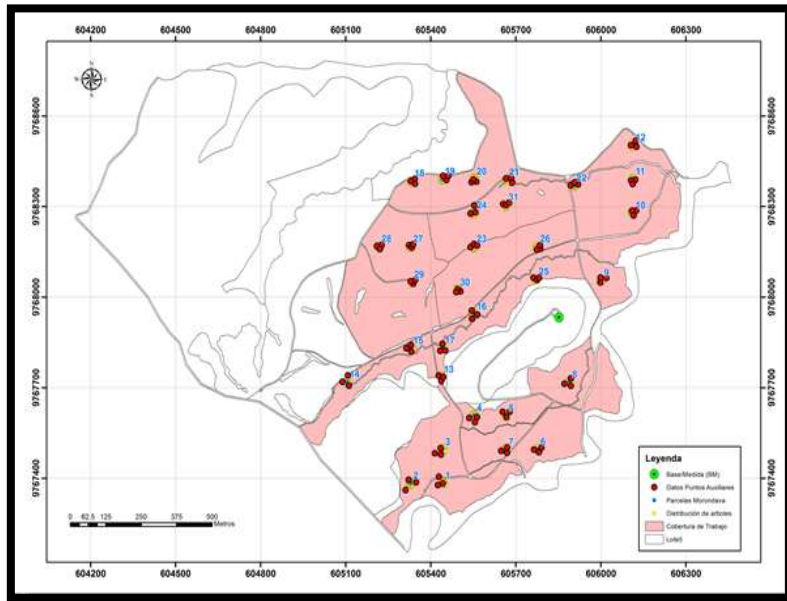
Las variables dendrométricas de medición directa instrumental seleccionadas para la presente investigación fueron el diámetro de referencia, la altura total y radio de copas de cada árbol al interior de la parcela, los valores fueron obtenidos de los registros de campo del inventario forestal en la Tabla 2 se indica la operacionalización de las variables.

Tabla 2. Operacionalización de variables de medición directa obtenidas en las parcelas de inventario tradicional.

| Variable | Símbolo | Definición | Unidad de medida | Instrumento |
|-----------------|---------|---|------------------|---------------|
| Diámetro normal | d | Diámetro medido a la altura de 1.3 m del suelo | cm | Cinta métrica |
| Altura total | h | Altura total del árbol desde el suelo hasta el ápice/punto final de la copa | m | Hipsómetro |
| Radio de copa | r | Radio de la proyección horizontal de la copa sobre el suelo, se miden cuatro radios, norte, sur, este y oeste | m | Cinta métrica |

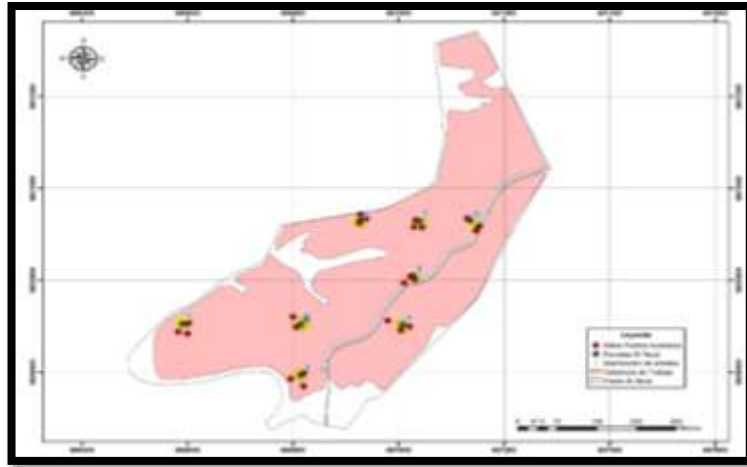
Elaborado por: La Autora

Gráfico 3. Distribución de parcelas en el Predio Morondava.



Fuente: Peñalver, (2018)

Gráfico 4. Distribución de parcelas en el Predio El Tecal.



Fuente: Peñalver, (2018)

3.5.1 Metodología de inventario digital (teledetección).

Se utilizó el escáner FARO Focus 3D X330, Gráfico 6. Éste escáner captura casi un millón de puntos por segundo con precisiones milimétricas y con un alcance de unos 330 metros, el equipo incluye cámara RGB DE 70 Mp, se realizaron pruebas previas para definir los parámetros óptimos en calidad y tiempo (Aguilar et al., 2019). Se configuró el escáner en modo Outdoor a más de 20 m levantando en cada escaneo casi 28 millones puntos con un tamaño de 8 192 X 3 414 por punto, cada punto medido en el campo fue comprobado 4 veces. Se tomaron imágenes RGB panorámicas para colorear la nube de puntos 3D y para asegurar la óptima calidad de los escaneos, todos los sensores que incorpora el escáner fueron activados (i.e., GPS, inclinómetro, brújula y altímetro).

En cada parcela se realizaron cuatro escaneos (gráfico 7a), que fueron posteriormente co-registrados y fusionados en el mismo sistema de referencia mediante la ayuda de nueve esferas de referencia, de 15 cm de diámetro y color blanco (gráfico 7b), que el software Scene™ (licencia de la Universidad de Almería) es capaz de detectar automáticamente en la nube de puntos, estas esferas fueron colocadas con la ayuda de unas estacas de hierro para asegurar que al menos tres esferas fuesen visibles desde cada dos escaneos consecutivos.

Una vez co-registrados los cuatro escaneos, se procedió a su georreferenciación aplicando una transformación 3D de coordenadas basada en las coordenadas de cuatro esferas de referencia medidas con GPS.

A las nubes de puntos TLS se les aplicó un clip circular de 18 m de radio (gráfico 7a). La alta calidad y la precisión de estas nubes de puntos permitieron obtener modelos MDT de muy alta precisión para cada parcela mediante un algoritmo basado en octrees que son una estructura de datos que proveen una eficiente representación volumétrica del espacio tridimensional (3D) (Zafra, 2015) y la obtención de parámetros biométricos

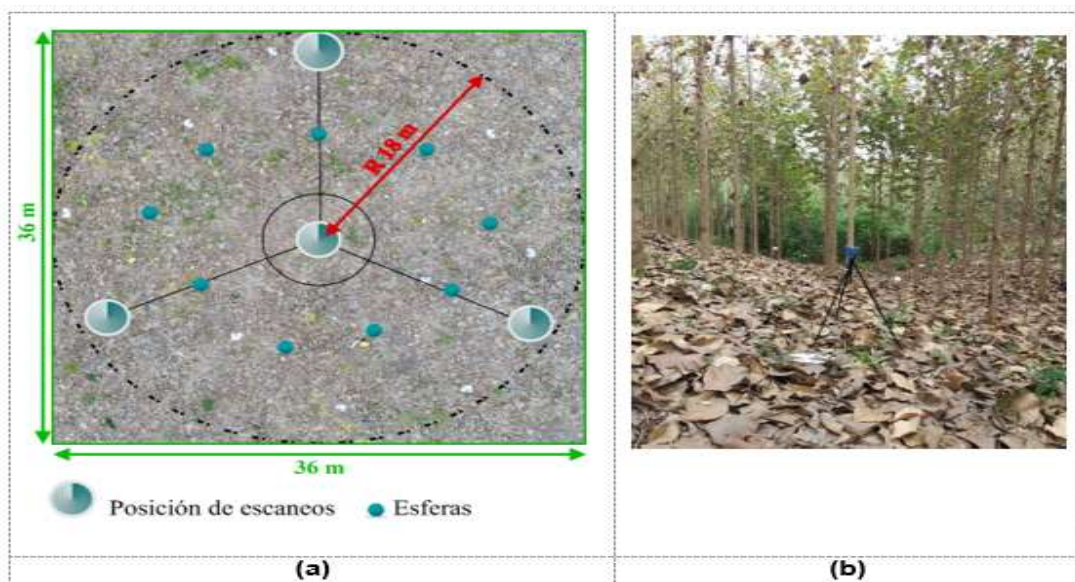
relevantes a escala de árbol individual como posición, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura máxima, variación del diámetro con la altura, entre otros.

Gráfico 6. Escáner Láser Terrestre.



Fuente: Peñalver, (2018)

Gráfico 7. Levantamiento de datos con el escáner TLS: a) posición de los cuatro escaneos y los clips de referencia: en negro el clip circular de 18 m de radio y en verde el clip rectangular de 36 m de lado. b) Vista del escáner FARO.

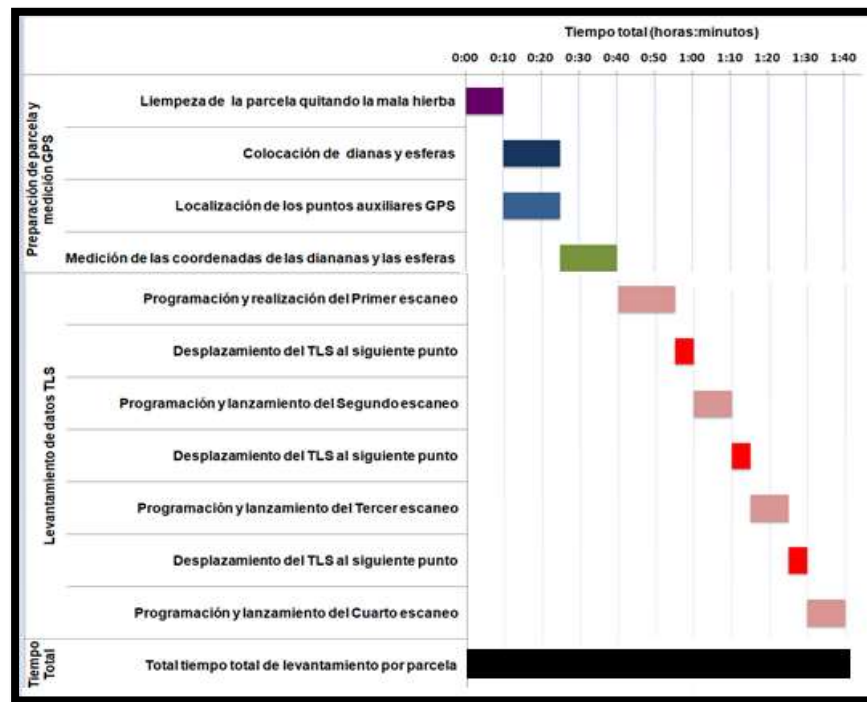


Fuente: Peñalver, (2018)

Partiendo de las nubes de puntos 3D obtenidas mediante el escáner TLS y recortadas según una geometría circular de 18 m de radio,

corregistradas y pre procesadas se procedió a su segmentación utilizando el software libre 3DForest (Trochta et al., 2017) mediante el cual se extrajeron las métricas correspondientes a las variables de interés para la investigación, diámetro, altura y radio; y se midieron los tiempos del trabajo del escáner láser terrestre.

Gráfico 8. Tiempos medios de trabajo del escáner láser por parcela.



Fuente: Peñalver, (2018)

Nota: los tiempos de trabajo se midieron por parcela.

3.6 Metodología para comparar la precisión del inventario TLS y el inventario tradicional PC

Para evaluar la precisión de los métodos de inventarios forestales, TLS y PC, se aplica la prueba de T de Student para muestras independientes a los promedios muestrales obtenidos para cada predio (plantación) de las variables dendrométricas seleccionadas para el contraste estadístico.

Las variables dendrométricas seleccionadas son altura total (h), diámetro normal o diámetro a 1.3 m, también conocido como diámetro a la

altura del pecho (d) el radio de copa (r), las cuales son las variables dendrométricas básicas, de medición directa instrumental, en las metodologías de inventario forestal.

3.7 Metodología para evaluar el efecto del tamaño de la parcela de medición mediante escáner láser terrestre

Para evaluar el efecto del tamaño de la parcela de medición mediante escáner láser terrestre en la precisión de las variables dendrométricas se aplica un recorte a la parcela original TLS de 1 018 m² (radio parcela 18 m) para reducirla a 500 m² (radio parcela 12).

Para convertir la parcela medida originalmente por TLS con un radio de 18 m, 1 018 m², al tamaño de 12.62 m, área de 500 m² (tamaño de la parcela del PC), se copiaron los datos de la parcela original TLS en el tabulador de datos Excel®, incluyendo el valor de la distancia desde el centro de la parcela a cada árbol, calculado por el programa 3DForest con las coordenadas de cada árbol y las del centro de la parcela, para realizar el recorte se usó una fórmula condicional de la biblioteca Excel®, para eliminar todos los árboles que estuviesen a una distancia del centro de la parcela mayor a 12.62 m. Con la información dendrométrica de los árboles de la parcela “recortada” se calcularon los valores promedios por parcela de diámetro, altura y radio.

Para el contraste de las precisiones obtenidas en la estimación de los promedios de las variables dendrométricas calculadas de la muestra de parcelas TLS de radio 18 m y las correspondientes a la parcela “recortada” a radio 12.62 m se aplica la prueba de T de Student para muestras independientes, las comparaciones se hacen para cada predio o plantación.

3.8 Metodología para comparar la eficiencia del inventario forestal mediante teledetección y tradicional de las plantaciones de teca

Para la evaluación de la eficiencia relativa del método de inventario por teledetección versus la PC se utilizará el procedimiento descrito por Kershaw et al., (2016, p. 304).

La ecuación que se muestra a continuación estima la eficiencia de la unidad de muestreo dos en relación a la eficiencia de la unidad de muestreo uno. Si $e > 1$ indica que la unidad de muestreo dos se llevó a cabo de una forma más eficiente que la unidad de muestreo uno (muestreo de referencia) y viceversa.

$$e = \frac{(S_X)_1^2 t_1}{(S_X)_2^2 t_2}$$

Dónde:

$S_X 1$ = error estándar (en porcentaje) para una unidad de muestreo como base de comparación.

$S_X 2$ = error estándar (en porcentaje) para la otra unidad de muestreo a comparar.

t_1 = tiempo para llevar a cabo la unidad de muestreo de referencia.

t_2 = tiempo para llevar a cabo la unidad de muestreo comparada.

Los valores de tiempo fueron obtenidos a partir de los registros de mediciones en las parcelas de inventario tradicional superficie fija y en la de TLS.

Se realizó una prueba t para contrastar los tiempos y evaluar la hipótesis de nulidad de las medias de tiempos de trabajo para cada tipo de parcela de inventario.

3.8.1 Técnicas y programas estadísticos.

Se aplicaron metodologías de estadística descriptiva e inferencia. Mediante el tabulador electrónico Excel® se preparan los datos de inventario para su procesamiento y cálculo de las medidas de tendencia central, dispersión, así como el error de muestreo de las variables dendrométricas. Mediante el paquete estadístico INFOSTAT se aplicarán las pruebas de contraste de las diferencias de medias entre las variables objeto de estudio y los métodos de inventario evaluados, asumiendo una completa aleatorización de las unidades de muestreo.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados de la comparación de la precisión del inventario TLS y el inventario tradicional PC.

En el primer objetivo se planteó evaluar la precisión de los métodos de inventario forestal TLS y PC; donde se aplicó una prueba de t de Student para muestras independientes a los promedios muestrales obtenidos para cada variable dasométricas seleccionadas de los tres predios, Tabla 3.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos e inferenciales para el contraste de los promedios muestrales de las parcelas PC y TLS.

| Predio | Variable | Unidad de medida | PC | | | TLS | | P valor | Significación |
|-----------|----------|------------------|----|--------|-------|--------|-------|---------|---------------|
| | | | N | M | SE | M | SE | | |
| Morondava | d | m | 28 | 0.081 | 0.003 | 0.083 | 0.003 | 0.5521 | n.s. |
| | h | m | 28 | 7.369 | 0.290 | 8.334 | 0.329 | 0.0322 | * |
| | r | m | 28 | 1.583 | 0.045 | 1.065 | 0.048 | 0.0001 | * |
| All Teak | d | m | 20 | 0.147 | 0.012 | 0.169 | 0.007 | 0.1146 | n.s. |
| | h | m | 20 | 13.587 | 1.024 | 16.231 | 0.576 | 0.0317 | * |
| | r | m | 20 | 2.157 | 0.137 | 2.135 | 0.092 | 0.8947 | n.s. |
| El Tecal | d | m | 8 | 0.126 | 0.010 | 0.131 | 0.008 | 0.4094 | n.s. |
| | h | m | 8 | 12.438 | 1.127 | 13.760 | 0.964 | 0.3876 | n.s. |
| | r | m | 8 | 1.860 | 0.139 | 1.480 | 0.105 | 0.0468 | * |

Nota: d, diámetro; m, metros; h, altura; r, radio de copa; n, número de parcelas; M, media; SE, error estándar; P valor, nivel de significación; n.s., no significativa; *, significativa; PC, parcela de campo; TLS, parcela escáner láser terrestre.

Elaborado por: La Autora.

Los estadísticos inferenciales de la prueba de t indican que no hay evidencia estadística que permita rechazar la hipótesis de nulidad (ver anexos gráfico A1, A2,A3) de la diferencia de medias para la variable diámetro, no habiendo diferencias entre los métodos de muestreo aplicados para su estimación, sin embargo para la variable altura se encontró diferencias significativas para los muestreos en los predios Morondava y All Teak y no

significativo en el Tecal (ver anexos gráficos A4, A5, A6); para la variable radio de copas se encontró significación estadística entre los predios Morondava y El Tecal, y no se evidencio diferencias en All Teak (ver anexos gráficos A7, A8, A9).

Los dos métodos de inventario contrastados no evidencian diferencias para la medición del diámetro, dado que en el proceso de medición terrestre (PC) la determinación del diámetro o circunferencia del árbol se realiza con cinta por lo que se asume libre de errores instrumentales u operación en su medición, por su parte la tecnología TLS también tiene alta precisión en la medición de métricas de los objetos a distancia, cuestión que ha sido confirmada en publicaciones sobre este tema (Mohammed, Majid, Izah, 2018; Wagner, 2018).

Las diferencias encontradas en las estimaciones de los promedios de las variables altura en la plantación Morondava y All Teak pueden ser atribuibles a los errores de medición terrestre de esta variable por medio del hipsómetro láser, dada la dificultad en visualizar el ápice del árbol por el operador del instrumento. Para la variable radio, las diferencias pueden ser consecuencia de la condición fenológica del árbol por el cambio de estación climática (de época lluviosa a seca), de árboles con hojas al momento de la medición PC, mes de marzo, a sin hojas durante la medición TLS, mes de noviembre.

4.1.2 Resultado de la evaluación del efecto del tamaño de la parcela de medición mediante escáner láser terrestre.

En el segundo objetivo específico se planteó evaluar el efecto de la reducción del tamaño de la parcela TLS en la medición de la variables dendrométricas, para ello se aplicó un recorte a la parcela original TLS que tenía un tamaño de 1 018 m² (radio 18 m) para reducirla a 500 m² (radio de parcela 12 m) y se extrajeron las métricas de los árboles que quedaron dentro de la parcela TLS reducida correspondientes a cada variable del estudio (d, h

y r copa); para el contraste se realizó una prueba de t de Student para muestras independientes, los resultados se exponen en la Tabla 4.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos e inferenciales para el contraste de los promedios muestrales de las variables obtenidas en las parcelas TLS de radio 18 m y radio 12.64m.

| Predio | Variable | Unidad de medida | N | TLS12 | | TLS18 | | P | |
|-----------|----------|------------------|----|--------|-------|--------|-------|--------|---------------|
| | | | | M | SE | M | SE | valor | Significación |
| Morondava | d | m | 28 | 0.084 | 0.003 | 0.083 | 0.003 | 0.815 | n.s. |
| | h | m | 28 | 8.393 | 0.340 | 8.334 | 0.329 | 0.902 | n.s. |
| | r | m | 28 | 1.089 | 0.052 | 1.054 | 0.048 | 0.6234 | n.s. |
| All Teak | d | m | 20 | 0.178 | 0.006 | 0.169 | 0.007 | 0.349 | n.s. |
| | h | m | 20 | 17.108 | 0.551 | 16.231 | 0.576 | 0.2782 | n.s. |
| | r | m | 20 | 2.309 | 0.102 | 2.134 | 0.092 | 0.2114 | n.s. |
| El Tecal | d | m | 8 | 0.135 | 0.008 | 0.131 | 0.008 | 0.9999 | n.s. |
| | h | m | 8 | 14.141 | 0.868 | 13.760 | 0.964 | 0.7732 | n.s. |
| | r | m | 8 | 1.590 | 0.103 | 1.480 | 0.105 | 0.4668 | n.s. |

Nota: d, diámetro; h, altura; r, radio de copa; m, metro; n, número de parcelas; M, media; SE, error estándar; P valor, nivel de significación; n.s., no significativa; *, significativa; TLS12, parcela escáner láser terrestre 12.64 m; TLS18, parcela escáner láser terrestre radio 18 m.

Elaborado por: La Autora.

Como se expone en la Tabla 4 los p-valores calculados para las tres variables estudiadas, diámetro, altura y radio de copa (d, h, r copa) no resultaron significativos (p-valor >0.05). Este resultado evidencia que en la parcela TLS de radio 12 m, equivalente a 500 m² se obtiene una precisión similar a la obtenida en la parcela de radio 18 m, el doble de tamaño, con menos trabajo en la extracción de las métricas de los árboles, dado que contiene menos árboles. (Ver anexos gráficos A10 - A18).

4.1.3 Resultado de la comparación de la eficiencia del inventario forestal mediante teledetección y tradicional de las plantaciones de teca.

En el tercer objetivo se planteó la evaluación de la eficiencia relativa del método de inventario por teledetección versus parcela de campo, en el cual se utilizó un procesamiento descrito por Kershaw.

La prueba T para evaluar la hipótesis de nulidad de las medias de tiempos de trabajo para cada tipo de parcela de inventario no tuvo significación en los predios de Morondava y All Teak (ver anexos gráfico A19, A20) en el predio El Tecal la prueba estadística detecta una diferencia significativa a un nivel de significación de 0.05 (ver anexo gráfico A21), pero en la práctica la diferencia entre los dos métodos es de 10 minutos lo cual no es una diferencia suficiente para establecer que el método de parcela de campo consume más tiempo que el método medido con el escáner láser terrestre, la eficiencia relativa (e) calculada (Tabla 5) no evidencia una superior eficiencia del inventario con TLS *versus* PC para la plantación de Morondava y apenas de una vez y media en los predios El Tecal y AllTeak, por lo que no se puede evidenciar una superioridad del método de muestreo TLS sobre el inventario forestal tradicional.

Tabla 5. Eficiencia relativa, parcela TLS versus PC.

| Predio | Variable | Unidad de medida | n | SE | SE | T | T | P | E | |
|-----------|----------|------------------------|----|-------|-------|------|-------|-------|------|------|
| | | | | (PC) | (TLS) | (PC) | (TLS) | valor | Sig. | |
| Morondava | d | m | 23 | 0.003 | 0.003 | 95 | 94 | - | - | 0.99 |
| | h | m | 23 | 0.26 | 0.28 | 95 | 94 | - | - | 1.10 |
| | r | m | 23 | 0.05 | 0.05 | 95 | 94 | - | - | 0.71 |
| | t | min | 23 | - | - | 95 | 94 | 0.940 | n.s | |
| All Teak | d | m | 18 | 0.01 | 0.01 | 89 | 93 | - | - | 1.97 |
| | h | m | 18 | 0.97 | 0.51 | 89 | 93 | - | - | 1.98 |
| | r | m | 18 | 0.14 | 0.09 | 89 | 93 | - | - | 1.45 |
| | t | min | 18 | - | - | 89 | 93 | 0.612 | n.s | |
| El Tecal | d | m | 8 | 0.01 | 0.01 | 114 | 94 | - | - | 1.58 |
| | h | m | 8 | 1.13 | 0.96 | 114 | 94 | - | - | 1.56 |
| | r | m | 8 | 0.14 | 0.11 | 114 | 94 | - | - | 1.27 |
| | t | min | 8 | - | - | 114 | 94 | 0.037 | * | |

Nota: d, diámetro; h, altura; r, radio de copa; m, metro; (n) número de parcelas; (SE) error estándar; (T) tiempo; Sig., Significación; n.s, no significativo; *, significativo; (E) eficiencia relativa; TLS, parcela escáner láser terrestre; PC, parcela de campo.

Elaborado por: La Autora.

4.2 Discusión

Los resultados obtenidos permiten afirmar que ambos métodos son suficientemente precisos para la medición de las variables dendrométricas, los errores, eventualmente, pueden ser atribuibles a los procedimientos instrumentales de medición en las parcelas del inventario tradicional terrestre, especialmente en el caso de la variable altura donde se utilizó el hipsómetro láser, como consecuencia de la dificultad en visualizar el ápice del árbol, en el caso de la variable radio, en este estudio, la diferencia puede ser atribuible al cambio de condición fenológica del árbol de con hojas al momento de la medición PC, mes de marzo, a sin hojas durante la medición TLS, mes de noviembre.

Las pruebas estadísticas no detectaron una diferencia entre el método de medición por teledetección y el método de medición de campo, con

excepción de las variables alturas y radio de copa, pero esto puede deberse a la manera y momento en que fueron realizadas las mediciones de campo, estos resultados son muy similares a los obtenidos por Mohammed, Majid, Izah (2018), en Malasia, donde llegaron a la conclusión que la diferencia entre TLS y mediciones de inventario tradicional de campo no son estadísticamente significativas.

Similar resultado obtienen Rodríguez y Klaribles (2018), en Sangolquí, Ecuador, donde también evaluaron tecnologías TLS y técnicas convencionales de medición terrestre para inventarios forestales y llegaron a la conclusión de que estadísticamente los valores obtenidos por medición en parcelas de campo realizados por el método convencional son similares a los valores obtenidos por la medición realizada por el escáner láser terrestre, (TLS) coincidiendo con los resultados de nuestra investigación.

Por su parte en la investigación de Pérez, Uzquiano y Bravo (2017) resaltan que uno de los problemas de la técnica TLS es que el procesamiento de datos necesita mucho tiempo, lo que concuerda con nuestra investigación, ya que no hay evidencia de una mayor eficiencia del método TLS por los valores de tiempo de medición y el elevado nivel técnico que se necesita en la extracción de datos, dada la complejidad de los software que se utilizan para ello, esto hace que la aplicación de esta técnica de inventario forestal en las condiciones actuales sea una herramienta de difícil introducción en nuestro medio, no obstante Wagner (2018) en su investigación de la evaluación de la viabilidad en la aplicación de tecnología Lidar llega a la conclusión que este tipo de tecnología permite alcanzar información de manera muy precisa.

De acuerdo a lo investigado por parte de Satorra y Martínez (2017) en el uso de sensores en la agricultura una de las ventajas de esta tecnología es que puede ayudar a adquirir información de difícil acceso sobre un objeto sin la necesidad de tenerlo que realizar manualmente, lo cual es una meta de

desarrollo para las tecnologías de inventarios que fusionan estas técnicas a diferentes escalas de trabajo (Aguilar et al., 2019), coincidiendo con los resultados de esta investigación donde se evidencia una mayor precisión en las mediciones TLS.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En la comparación de los métodos TLS y PC no se detectaron diferencias significativas en la variable diámetro, y la diferencia en las variables altura y radio de copa se pueden deber a los errores de medición de alturas en el método tradicional de inventarios terrestres y por la diferente condición fenológica al momento de la medición de los radios de copa.
- La evaluación del efecto de la reducción del tamaño de parcela de medición TLS en la precisión de la estimación de las variables dendrométricas no mostro diferencias significativas siendo este un resultado de interés para reducir los tiempos de trabajo en la extracción de métricas dendrométricas al reducir el número de árboles incluidos en la unidad de muestra.
- No se encontraron diferencias significativas entre los tiempos de trabajo de campo para el levantamiento de parcelas de inventario tradicional y parcelas TLS, la eficiencia relativa calculada demostró ligera superioridad del método de inventario por teledetección sobre el tradicional lo que apunta a generar investigación para hacer más eficientes estos métodos de teledetección.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar software para la extracción automática de las métricas de los árboles y procedimientos de muestreos que disminuyan el número de escaneos por parcela.

BIBLIOGRAFÍA

- Abegg, M., Kükenbrink, D., Zell, J., Schaepman, M., & Morsdorf, F. (2017). Terrestrial láser scanning for forest Inventories—Tree diameter distribution and scanner location impact on occlusion. *Forests*, 8(6), 184.
- Aguilar, F. J., & Mills, J. P. (2008). Accuracy assessment of lidar-derived digital elevation models. *The Photogrammetric Record*, 23(122), 148–169. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2008.00476.x>
- Aguilar, F. J., Mills, J. P., Delgado, J., Aguilar, M. A., Negreiros, J. G., & Pérez, J. L. (2010). Modelling vertical error in LiDAR-derived digital elevation models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 103–110. <https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2009.09.003>
- Aguilar, F. J., Nemmaoui, A., Aguilar, M. A., & Peñalver, A. (2019). Fusion of Terrestrial Láser Scanning and RPAS Image Based point cloud in Mediterranean forest inventories. *Dyna Ingeniería e Industria*, 94(2), 131–136. <https://doi.org/10.6036/8892>
- Bahamondez, C.; Lorenz, M.; Mery, G.; & Varjo, J. (2005). *Evaluación de los recursos forestales ante necesidades cambiantes de información*. International Union of Forest Research, IUFRO.
- Bare, B. B. (2001). Opening remarks and welcome to the first international precision forestry symposium. In *Second International Precision Forestry Symposium*. Seattle, USA: University of Washington.

- Bauwens, S., Bartholomeus, H., Calders, K., Lejeune, P., Bauwens, S., Bartholomeus, H., ... Lejeune, P. (2016). Forest Inventory with Terrestrial LiDAR: A Comparison of Static and Hand-Held Mobile Láser Scanning. *Forests*, 7(12), 127. <https://doi.org/10.3390/f7060127>
- Brandtberg, T., Warner, T. A., Landenberger, R. E., & McGraw, J. B. (2003). Detection and analysis of individual leaf-off tree crowns in small footprint, high sampling density lidar data from the eastern deciduous forest in North America. *Remote Sensing of Environment*, 85(3), 290–303. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00008-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00008-7)
- Chen, Q. (2007). Airborne Lidar Data Processing and Information Extraction. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 73(2), 109–112.
- Das, S., & Singh, T. P. (2016). Forest Type, Diversity and Biomass Estimation in Tropical Forests of Western Ghat of Maharashtra Using Geospatial Techniques. *Small-Scale Forestry*, 15(4), 517–532. <https://doi.org/10.1007/s11842-016-9337-y>
- E.S.A. (2019). Missions - Sentinel Online. Retrieved March 10, 2019, from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>.
- Escamilla-Hernández, N., Obrador-Olán, J. J., Carrillo-Ávila, E., & Palma-López, D. J. (2015). Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Revista fitotecnía mexicana*, 38(3), 329-333.
- Evans, J. S., & Hudak, A. T. (2007). A Multiscale Curvature Algorithm for Classifying Discrete Return LiDAR in Forested Environments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(4), 1029–1038. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.890412>

- Falkowski, M. J., Smith, A. M. S., Gessler, P. E., Hudak, A. T., Vierling, L. A., & Evans, J. S. (2008). The influence of conifer forest canopy cover on the accuracy of two individual tree measurement algorithms using lidar data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *34*(sup2), S338–S350.
- Fernández Manso, O., Fernández Manso, A., & Quintano, C. (2014). Estimation of aboveground biomass in Mediterranean forests by statistical modelling of ASTER fraction images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *31*, 45–56. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2014.03.005>
- Flores Velasteguí, T.; Cabezas Guerrero, F.; Crespo Gutiérrez, R. (2010) Plagas y enfermedades en plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L.F.) en la zona de Balzar, provincia de Guayas. *Cienc. y Tecnol.* 2010, *3*, 15–22.
- Franz, Martin & Carrea, Dario & Abellan, Antonio & Derron, Marc-Henri & Jaboyedoff, Michel. (2016). Use of targets to track 3D displacements in highly vegetated areas affected by landslides. *Landslides*. *13*. 821-831. [10.1007/s10346-016-0685-7](https://doi.org/10.1007/s10346-016-0685-7).
- Goodbody, T. R. H., Coops, N. C., Hermosilla, T., Tompalski, P., & Crawford, P. (2018). Assessing the status of forest regeneration using digital aerial photogrammetry and unmanned aerial systems. *International Journal of Remote Sensing*, *39*(15–16), 5246–5264. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1402387>
- Hirata, Y., Furuya, N., Saito, H., Pak, C., Leng, C., Sokh, H., ... Mizoue, N. (2018). Object-Based Mapping of Aboveground Biomass in Tropical Forests Using LiDAR and Very-High-Spatial-Resolution Satellite Data. *Remote Sensing*, *10*(3), 438. <https://doi.org/10.3390/rs10030438>.

- Holdridge, L.R.(1982). *Ecología basada en zonas de vida*; IICA. Serie de Libros y Materiales Educativos; Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1982; ISBN 9789290390398.
- Immitzer, M., Stepper, C., Böck, S., Straub, C., & Atzberger, C. (2016). Use of WorldView-2 stereo imagery and National Forest Inventory data for wall-to-wall mapping of growing stock. *Forest Ecology and Management*, 359, 232–246. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2015.10.018>
- Kershaw, J. A., Ducey, M. J., Beers, T. W., & Husch, B. (2017). Integrating remote sensing in forest inventory. In J. W. & Sons (Ed.), *Forest Mensuration* (Fifth edit, pp. 429–454). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118902028.ch13>
- Köhl, M., Magnussen, S. S., & Marchetti, M. (2006). *Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory*. Springer Science & Business Media.
- Kumar, L., Sinha, P., Taylor, S., & Alqurashi, A. F. (2015). Review of the use of remote sensing for biomass estimation to support renewable energy generation. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.9.097696>
- Lee, H., Slatton, K. C., Roth, B. E., & Cropper, W. P. (2010). Adaptive clustering of airborne LiDAR data to segment individual tree crowns in managed pine forests. *International Journal of Remote Sensing*, 31(1), 117–139. <https://doi.org/10.1080/01431160902882561>

- Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Parker, G. G., & Harding, D. J. (2002). Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest. *BioScience*, *52*(1), 19–30. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0019:lrsfes\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0019:lrsfes]2.0.co;2)
- Maack, J., Kattenborn, T., Fassnacht, F. E., Enßle, F., Hernández, J., Corvalán, P., & Koch, B. (2015). Modeling forest biomass using Very-High-Resolution data—Combining textural, spectral and photogrammetric predictors derived from spaceborne stereo images. *European Journal of Remote Sensing*, *48*(1), 245–261. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20154814>
- MAGAP (2014). Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales. Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. Guayaquil – Ecuador.
- McGaughey, R. J. (2013). *Fusion/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization. Fusion Version 3.30*. Washington, DC.
- Mohammed, H. I., Majid, Z., & Izah, L. N. (2018, June). Terrestrial laser scanning for tree parameters inventory. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 169, No. 1, p. 012096). IOP Publishing.
- Mora, J. (2019). *Evaluación del método de muestreo angular para el inventario de plantaciones forestales de Teca en la Región Costa del Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayas, Ecuador.

- Morsdorf, F., Meier, E., Allgöwer, B., & Nüesch, D. (2003). Clustering in airborne láser scanning raw data for segmentation of single trees. *Proceedings of the ISPRS Working Group III/3 Workshop 3-D Reconstruction from Airborne Láser-scanner and InSAR Data Dresden, XXXIV, PAR.*
- Peñalver, A. (2018). *Evaluación de tecnología de detección remota para la estimación de biomasa de Teca en la Región Costa del Ecuador.* Proyecto del Instituto de Investigación e innovación de tecnología y producción. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Pérez, S., Uzquiano, E., Bravo, A. (2017). Procesado de datos a través del Láser Escáner Terrestre (TLS): desarrollo de una nueva metodología aplicada a bosques mixtos. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (43), 225-238.
- Popescu, S. C., & Wynne, R. H. (2004). Seeing the Trees in the Forest: Using Lidar and Multispectral Data Fusion with Local Filtering and Variable Window Size for Estimating Tree Height. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70, 589–604.
- Porras Díaz, H., Cáceres Jiménez, J. J., & Gallo Lancheros, E. O. (2014). Three-dimensional urban models generated from point clouds of a terrestrial láser scanner. *Tecnura*, 18(41), 134-153.
- Rodríguez, B., & Klaribel, J. (2018). *Análisis dasométrico aplicando tecnología escáner láser terrestre y técnicas convencionales para la estimación de biomasa aérea en el bosque la Armenia* (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.).

- Satorra, J., & Martínez Casanovas, J. A. (2017). ¿Qué nos dicen los sensores sobre los cultivos?. *New Ag International*, 2017, vol. Diciembre 2017, p. 16-20.
- Soest, J. V., Ayrál, P., Schober, R., y Hummel, F. C. (1969). La normalización de los símbolos en dasimetría (No. 634.9285 N842). Obtenido de FAO, Roma (Italia).
- Trochta, J., Krůček, M., Vrška, T., & Král, K. (2017). 3D Forest: An application for descriptions of three-dimensional forest structures using terrestrial LiDAR. *PLOS ONE*, 12(5), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176871>
- U.S.G.S. (2018). Servicio Geológico de los Estados Unidos *Landsat Collections. Fact Sheet*. Reston, VA. <https://doi.org/10.3133/fs20183049>
- Vera Coello, D., Cañarte Bermúdez, E., Navarrete Cedeño, J. B., Solís Hidalgo, K., Solórzano Faubla, R., Peñaherrera Villafuerte, S., ...Muñoz Conforme, Xavier. (2018). Etiología de la principal enfermedad de teca en Ecuador y rol de insectos en su dispersión. Quevedo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. (Plegable n° 440).
- Vílchez, L. O. (Ed.). (2002). *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central* (No. 50). CATIE.
- Wagner Mendivelso, M. (2018). Evaluación de la viabilidad en la aplicación de tecnología LiDAR para la detección de trayectorias y finales de surco en un cultivo de papa usando un robot Rover.

White, J., Coops, N. C., Wulder, M. A., Vastaranta, M., Hilker, T., & Tompalski, P. (2016). Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42(5), 619–641. <https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1207484>

Yan, L., Li, Z. y Xie, H. (2010, June). Segmentation of unorganized point cloud from terrestrial láser scanner in urban region. *18th International Conference on Geoinformatics*, pp. 1-5. Beijing, China: IEEE. DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567982.

Zafra, M., (2015). *Construcción de mapas de exteriores mediante octrees para un robot móvil equipado con un teledetector láser 3D*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Málaga, España.

Zhang, J. (2010). Multi-source remote sensing data fusion: status and trends. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1), 5–24. <https://doi.org/10.1080/19479830903561035>

ANEXOS

Tabla A1. Variables dasométricas y estadísticas del Predio Morondava parcela de campo

| PARCELA | A | Ni | Na | dg | G | hL | Hdom | hc | Lcopa | E | V | Vc | B | C | CO2 | Calidad de Plantación | Total (horas:minutos) | |
|-----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|---------|
| 1 | 3 | 800 | 680 | 8.8 | 4.9 | 8.9 | 10.3 | 0.0 | 78% | 53.8 | 27.5 | 0.0 | 22.7 | 11.3 | 41.6 | 55.0% | R | 2:42:00 |
| 2 | 3 | 900 | 860 | 9.1 | 5.9 | 9.1 | 11.1 | 0.0 | 80% | 80.3 | 33.2 | 0.0 | 27.5 | 13.8 | 50.5 | 57.8% | R | 2:39:00 |
| 3 | 3 | 800 | 720 | 7.6 | 3.6 | 8.4 | 10.7 | 0.0 | 70% | 56.5 | 19.7 | 0.0 | 16.8 | 8.4 | 30.9 | 50.0% | R | 2:08:00 |
| 4 | 3 | 820 | 820 | 8.9 | 5.1 | 8.5 | 10.3 | 0.0 | 74% | 69.9 | 28.5 | 0.0 | 23.2 | 11.6 | 42.5 | 65.9% | B | 1:28:00 |
| 5 | 3 | 860 | 800 | 8.7 | 5.1 | 8.4 | 11.0 | 0.0 | 65% | 73.2 | 28.1 | 0.0 | 23.5 | 11.7 | 43.1 | 74.4% | B | 1:40:00 |
| 6 | 3 | 800 | 780 | 9.8 | 6.0 | 9.0 | 10.1 | 0.0 | 74% | 72.8 | 34.0 | 0.0 | 28.2 | 14.1 | 51.8 | 82.5% | B | 1:17:00 |
| 7 | 3 | 800 | 660 | 8.7 | 4.8 | 8.9 | 9.9 | 0.0 | 76% | 57.1 | 26.4 | 0.0 | 23.1 | 11.5 | 42.3 | 55.0% | R | 1:06:00 |
| 8 | 3 | 780 | 540 | 6.1 | 2.3 | 7.2 | 8.6 | 0.0 | 67% | 26.1 | 11.6 | 0.0 | 9.8 | 4.9 | 18.0 | 46.2% | R | 0:53:00 |
| 9 | 3 | 820 | 660 | 6.7 | 2.9 | 8.9 | 10.5 | 0.0 | 64% | 42.6 | 16.3 | 0.0 | 13.4 | 6.7 | 24.6 | 39.0% | M | 1:12:00 |
| 10 | 3 | 860 | 860 | 9.5 | 6.1 | 9.4 | 11.2 | 0.0 | 73% | 99.9 | 35.6 | 0.0 | 28.6 | 14.3 | 52.4 | 67.4% | B | 1:30:00 |
| 11 | 3 | 860 | 760 | 8.1 | 4.4 | 9.3 | 11.0 | 0.0 | 72% | 72.9 | 25.4 | 0.0 | 20.7 | 10.3 | 38.0 | 60.5% | B | 1:26:00 |
| 12 | 3 | 840 | 600 | 7.3 | 3.5 | 8.6 | 10.1 | 0.0 | 69% | 46.4 | 19.9 | 0.0 | 15.9 | 8.0 | 29.2 | 50.0% | R | 1:09:00 |
| 13 | 3 | 680 | 680 | 8.8 | 4.1 | 8.4 | 10.1 | 0.0 | 67% | 65.6 | 22.8 | 0.0 | 18.6 | 9.3 | 34.1 | 82.4% | B | 1:08:00 |
| 14 | 3 | 840 | 780 | 8.9 | 5.3 | 8.0 | 9.7 | 0.0 | 71% | 68.6 | 27.6 | 0.0 | 24.3 | 12.1 | 44.5 | 69.0% | B | 1:04:00 |
| 15 | 3 | 820 | 760 | 6.6 | 2.8 | 6.8 | 8.3 | 0.0 | 62% | 38.2 | 13.8 | 0.0 | 11.9 | 6.0 | 21.9 | 58.5% | R | 1:03:00 |
| 16 | 3 | 800 | 660 | 8.6 | 4.6 | 8.9 | 10.9 | 0.0 | 74% | 56.7 | 26.3 | 0.0 | 21.6 | 10.8 | 39.6 | 50.0% | R | 1:23:00 |
| 17 | 3 | 840 | 600 | 8.1 | 4.3 | 9.6 | 12.5 | 0.0 | 66% | 55.9 | 25.6 | 0.0 | 20.2 | 10.1 | 37.0 | 33.3% | M | 1:00:00 |
| 18 | 3 | 900 | 840 | 8.2 | 4.8 | 8.0 | 9.8 | 0.0 | 69% | 91.1 | 25.8 | 0.0 | 21.4 | 10.7 | 39.2 | 60.0% | B | 1:32:00 |
| 19 | 3 | 840 | 820 | 7.8 | 4.0 | 7.2 | 8.7 | 0.0 | 65% | 84.3 | 20.1 | 0.0 | 17.7 | 8.9 | 32.5 | 47.6% | R | 1:03:00 |
| 20 | 3 | 820 | 700 | 6.4 | 2.6 | 6.6 | 5.7 | 0.0 | 65% | 55.5 | 12.8 | 0.0 | 10.8 | 5.4 | 19.9 | 51.2% | R | 1:33:00 |
| 21 | 3 | 780 | 260 | 3.1 | 0.6 | 4.9 | 5.4 | 0.0 | 58% | 10.7 | 2.4 | 0.0 | 2.4 | 1.2 | 4.4 | 23.1% | M | 1:09:00 |
| 22 | 3 | 840 | 820 | 9.0 | 5.4 | 8.4 | 10.3 | 0.0 | 70% | 73.6 | 29.4 | 0.0 | 24.4 | 12.2 | 44.9 | 54.8% | R | 1:06:00 |
| 23 | 3 | 860 | 780 | 5.7 | 2.2 | 5.3 | 6.6 | 0.0 | 59% | 50.0 | 9.7 | 0.0 | 8.9 | 4.4 | 16.3 | 48.8% | R | 2:30:00 |
| 24 | 3 | 800 | 740 | 9.1 | 5.2 | 8.3 | 10.2 | 0.0 | 73% | 85.2 | 28.3 | 0.0 | 24.2 | 12.1 | 44.4 | 62.5% | B | 1:54:00 |
| 25 | 3 | 760 | 740 | 9.1 | 4.9 | 9.2 | 11.1 | 0.0 | 67% | 62.4 | 28.7 | 0.0 | 22.4 | 11.2 | 41.2 | 47.4% | R | 2:26:00 |
| 26 | 3 | 860 | 720 | 8.3 | 4.6 | 9.3 | 11.9 | 0.0 | 62% | 60.8 | 26.8 | 0.0 | 22.0 | 11.0 | 40.4 | 25.6% | M | 2:00:00 |
| 27 | 2 | 860 | 660 | 4.0 | 1.1 | 4.1 | 5.0 | 0.0 | 69% | 28.3 | 4.1 | 0.0 | 4.0 | 2.0 | 7.3 | 23.3% | M | 2:10:00 |
| 28 | 2 | 880 | 820 | 4.8 | 1.6 | 4.6 | 5.7 | 0.0 | 72% | 41.5 | 6.6 | 0.0 | 6.0 | 3.0 | 11.0 | 56.8% | R | 1:40:00 |
| 29 | 2 | 660 | 120 | 0.9 | 0.0 | 1.9 | 1.9 | 0.0 | 54% | 2.9 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 9.1% | M | 2:18:00 |
| 30 | 3 | 920 | 700 | 3.4 | 0.8 | 3.8 | 4.6 | 0.0 | 51% | 24.1 | 3.1 | 0.0 | 2.9 | 1.5 | 5.3 | 32.6% | M | 2:18:00 |
| 31 | 3 | 880 | 840 | 9.5 | 6.3 | 9.0 | 11.6 | 0.0 | 69% | 118.5 | 35.3 | 0.0 | 29.7 | 14.9 | 54.6 | 54.5% | R | 2:15:00 |
| \bar{X} | 2.9 | 825 | 703 | 7.4 | 3.9 | 7.6 | 9.2 | 0.0 | 68% | 58.9 | 21.1 | 0.0 | 17.6 | 8.8 | 32.4 | 51.4% | R | 1:38:08 |
| s | 0.3 | 56.3 | 160.3 | 2.2 | 1.7 | 2.0 | 2.6 | 0.0 | 0.1 | 25.2 | 10.4 | 0.0 | 8.4 | 4.2 | 15.5 | 17.0% | | 0:33:24 |
| CV (%) | 10.4% | 6.8% | 22.8% | 29.4% | 44.9% | 25.6% | 27.9% | 0.0% | 9.7% | 42.9% | 49.0% | 0.0% | 47.8% | 47.8% | 47.8% | 33.0% | | 34.0% |
| E | 0.1 | 20.6 | 58.6 | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 9.2 | 3.8 | 0.0 | 3.1 | 1.5 | 5.7 | 0.1 | | 0:12:13 |
| E (%) | 3.8% | 2.5% | 8.3% | 10.8% | 16.4% | 9.4% | 10.2% | 0.0% | 3.6% | 15.7% | 17.9% | 0.0% | 17.5% | 17.5% | 17.5% | 12.1% | | 12.5% |

Nota:

Simbolos de variables y unidades de medida:

A (Edad, años), Ni (densidad inicial, plantas/ha), Na (densidad actual, plantas/ha), dg (diámetro cuadrático, cm), G (área basal, m²/ha), hL (altura lorey, m), Hdom (altura dominante, m), hc (altura comercial, m), Lcopa (longitud de copa, %), E (Espesura, %), V (volumen total, m³/ha), Vc (volumen comercial, m³/ha), B (biomasa, ton/ha), C (Carbono, ton/ha), CO2 (Secuestro de carbono atmosférico, ton/ha)

Simbolos estadísticos:

\bar{X} (Promedio aritmético), s (desviación estandar), CV (Coeficiente de variación), E (Error absoluto del muestreo), E% (Error relativo de muestreo)

Elaborado por: Peñalver, 2018

Tabla A2. Variables dasométricas y estadísticas del Predio El Tecal parcela de campo

| PARCELA | A | Ni | Na | dg | G | hL | Hdom | hc | Lcopa | E | V | Vc | B | C | CO2 | Calidad de Plantación | Total (horas: minutos) | |
|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|------------------------|---------|
| 1 | 17 | 1200 | 700 | 13.0 | 15.8 | 15.8 | 20.8 | 6.1 | 77% | 161.9 | 114.1 | 37.9 | 93.6 | 46.8 | 171.7 | 23.3% | M | 2:03:00 |
| 2 | 17 | 1180 | 780 | 13.6 | 17.1 | 16.8 | 19.8 | 5.5 | 70% | 156.9 | 130.3 | 39.3 | 99.6 | 49.8 | 182.8 | 28.8% | M | 1:50:00 |
| 3 | 17 | 1140 | 760 | 14.7 | 19.2 | 19.2 | 22.9 | 6.7 | 72% | 154.9 | 157.1 | 53.1 | 116.7 | 58.3 | 214.1 | 28.1% | M | 1:18:00 |
| 4 | 17 | 1240 | 860 | 13.4 | 17.5 | 17.3 | 21.8 | 6.7 | 66% | 176.9 | 135.7 | 41.3 | 102.1 | 51.1 | 187.4 | 9.7% | M | 2:22:00 |
| 5 | 17 | 1620 | 1480 | 12.4 | 19.6 | 13.7 | 21.8 | 5.2 | 39% | 165.9 | 135.1 | 28.9 | 106.2 | 53.1 | 194.8 | 29.6% | M | 2:22:00 |
| 6 | 17 | 1520 | 1220 | 12.4 | 18.4 | 15.0 | 18.3 | 5.1 | 26% | 143.6 | 134.3 | 30.4 | 101.6 | 50.8 | 186.5 | 25.0% | M | 1:35:00 |
| 7 | 17 | 1600 | 1020 | 10.7 | 14.3 | 14.0 | 17.2 | 5.6 | 38% | 115.9 | 98.8 | 21.1 | 78.5 | 39.2 | 144.0 | 38.8% | M | 1:55:00 |
| 8 | 17 | 1480 | 1060 | 10.3 | 12.4 | 11.1 | 16.4 | 4.6 | 30% | 81.5 | 73.2 | 13.3 | 66.3 | 33.1 | 121.6 | 43.2% | R | 1:45:00 |
| X | 17 | 1373 | 985 | 12.5 | 16.8 | 15.4 | 19.9 | 5.7 | 52% | 144.7 | 122.3 | 33.2 | 95.6 | 47.8 | 175.4 | 28.3% | M | 1:53:45 |
| s | 0.0 | 201.7 | 266.4 | 1.5 | 2.5 | 2.5 | 2.4 | 0.8 | 0.21 | 31.3 | 26.2 | 12.5 | 16.1 | 8.0 | 29.5 | 10.1% | | 0:22:03 |
| CV (%) | 0.0% | 14.7% | 27.0% | 11.7% | 14.9% | 16.3% | 11.9% | 13.4% | 40.4% | 21.6% | 21.4% | 37.6% | 16.8% | 16.8% | 16.8% | 35.7% | | 19.4% |
| E | 0.0 | 168.6 | 222.7 | 1.2 | 2.1 | 2.1 | 2.0 | 0.6 | 0.2 | 26.2 | 21.9 | 10.4 | 13.4 | 6.7 | 24.6 | 0.1 | | 0:18:26 |
| E (%) | 0.0% | 12.3% | 22.6% | 9.8% | 12.5% | 13.6% | 10.0% | 11.2% | 33.8% | 18.1% | 17.9% | 31.4% | 14.1% | 14.1% | 14.1% | 29.9% | | 16.2% |

Nota:

Símbolos de variables y unidades de medida:

A (Edad, años), Ni (densidad inicial, plantas/ha), Na (densidad actual, plantas/ha), dg (diámetro cuadrático, cm), G (área basal, m²/ha), hL (altura lorey, m),

Símbolos estadísticos:

X̄ (Promedio aritmético), s (desviación estándar), CV (Coeficiente de variación), E (Error absoluto del muestreo), E% (Error relativo de muestreo)

Elaborado por: Peñalver, 2018

Tabla A3. Variables dasométricas y estadísticas del Predio Allteak parcela de campo.

| PARCELA | A | Ni | Na | dg | G | hL | Hdom | hc | Lcopa | E | V | Vc | B | C | CO2 | Calidad de Plantación | Total (horas: minutos) | |
|---------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|------------------------|---------|
| 1 | 12 | 1060 | 780 | 11.6 | 11.2 | 17.9 | 20.1 | 7.3 | 69.2% | 99.2 | 86.9 | 29.6 | 66.8 | 33.4 | 122.6 | 17.0% | M | 1:25:00 |
| 2 | 12 | 1020 | 940 | 11.1 | 9.9 | 20.0 | 23.0 | 7.9 | 74.6% | 89.9 | 82.9 | 30.5 | 61.0 | 30.5 | 112.0 | 9.8% | M | 1:30:00 |
| 3 | 12 | 1000 | 640 | 12.5 | 12.3 | 13.4 | 21.3 | 8.4 | 74.0% | 130.1 | 94.7 | 44.0 | 77.0 | 38.5 | 141.4 | 16.0% | M | 1:40:00 |
| 4 | 12 | 900 | 300 | 14.2 | 14.3 | 21.4 | 24.4 | 8.7 | 74.2% | 126.4 | 0.0 | 0.0 | 96.8 | 48.4 | 177.6 | 0.0% | M | 1:20:00 |
| 5 | 12 | 1040 | 500 | 13.2 | 14.2 | 21.5 | 22.9 | 5.8 | 69.4% | 115.2 | 124.7 | 37.3 | 93.4 | 46.7 | 171.4 | 0.0% | M | 1:30:00 |
| 6 | 12 | 1060 | 360 | 12.6 | 13.2 | 21.4 | 23.7 | 7.5 | 64.4% | 106.8 | 112.2 | 39.9 | 85.3 | 42.6 | 156.5 | 0.0% | M | 1:10:00 |
| 7 | 12 | 1040 | 420 | 12.7 | 13.2 | 18.0 | 20.2 | 6.1 | 71.4% | 123.7 | 100.7 | 34.6 | 83.2 | 41.6 | 152.7 | 0.0% | M | 1:16:00 |
| 8 | 12 | 1020 | 420 | 12.7 | 12.9 | 23.0 | 25.4 | 8.0 | 57.9% | 81.3 | 115.0 | 40.5 | 83.0 | 41.5 | 152.4 | 2.0% | M | 1:00:00 |
| 9 | 12 | 1040 | 680 | 9.8 | 7.8 | 20.6 | 22.4 | 8.2 | 86.8% | 51.8 | 65.5 | 24.8 | 48.9 | 24.4 | 89.7 | 0.0% | M | 1:30:00 |
| 10 | 10 | 1160 | 340 | 12.4 | 14.1 | 22.1 | 24.3 | 8.1 | 62.8% | 102.1 | 121.1 | 46.7 | 91.7 | 45.9 | 168.3 | 0.0% | M | 1:30:00 |
| 11 | 4 | 840 | 420 | 11.6 | 9.0 | 13.1 | 16.3 | 3.5 | 83.6% | 74.6 | 57.1 | 11.2 | 52.2 | 26.1 | 95.8 | 0.0% | M | 1:15:00 |
| 12 | 12 | 860 | 620 | 8.7 | 5.2 | 14.6 | 16.1 | 9.7 | 77.4% | 60.0 | 35.4 | 5.3 | 29.1 | 14.6 | 53.4 | 0.0% | M | 1:55:00 |
| 13 | 12 | 1040 | 740 | 14.1 | 13.5 | 20.8 | 23.6 | 7.1 | 71.7% | 137.4 | 114.6 | 39.5 | 83.3 | 41.6 | 152.8 | 26.9% | M | 3:35:00 |
| 14 | 4 | 840 | 580 | 14.0 | 13.0 | 15.3 | 17.4 | 4.1 | 46.5% | 82.1 | 91.4 | 22.2 | 76.5 | 38.3 | 140.4 | 52.4% | R | 1:20:00 |
| 15 | 4 | 780 | 560 | 16.7 | 17.1 | 16.7 | 18.4 | 4.4 | 57.2% | 103.2 | 125.9 | 30.0 | 104.7 | 52.3 | 192.1 | 61.5% | B | 0:53:00 |
| 16 | 12 | 980 | 560 | 12.5 | 12.7 | 19.2 | 22.3 | 5.6 | 68.6% | 96.1 | 100.4 | 27.0 | 80.8 | 40.4 | 148.3 | 28.6% | M | 1:05:00 |
| 17 | 12 | 1000 | 860 | 11.8 | 10.9 | 20.6 | 23.4 | 6.5 | 76.7% | 106.4 | 88.8 | 23.4 | 70.0 | 35.0 | 128.4 | 20.0% | M | 1:30:00 |
| 18 | 12 | 1040 | 780 | 10.8 | 9.5 | 20.3 | 22.8 | 6.6 | 97.7% | 92.4 | 78.2 | 19.6 | 59.7 | 29.9 | 109.6 | 26.9% | M | 1:40:00 |
| 19 | 12 | 1020 | 680 | 10.3 | 8.5 | 19.5 | 21.9 | 7.2 | 83.5% | 65.1 | 68.0 | 22.4 | 53.7 | 26.9 | 98.6 | 13.7% | M | 2:00:00 |
| 20 | 12 | 1080 | 560 | 9.5 | 7.7 | 20.1 | 21.6 | 9.0 | 83.8% | 59.8 | 60.4 | 24.8 | 50.9 | 25.4 | 93.4 | 11.1% | M | 1:00:00 |
| 21 | 12 | 1100 | 620 | 12.0 | 12.3 | 22.1 | 23.9 | 7.6 | 81.3% | 83.2 | 105.8 | 36.3 | 80.3 | 40.2 | 147.4 | 16.4% | M | 1:50:00 |
| 22 | 4 | 1100 | 620 | 9.5 | 7.8 | 12.3 | 14.5 | 0.0 | 74.2% | 65.4 | 51.7 | 0.0 | 40.5 | 20.3 | 74.4 | 50.9% | R | 1:10:00 |
| 23 | 12 | 1040 | 700 | 12.3 | 12.3 | 17.8 | 20.3 | 5.6 | 66.8% | 111.8 | 95.6 | 27.2 | 73.9 | 36.9 | 135.6 | 21.2% | M | 1:15:00 |
| X̄ | 10.52 | 1003 | 594.8 | 12.03 | 11.42 | 18.78 | 21.31 | 6.629 | 0.728 | 94.08 | 85.94 | 26.82 | 71.43 | 35.72 | 131.1 | 23.6% | M | 1:26:15 |
| s | 3.1 | 95.2 | 167.9 | 1.8 | 2.8 | 3.2 | 3.0 | 2.1 | 0.1 | 24.3 | 31.0 | 13.1 | 19.2 | 9.6 | 35.2 | 18.3% | | 0:32:29 |
| CV (%) | 29.3% | 9.5% | 28.2% | 15.1% | 24.7% | 17.0% | 13.9% | 32.4% | 15.2% | 25.8% | 36.1% | 48.8% | 26.9% | 26.9% | 26.9% | 77.6% | | 37.7% |
| E | 1.3 | 41.2 | 72.6 | 0.8 | 1.2 | 1.4 | 1.3 | 0.9 | 0.05 | 10.5 | 13.4 | 5.7 | 8.3 | 4.2 | 15.2 | 0.1 | | 0:14:03 |
| E (%) | 12.7% | 4.1% | 12.2% | 6.5% | 10.7% | 7.3% | 6.0% | 14.0% | 6.6% | 11.2% | 15.6% | 21.1% | 11.6% | 11.6% | 11.6% | 33.5% | | 16.3% |

Nota:

Símbolos de variables y unidades de medida:

A (Edad, años), Ni (densidad inicial, plantas/ha), Na (densidad actual, plantas/ha), dg (diámetro cuadrático, cm), G (área basal, m²/ha), hL (altura lorey, m),

Símbolos estadísticos:

X̄ (Promedio aritmético), s (desviación estándar), CV (Coeficiente de variación), E (Error absoluto del muestreo), E% (Error relativo de muestreo)

Elaborado por: Peñalver, 2018

Tabla. A4. Variables dasométricas y estadísticas del Predio All Teak método TLS

| N | AP | A | Na | dg | G | h | hL | Hdom | E | V | B | C | CO ₂ | P | tiempo | |
|----|------|----|-------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|---------|
| 1 | 2006 | 12 | 442 | 14.34 | 9.52 | 15.15 | 17.25 | 20.33 | 59.39 | 72.83 | 56.53 | 28.27 | 103.73 | 20.66 | 2:15:00 | |
| 2 | 2006 | 12 | 275 | 14.33 | 6.97 | 16.57 | 18.96 | 20.48 | 51.78 | 53.83 | 40.73 | 20.37 | 74.75 | 19.05 | 2:30:00 | |
| 3 | 2006 | 12 | 196 | 14.19 | 6.22 | 18.99 | 19.26 | 20.86 | 44.13 | 50.32 | 38.26 | 19.13 | 70.20 | 14.08 | 2:55:00 | |
| 4 | 2006 | 12 | 118 | 18.08 | 5.30 | 20.18 | 20.40 | 21.53 | 32.94 | 42.69 | 34.81 | 17.41 | 63.88 | 14.61 | 2:24:00 | |
| 5 | 2006 | 12 | 305 | 15.96 | 9.05 | 19.34 | 19.59 | 21.25 | 55.96 | 74.79 | 55.02 | 27.51 | 100.96 | 4.25 | 2:50:00 | |
| 6 | 2006 | 12 | 177 | 13.33 | 5.35 | 19.34 | 19.88 | 21.39 | 38.70 | 44.57 | 32.65 | 16.32 | 59.91 | 17.76 | 1:55:00 | |
| 7 | 2006 | 12 | 157 | 12.49 | 3.97 | 16.64 | 15.97 | 18.11 | 24.66 | 28.36 | 22.12 | 11.06 | 40.59 | 19.52 | 2:25:00 | |
| 8 | 2006 | 12 | 285 | 17.65 | 8.66 | 17.67 | 20.08 | 22.09 | 60.38 | 69.41 | 53.25 | 26.63 | 97.72 | 12.28 | 1:40:00 | |
| 10 | 2008 | 10 | 275 | 17.61 | 8.85 | 18.19 | 20.76 | 23.21 | 63.81 | 73.79 | 56.45 | 28.22 | 103.58 | 43.93 | 2:25:00 | |
| 11 | 2014 | 4 | 255 | 10.74 | 4.71 | 13.97 | 14.65 | 16.29 | 24.03 | 33.43 | 26.49 | 13.24 | 48.60 | 33.17 | 1:40:00 | |
| 12 | 2006 | 12 | 138 | 8.36 | 2.21 | 12.64 | 16.03 | 17.23 | 13.14 | 16.23 | 12.86 | 6.43 | 23.60 | 6.83 | 2:25:00 | |
| 13 | 2006 | 12 | 364 | 14.21 | 7.95 | 16.30 | 17.54 | 20.80 | 50.03 | 65.19 | 48.61 | 24.31 | 89.20 | 8.50 | 1:39:00 | |
| 14 | 2014 | 4 | 147 | 7.46 | 2.66 | 14.65 | 15.90 | 17.88 | 17.93 | 19.98 | 14.96 | 7.48 | 27.45 | 40.79 | 2:40:00 | |
| 15 | 2014 | 4 | 118 | 7.80 | 2.58 | 16.58 | 16.99 | 18.10 | 13.42 | 20.04 | 14.86 | 7.43 | 27.27 | 23.25 | 2:40:00 | |
| 18 | 2006 | 12 | 187 | 10.18 | 4.00 | 14.30 | 20.91 | 21.78 | 26.48 | 34.05 | 24.75 | 12.38 | 45.42 | 4.47 | 2:10:00 | |
| 19 | 2006 | 12 | 246 | 9.63 | 3.72 | 10.33 | 19.41 | 21.42 | 24.91 | 29.94 | 23.03 | 11.51 | 42.26 | 3.96 | 3:10:00 | |
| 20 | 2006 | 12 | 255 | 14.96 | 7.08 | 15.60 | 20.92 | 22.58 | 50.42 | 58.88 | 45.70 | 22.85 | 83.86 | 2.53 | 3:10:00 | |
| 21 | 2006 | 12 | 206 | 15.34 | 5.99 | 16.64 | 19.46 | 20.97 | 41.56 | 48.16 | 37.62 | 18.81 | 69.02 | 3.11 | | |
| 22 | 2014 | 4 | 560 | 11.80 | 7.84 | 13.05 | 12.89 | 15.70 | 50.30 | 51.97 | 41.56 | 20.78 | 76.27 | 27.51 | 3:10:00 | |
| 23 | 2006 | 12 | 324 | 15.39 | 8.96 | 18.34 | 18.58 | 20.64 | 51.21 | 72.03 | 53.72 | 26.86 | 98.57 | 16.66 | 3:10:00 | |
| - | | | 10.3 | 251.50 | 13.19 | 6.08 | 16.22 | 18.27 | 20.13 | 39.76 | 48.02 | 36.70 | 18.35 | 67.34 | 16.85 | 3:10:00 |
| sd | - | | 3.26 | 111.85 | 3.27 | 2.38 | 2.56 | 2.27 | 2.14 | 16.35 | 19.52 | 14.75 | 7.37 | 27.06 | 12.21 | 3:10:00 |

Códigos empleados: N: Número de parcela, AP: Año de plantación, A: Edad en años, Na: Densidad actual (plantas/ha), dg: Diámetro cuadrático (cm), G: área basal (m²/ha), h: Altura media aritmética (m), hL: Altura Lorey (m), Hdom: Altura dominante (m), E: Espesura (%), V: volumen total (m³/ha), B: biomasa (ton/ha), C: Carbono (ton/ha) CO₂: Secuestro de carbono atmosférico (ton/ha), P: Pendiente (%). Para las estadísticas: □: Promedio aritmético, sd: desviación estándar.

Elaborado por: Peñalver, 2018

Tabla. A5. Variables dasométricas y estadísticas del Predio El Tecal TLS

| | N | AP | A | Na | dg | G | h | hL | Hdom | E | V | B | C | CO₂ | P |
|-----------|----------|-----------|---------------|-----------|-----------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-----------------------|----------|
| 1 | 2001 | 17 | 599 | 13.70 | 10.86 | 14.87 | 16.61 | 18.84 | 56.95 | 83.29 | 61.88 | 30.94 | 113.54 | 3.70 | |
| 2 | 2001 | 17 | 619 | 14.15 | 12.52 | 15.97 | 16.96 | 19.08 | 48.15 | 97.16 | 71.76 | 35.88 | 131.68 | 4.02 | |
| 3 | 2001 | 17 | 609 | 15.33 | 13.97 | 17.39 | 18.89 | 21.48 | 73.78 | 114.63 | 82.50 | 41.25 | 151.39 | 4.51 | |
| 4 | 2001 | 17 | 727 | 12.72 | 12.23 | 15.21 | 17.58 | 20.68 | 72.77 | 97.65 | 69.46 | 34.73 | 127.45 | 4.04 | |
| 5 | 2001 | 17 | 1110 | 11.08 | 11.45 | 11.05 | 13.14 | 16.17 | 66.29 | 78.60 | 59.77 | 29.88 | 109.67 | 4.45 | |
| 6 | 2001 | 17 | 1002 | 12.88 | 15.61 | 14.57 | 16.04 | 19.10 | 78.35 | 119.17 | 86.36 | 43.18 | 158.47 | 4.88 | |
| 7 | 2001 | 17 | 855 | 10.57 | 9.14 | 11.39 | 13.70 | 16.18 | 39.68 | 63.98 | 48.64 | 24.32 | 89.26 | 5.31 | |
| 8 | 2001 | 17 | 835 | 10.35 | 8.42 | 9.63 | 12.11 | 16.59 | 23.17 | 54.10 | 44.25 | 22.13 | 81.21 | 3.00 | |
| □ | - | 17 | 794.55 | 12.60 | 11.77 | 13.76 | 15.63 | 18.51 | 57.39 | 88.57 | 65.58 | 32.79 | 120.33 | 4.24 | |
| sd | - | 0 | 191.18 | 1.80 | 2.37 | 2.73 | 2.38 | 2.03 | 19.25 | 22.97 | 14.93 | 7.47 | 27.40 | 0.72 | |

Códigos empleados. N: Número de parcela, AP: Año de plantación, A: Edad en años, Na: Densidad actual (plantas/ha), dg: Diámetro cuadrático (cm), G: área basal (m²/ha), h: Altura media aritmética (m), hL: Altura Lorey (m), Hdom: Altura dominante (m), E: Espesura (%), V: volumen total (m³/ha), B: biomasa (ton/ha), C: Carbono (ton/ha) CO₂: Secuestro de carbono atmosférico (ton/ha), P: Pendiente (%). Para las estadísticas: □: Promedio aritmético, sd: desviación estándar.

Autor: Peñalver, 2018

Tabla. A6. Variables dasométricas y estadísticas del Predio Morondava TLS

| N | AP | A | Na | dg | G | h | hL | Hdom | E | V | B | C | CO ₂ | P |
|----|------|-------------|---------------|------|------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|--------------|
| 1 | 2015 | 3 | 570 | 9.04 | 4.60 | 9.90 | 10.16 | 11.55 | 23.10 | 28.05 | 22.06 | 11.03 | 40.47 | 4.60 |
| 2 | 2015 | 3 | 560 | 8.22 | 4.12 | 9.72 | 10.52 | 12.23 | 23.07 | 25.89 | 19.56 | 9.78 | 35.90 | 25.64 |
| 3 | 2015 | 3 | 462 | 6.79 | 2.63 | 8.11 | 9.64 | 10.93 | 17.04 | 15.80 | 12.17 | 6.09 | 22.33 | 17.98 |
| 4 | 2015 | 3 | 619 | 7.65 | 3.74 | 9.28 | 9.40 | 10.92 | 12.18 | 22.57 | 16.84 | 8.42 | 30.90 | 22.81 |
| 5 | 2015 | 3 | 531 | 7.64 | 3.51 | 8.82 | 9.23 | 10.39 | 25.55 | 20.52 | 16.17 | 8.08 | 29.67 | 15.75 |
| 6 | 2015 | 3 | 570 | 8.28 | 4.24 | 9.87 | 10.04 | 11.25 | 23.87 | 26.06 | 19.79 | 9.89 | 36.31 | 9.44 |
| 7 | 2015 | 3 | 422 | 8.07 | 3.27 | 8.83 | 10.34 | 11.66 | 17.61 | 19.91 | 15.87 | 7.94 | 29.13 | 22.88 |
| 8 | 2015 | 3 | 540 | 6.73 | 2.45 | 7.71 | 8.36 | 9.89 | 13.28 | 13.90 | 10.61 | 5.31 | 19.47 | 3.94 |
| 9 | 2015 | 3 | 432 | 7.45 | 3.21 | 9.29 | 10.52 | 12.38 | 21.88 | 19.90 | 15.46 | 7.73 | 28.37 | 20.59 |
| 10 | 2015 | 3 | 688 | 8.83 | 5.18 | 9.88 | 10.39 | 11.81 | 35.81 | 32.34 | 24.54 | 12.27 | 45.03 | 31.82 |
| 11 | 2015 | 3 | 570 | 7.68 | 3.78 | 8.92 | 10.61 | 12.38 | 26.11 | 23.79 | 17.93 | 8.97 | 32.91 | 34.59 |
| 12 | 2015 | 3 | 422 | 7.42 | 2.72 | 9.33 | 9.53 | 10.88 | 39.28 | 16.39 | 12.41 | 6.20 | 22.77 | 7.14 |
| 13 | 2015 | 3 | 403 | 7.47 | 2.67 | 9.08 | 9.27 | 10.33 | 16.39 | 15.75 | 12.21 | 6.11 | 22.41 | 29.39 |
| 14 | 2015 | 3 | 422 | 7.19 | 2.99 | 8.56 | 8.83 | 10.12 | 19.47 | 16.81 | 13.89 | 6.94 | 25.48 | 5.61 |
| 15 | 2015 | 3 | 452 | 5.86 | 1.86 | 6.65 | 7.65 | 9.27 | 11.15 | 9.89 | 7.99 | 4.00 | 14.67 | 18.69 |
| 16 | 2015 | 3 | 442 | 8.53 | 2.86 | 8.83 | 9.26 | 10.63 | 19.56 | 16.80 | 13.14 | 6.57 | 24.11 | 16.16 |
| 17 | 2015 | 3 | 383 | 8.49 | 3.06 | 10.09 | 10.46 | 12.03 | 25.04 | 19.09 | 14.62 | 7.31 | 26.83 | 12.84 |
| 18 | 2015 | 3 | 580 | 7.80 | 3.57 | 8.31 | 8.47 | 9.89 | 21.36 | 19.91 | 16.11 | 8.06 | 29.56 | 17.91 |
| 19 | 2015 | 3 | 589 | 6.72 | 2.65 | 7.17 | 7.78 | 9.49 | 19.18 | 14.27 | 11.46 | 5.73 | 21.03 | 16.68 |
| 20 | 2015 | 3 | 531 | 5.06 | 1.72 | 6.22 | 7.07 | 8.99 | 13.87 | 8.92 | 7.11 | 3.55 | 13.04 | 43.05 |
| 22 | 2015 | 3 | 560 | 8.58 | 3.81 | 9.19 | 9.51 | 10.84 | 25.68 | 22.68 | 17.60 | 8.80 | 32.30 | 11.73 |
| 23 | 2015 | 3 | 570 | 5.84 | 1.92 | 5.57 | 6.24 | 8.22 | 15.87 | 9.11 | 7.94 | 3.97 | 14.58 | 43.96 |
| 24 | 2015 | 3 | 540 | 7.56 | 3.75 | 9.31 | 9.43 | 10.60 | 26.12 | 22.25 | 17.29 | 8.64 | 31.72 | 37.83 |
| 25 | 2015 | 3 | 481 | 7.98 | 3.09 | 9.26 | 9.59 | 10.77 | 16.27 | 18.73 | 14.10 | 7.05 | 25.88 | 42.91 |
| 26 | 2015 | 3 | 491 | 7.79 | 3.28 | 8.59 | 9.48 | 11.71 | 25.23 | 19.26 | 15.34 | 7.67 | 28.14 | 36.92 |
| 28 | 2016 | 2 | 648 | 4.47 | 1.37 | 4.68 | 5.20 | 6.63 | 8.35 | 6.04 | 5.21 | 2.61 | 9.56 | 41.80 |
| 30 | 2015 | 3 | 413 | 2.26 | 0.26 | 2.73 | 3.14 | 4.20 | 1.52 | 0.92 | 0.81 | 0.40 | 1.48 | 55.54 |
| 31 | 2015 | 3 | 639 | 8.53 | 4.66 | 9.46 | 9.92 | 11.76 | 32.37 | 28.25 | 21.90 | 10.95 | 40.19 | 33.67 |
| □ | - | 2.96 | 518.94 | 7.28 | 3.11 | 8.33 | 8.93 | 10.42 | 20.58 | 18.35 | 14.29 | 7.15 | 26.22 | 24.35 |
| sd | - | 0.19 | 83.36 | 1.48 | 1.07 | 1.74 | 1.75 | 1.79 | 8.06 | 7.09 | 5.32 | 2.66 | 9.76 | 13.97 |

Códigos empleados. N: Número de parcela, AP: Año de plantación, A: Edad en años, Na: Densidad actual (plantas/ha), dg: Diámetro cuadrático (cm), G: área basal (m²/ha), h: Altura media aritmética (m), hL: Altura Lorey (m), Hdom: Altura dominante (m), E: Espesura (%), V: volumen total (m³/ha), B: biomasa (ton/ha), C: Carbono (ton/ha) CO₂: Secuestro de carbono atmosférico (ton/ha), P: Pendiente (%). Para las estadísticas: □: Promedio aritmético, sd: desviación estándar.

Elaborado por: Peñalver, 2018

Grafico. A1. Prueba de T promedios diámetro Morondava

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:DIAMETRO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|---------------------|----------|---------|
| | sd TLS | |
| n | 28,00 | 28 |
| Media | 0,08 | 0,08 |
| Varianza | 2,1E-04 | 2,7E-04 |
| Media (1)-Media (2) | -2,5E-03 | |
| LI (95) | -0,01 | |
| LS (95) | 0,01 | |
| pHomVar | 0,5245 | |
| T | -0,60 | |
| gl | 54 | |
| p-valor | 0,5521 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A2. Prueba de T promedios diámetro All Teak

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:DIAMETRO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|---------------------|---------|---------|
| | IFT | TLS |
| n | 20 | 20 |
| Media | 0,15 | 0,16 |
| Varianza | 2,7E-03 | 8,9E-04 |
| Media (1)-Media (2) | -0,01 | |
| LI (95) | -0,04 | |
| LS (95) | 0,01 | |
| pHomVar | 0,0195 | |
| T | -0,93 | |
| gl | 31 | |
| p-valor | 0,1146 | |

Elaborado por: La Autora

Gráfico A3. Prueba de T promedios diámetro El Tecal

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:DIAMETRO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | IFT | TLS |
| n | 8 | 8 |
| Media | 0,13 | 0,13 |
| Varianza | 8,3E-04 | 5,3E-04 |
| Media (1) -Media (2) | -0,01 | |
| LI (95) | -0,03 | |
| LS (95) | 0,02 | |
| pHomVar | 0,5666 | |
| T | -0,38 | |
| gl | 14 | |
| p-valor | 0,4094 | |

Elaborado por: La Autora

Gráfico A4. Prueba de T promedios altura Morondava

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:ALTURA - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | IFT | TLS |
| n | 28 | 28 |
| Media | 7,37 | 8,33 |
| Varianza | 2,36 | 3,04 |
| Media (1) -Media (2) | -0,97 | |
| LI (95) | -1,85 | |
| LS (95) | -0,08 | |
| pHomVar | 0,5162 | |
| T | -2,20 | |
| gl | 54 | |
| p-valor | 0,0322 | |

Elaborado por: La Autora

Gráfico A5. Prueba de T promedios altura All Teak

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:ALTURA - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | IFT | TLS |
| n | 20 | 20 |
| Media | 13,99 | 16,23 |
| Varianza | 18,69 | 6,63 |
| Media (1) -Media (2) | -2,24 | |
| LI (95) | -4,54 | |
| LS (95) | 0,05 | |
| pHomVar | 0,0291 | |
| T | -1,99 | |
| gl | 32 | |
| p-valor | 0,0317 | |

Elaborado por: La Autora

Gráfico A6. Prueba de T promedios altura El Tecal

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:ALTURA - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | IFT | TLS |
| n | 8 | 8 |
| Media | 12,44 | 13,76 |
| Varianza | 10,16 | 7,44 |
| Media (1) -Media (2) | -1,32 | |
| LI (95) | -4,50 | |
| LS (95) | 1,86 | |
| pHomVar | 0,6912 | |
| T | -0,89 | |
| gl | 14 | |
| p-valor | 0,3876 | |

Elaborado por: La Autora

Gráfico A7. Prueba de T promedios radio de copa Morondava

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:RADIO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | IFT | TLS |
| n | 28 | 28 |
| Media | 1,58 | 1,06 |
| Varianza | 0,06 | 0,06 |
| Media (1) -Media (2) | 0,52 | |
| LI (95) | 0,39 | |
| LS (95) | 0,65 | |
| pHomVar | 0,7292 | |
| T | 7,91 | |
| gl | 54 | |
| p-valor | <0,0001 | |

Elaborado por: La Autora

Gráfico A8. Prueba de T promedios radio de copa All Teak

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:RADIO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | IFT | TLS |
| n | 20 | 20 |
| Media | 2,16 | 2,14 |
| Varianza | 0,38 | 0,17 |
| Media (1) -Media (2) | 0,02 | |
| LI (95) | -0,31 | |
| LS (95) | 0,36 | |
| pHomVar | 0,0871 | |
| T | 0,13 | |
| gl | 38 | |
| p-valor | 0,8947 | |

Elaborado por: La Autora

Gráfico A9. Prueba de T promedios radio de copa El Tecal

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:RADIO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | IFT | TLS |
| n | 8 | 8 |
| Media | 1,86 | 1,48 |
| Varianza | 0,15 | 0,09 |
| Media (1) -Media (2) | 0,38 | |
| LI (95) | 0,01 | |
| LS (95) | 0,75 | |
| pHomVar | 0,4786 | |
| T | 2,18 | |
| gl | 14 | |
| p-valor | 0,0468 | |

Elaborado por: La Autora

Gráfico A10. Prueba de T promedios TLS12 vs TLS18 diámetro Morondava

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:DIAMETRO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | TLS12 | TLS18 |
| n | 28 | 28 |
| Media | 0,08 | 0,08 |
| Varianza | 3,1E-04 | 2,7E-04 |
| Media (1) -Media (2) | 1,1E-03 | |
| LI (95) | -0,01 | |
| LS (95) | 0,01 | |
| pHomVar | 0,7739 | |
| T | 0,24 | |
| gl | 54 | |
| p-valor | 0,8150 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A11. Prueba de T promedios TLS12 vs TLS18 diámetro All Teak

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:DIAMETRO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | TLS12 | TLS18 |
| n | 20 | 20 |
| Media | 0,18 | 0,17 |
| Varianza | 8,4E-04 | 9,6E-04 |
| Media (1) -Media (2) | 0,01 | |
| LI (95) | -0,01 | |
| LS (95) | 0,03 | |
| pHomVar | 0,7742 | |
| T | 0,95 | |
| gl | 38 | |
| p-valor | 0,3490 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A12. Prueba de T promedios TLS12 vs TLS18 diámetro El Tecal

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:DIAMETRO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | TLS12 | TLS18 |
| n | 8 | 8 |
| Media | 0,14 | 0,13 |
| Varianza | 5,1E-04 | 5,3E-04 |
| Media (1) -Media (2) | 3,8E-03 | |
| LI (95) | -0,02 | |
| LS (95) | 0,03 | |
| pHomVar | 0,9755 | |
| T | 0,33 | |
| gl | 14 | |
| p-valor | >0,999 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A13. Prueba de T promedios TLS12 vs TLS18 altura Morondava

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:ALTURA - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | TLS12 | TLS18 |
| n | 28 | 28 |
| Media | 8,39 | 8,33 |
| Varianza | 3,23 | 3,04 |
| Media (1) -Media (2) | 0,06 | |
| LI (95) | -0,89 | |
| LS (95) | 1,01 | |
| pHomVar | 0,8730 | |
| T | 0,12 | |
| gl | 54 | |
| p-valor | 0,9020 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A14. Prueba de T promedios TLS12 vs TLS18 altura All Teak

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:ALTURA - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | TLS12 | TLS18 |
| n | 20 | 20 |
| Media | 17,11 | 16,23 |
| Varianza | 6,08 | 6,63 |
| Media (1) -Media (2) | 0,88 | |
| LI (95) | -0,74 | |
| LS (95) | 2,49 | |
| pHomVar | 0,8507 | |
| T | 1,10 | |
| gl | 38 | |
| p-valor | 0,2782 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A15. Prueba de T promedios TLS12 vs TLS18 altura El Tecal

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:ALTURA - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | TLS12 | TLS18 |
| n | 8 | 8 |
| Media | 14,14 | 13,76 |
| Varianza | 6,03 | 7,44 |
| Media (1) -Media (2) | 0,38 | |
| LI (95) | -2,40 | |
| LS (95) | 3,16 | |
| pHomVar | 0,7894 | |
| T | 0,29 | |
| gl | 14 | |
| p-valor | 0,7732 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A16. Prueba de T promedios TLS12 vs TLS18 radio de copa Morondava

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:RADIO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | TLS12 | TLS18 |
| n | 28 | 28 |
| Media | 1,09 | 1,05 |
| Varianza | 0,07 | 0,07 |
| Media (1) -Media (2) | 0,04 | |
| LI (95) | -0,11 | |
| LS (95) | 0,18 | |
| pHomVar | 0,7421 | |
| T | 0,49 | |
| gl | 54 | |
| p-valor | 0,6234 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A17. Prueba de T promedios TLS12 vs TLS18 radio de copa All Teak

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:RADIO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | TLS12 | TLS18 |
| n | 20 | 20 |
| Media | 2,31 | 2,13 |
| Varianza | 0,21 | 0,17 |
| Media (1) -Media (2) | 0,17 | |
| LI (95) | -0,10 | |
| LS (95) | 0,45 | |
| pHomVar | 0,6415 | |
| T | 1,27 | |
| gl | 38 | |
| p-valor | 0,2114 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A18. Prueba de T promedios TLS12 vs TLS18 radio de copa El Tecal

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:RADIO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | TLS12 | TLS18 |
| n | 8 | 8 |
| Media | 1,59 | 1,48 |
| Varianza | 0,08 | 0,09 |
| Media (1) -Media (2) | 0,11 | |
| LI (95) | -0,21 | |
| LS (95) | 0,43 | |
| pHomVar | 0,9546 | |
| T | 0,75 | |
| gl | 14 | |
| p-valor | 0,4668 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A19. Prueba de T promedios tiempos Morondava

Prueba T para muestras Independientes

Variable:MINUTOS - Clasific:TIEMPO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | PC | TLS |
| n | 22 | 23 |
| Media | 94,73 | 94,17 |
| Varianza | 1140,78 | 25,42 |
| Media (1) -Media (2) | 0,55 | |
| LI (95) | -14,58 | |
| LS (95) | 15,69 | |
| pHomVar | <0,0001 | |
| T | 0,08 | |
| gl | 21 | |
| p-valor | 0,9401 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A20. Prueba de T promedios tiempos All Teak

Prueba T para muestras Independientes

Variable:MINUTOS - Clasific:TIEMPO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | PC | TLS |
| n | 19 | 19 |
| Media | 89,16 | 93,26 |
| Varianza | 1204,25 | 3,65 |
| Media (1) -Media (2) | -4,11 | |
| LI (95) | -20,86 | |
| LS (95) | 12,65 | |
| pHomVar | <0,0001 | |
| T | -0,51 | |
| gl | 18 | |
| p-valor | 0,6129 | |

Elaborado por: La Autora

Grafico A21. Prueba de T promedios tiempos El Tecal

Prueba T para muestras Independientes

Variable:METROS - Clasific:TIEMPO - prueba:Bilateral

| | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
| | PC | TLS |
| n | 8 | 8 |
| Media | 113,75 | 93,75 |
| Varianza | 486,21 | 3,64 |
| Media (1) -Media (2) | 20,00 | |
| LI (95) | 1,50 | |
| LS (95) | 38,50 | |
| pHomVar | <0,0001 | |
| T | 2,56 | |
| gl | 7 | |
| p-valor | 0,0378 | |

Elaborado por: La Autora



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Polo Aguilar, Emily Mishelle**, con C.C: # 1726864299 autora del trabajo de titulación: **Uso del escáner láser terrestre (TLS) para el inventario de plantaciones de Teca en la Región Costa de Ecuador**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agropecuaria** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **09 de septiembre del 2019**

f. _____

Nombre: **Polo Aguilar, Emily Mishelle**

C.C: **1726864299**



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----|
| TEMA Y SUBTEMA: | Uso del escáner láser terrestre (TLS) para el inventario de plantaciones de Teca en la Región Costa de Ecuador. | | |
| AUTOR(ES) | Emily Mishelle, Polo Aguilar | | |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES) | Ing. Alberto Peñalver Romeo Ph.D. | | |
| INSTITUCIÓN: | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil | | |
| FACULTAD: | Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo | | |
| CARRERA: | Ingeniería Agropecuaria | | |
| TITULO OBTENIDO: | Ingeniera Agropecuaria | | |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: | 09 de septiembre de 2019 | No. DE PÁGINAS: | 67 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: | Teca, Plantaciones Forestales, Escáner láser terrestre | | |
| PALABRAS CLAVES/KEYWORDS: | <i>Tectona grandis</i> Linn, scanner láser terrestre, inventario forestal, dasometría | | |
| RESUMEN/ABSTRACT: | | | |
| <p>La práctica usual en los inventarios forestales es el levantamiento en campo de parcelas y medición de las variables dendrométricas mediante los procedimientos tradicionales. Un método alternativo de muestreo es la utilización del escáner láser terrestre para la extracción de las métricas de los árboles en las parcelas. En este trabajo se evaluó la precisión y eficiencia del método de inventario forestal mediante escáner láser terrestre (TLS) para la determinación de variables dasométricas en las plantaciones de teca (<i>Tectona grandis</i> Linn). Para este trabajo se establecieron parcelas de 500 m² en plantaciones de teca en tres predios de la región Costa de Ecuador donde se midieron sus variables dendrométricas principales, diámetro, altura y radios de copa. En las mismas ubicaciones se realizaron mediciones TLS y se extrajeron las métricas a las mismas variables medidas en el inventario tradicional, además se determinaron los tiempos de trabajo en cada método de inventario. Mediante la prueba T de Student se contrastaron las estimaciones de los índices dasométricos para cada tipo de método de inventario y se determinó la eficiencia relativa del método TLS con respecto al tradicional, como resultado se obtuvo que la prueba de contrastes no detectó diferencias entre tipos de muestreo para ninguna de las variables y tiempos de trabajo. Los valores de eficiencia relativa evidenciaron cierta superioridad del método TLS sobre el método tradicional de inventario, los resultados obtenidos afirman que ambos métodos son suficientemente precisos, los errores, eventualmente, pueden ser atribuibles a los procedimientos instrumentales de medición en el inventario terrestre.</p> | | | |
| ADJUNTO PDF: | <input checked="" type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NO | |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: | Teléfono: +5930995348978 | E-mail: emily_pa95@hotmail.com | |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN COORDINADOR DEL PROCESO UTE):: | Nombre: Ing. Noelia Caicedo Coello, M.Sc. | | |
| | Teléfono: +593 987361675 | | |
| | E-mail: noelia.caicedo@cu.ucsg.edu.ec | | |
| SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA | | | |
| Nº. DE REGISTRO (en base a datos): | | | |
| Nº. DE CLASIFICACIÓN: | | | |
| DIRECCIÓN URL (tesis en la web): | | | |