

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA
MEDICIÓN DE LA ALTURA DE ÁRBOLES**

por

**Gonzalo GALINDO MIGONE
Gastón Matías RODRÍGUEZ CARBALLO**

**TESIS presentada como uno
de los requisitos para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2022**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por:

Director: -----

Dr. Gustavo Daniluk

MSc Guillermo Morás

MSc Iván Grela

Fecha: 01 de julio de 2022

Autores: -----

Gonzalo Galindo Migone

Gastón Matías Rodríguez Carballo

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecerles a nuestros tutores Guillermo y Gustavo, por estar siempre presentes y aportar sus conocimientos y recomendaciones para la realización de este trabajo, así como también por evacuar todas nuestras consultas con celeridad. Asimismo, queremos reconocer al personal de Biblioteca, que ha contribuido de forma activa en la búsqueda y selección de información.

Gonzalo quiere dar las gracias muy especialmente a la Gorda, su amada esposa, quien ha sido un apoyo fundamental para iniciar y desarrollar la carrera; y también, a Guillita y a Gofito por acompañarlo cuando estudiaba. Agradecer también al Colorado, por su ayuda en el análisis estadístico. A su familia y amigos, por el apoyo y estar siempre presentes.

TABLA DE CONTENIDO	
PÁGINA DE APROBACIÓN	i
AGRADECIMIENTOS	ii
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	v
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 PARÁMETROS DE ESTIMACIÓN	4
2.1.1 Estimación de altura	4
2.1.2 Técnicas de estimación	5
2.1.3 Instrumentos convencionales	5
2.1.3.1 Relascopio de Bitterlich	6
2.1.4 Aplicaciones de Smartphone	7
2.2 ERRORES DE MUESTREO	7
2.2.1 Error debido a equipos	8
2.2.2 Error del operador	9
2.2.3 Error debido al árbol	9
2.2.4 Cálculo de error	9
2.2.5 Error estadístico	9
3 MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1 FACTORES CLIMÁTICOS	11
3.2 SMARTPHONE	11
3.2.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DE APLICACIONES	12
3.2.2 Aplicaciones de Estimación directa	12
3.2.2.1 Clinómetro Florestal:	12
3.2.2.2 GLOBE Observer:	12
3.2.2.3 Smart Measure:	13
3.2.2.4 Measure Height:	13
3.2.2.5 MOTI:	13
3.2.2.6 Trees:	14

3.2.2.7	Tree – H:	14
3.2.3	Estimación indirecta	14
3.2.3.1	Clinometer:	14
3.2.3.2	Clinómetro:	14
3.2.3.3	Dioptra:	15
3.3	ELABORACIÓN DE INVENTARIO	15
3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	15
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1	SELECCIÓN DE APLICACIONES	17
4.2	MUESTREO A CAMPO	17
4.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	18
5	CONCLUSIONES	25
6	RESUMEN	26
7	SUMMARY	27
8	BIBLIOGRAFÍA	28
9	ANEXOS	30

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°

Tabla 1. Aplicaciones evaluadas por orden alfabético. (+) Indica más de	17
Tabla 2. Medidas resumen	18
Tabla 3. Prueba de Friedman para categoría de árboles altos	21
Tabla 4. Prueba de Friedman para categoría de árboles bajos	21
Tabla 5. Prueba de Kruskal Wallis para categoría árboles altos	22
Tabla 6. Prueba de Kruskal Wallis para árboles bajos.....	23

Figura N°

Figura 1. Corte longitudinal de relascopeo de Bitterlich.....	7
Figura 2. Histograma de datos de árboles altos	19
Figura 3. Histograma de datos de árboles bajos.	20
Figura 4. Gráfico de caja.....	23

1 INTRODUCCIÓN

Desde la creación de la Ley N° 15.939, segunda ley forestal, en nuestro país ha aumentado la cantidad de metros cúbicos de madera destinados a producir pulpa de celulosa, madera de calidad, biomasa y abrigo. Según datos de la Dirección General Forestal en 2020, la extracción de madera en rollo fue de 17.975 miles de metros cúbicos, de los cuales 3.511 corresponden a coníferas y 14.464 a otros (MGAP. DGF, 2021).

La posición geográfica, así como las características del clima y del suelo favorecen el crecimiento de varias especies de *Eucalyptus*, se encuentra en la latitud ideal para establecer monocultivos forestales y presentan importantes ventajas para la producción de celulosa (Graziano, 2010).

Este aumento de superficie plantada conduce a un mayor avance en la investigación y en el desarrollo en la producción. La altura, así como el diámetro de los árboles, son las variables determinadas con mayor frecuencia para realizar inventarios forestales, lo que permite una evaluación de la biomasa forestal, reservas de carbono y calcular incrementos.

Los cálculos de altura realizados en campo a distancias próximas a los árboles han sido históricamente determinados con instrumentos como el relascopio de Bitterlich, el clinómetro de Blume Leiss y el dendrómetro de Vertex, entre otros. El primero es el instrumento de medición convencional utilizado con mayor frecuencia en inventarios forestales, se destaca por presentar una alta precisión y fácil determinación de las variables dasométricas. Pese a esto, tiene un costo elevado, lo que dificulta su adquisición y utilización a campo.

Actualmente, con el avance de la tecnología, se ha intentado conseguir medidas de manera más rápida, exacta, con un menor costo y de forma práctica, con los Smartphone es posible descargar aplicaciones que permiten realizar medidas de altura y otros parámetros como diámetro a la altura del pecho (DAP) y volúmenes. Si bien estas aplicaciones resultan prometedoras porque facilitan la obtención de datos del inventario en campo, su falta de validación provoca problemas en su uso y no admite una correcta planificación del inventario y gestión forestal.

El presente trabajo tiene como objetivo general determinar la efectividad y precisión en la utilización de aplicaciones de Smartphone en comparación con el relascopio de Bitterlich para estimar la altura de los árboles.

Los objetivos específicos son:

- a) Evaluar diferentes aplicaciones de Smartphone para la medición de la altura de los árboles.

- b) Estimar la altura de los árboles con las referidas aplicaciones y con el relascopio de Bitterlich
- c) Comparar los resultados obtenidos utilizando las aplicaciones seleccionadas con los del relascopio de Bitterlich.
- d) Evaluar la exactitud de los resultados conseguidos con las aplicaciones.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La dasometría es la ciencia que se ocupa de la determinación de volúmenes y crecimientos de los árboles y de las masas forestales, así como del estudio de las relaciones métricas y leyes que rigen su desarrollo (Diéguez et al., 2005).

La cuantificación precisa del recurso maderero existente en un bosque es un elemento central en la planificación forestal; por tal motivo, la investigación y el desarrollo de métodos y modelos es tema de gran importancia, ya que permite propender a estimaciones más precisas y eficientes (Morás Loyarte, 2010).

La estimación correcta del volumen medio de un árbol, el cual se estima con su altura, es un factor que afecta la productividad de la cosecha debido a la existencia de rango de volúmenes en los cuales el harvester trabaja de manera óptima (Mannise y Sarries, 2010).

Los instrumentos convencionales utilizados para estimar la altura de árboles se dividen en dos grandes grupos: los basados en triángulos semejantes, donde es posible utilizar el hipsómetro de Christen y el de hipsómetro de Merrit; y los basados en principios trigonométricos, tales como el clinómetro de Blume Leiss, el clinómetro de Suunto y el relascopio de Bitterlich¹.

Actualmente, gracias a los avances tecnológicos se han implementado mejoras en el rubro de la forestación a distintos niveles en la ejecución de inventarios forestales (conteo y mensura), identificación de especies, monitoreo de bosques nativos y plantaciones forestales. Asimismo, otros beneficios, tales como caracterización del uso del suelo, fotointerpretación, evaluación sanitaria y estrés hídrico son compartidos con otras actividades agropecuarias (Guevara-Bonilla et al., 2020).

En el trabajo realizado por Bijak y Sarzynski en 2015, se concluyó que, pese a que con las aplicaciones Smarth Measure 2.3 y Smart tools 2014 se realiza una estimación bastante exacta de la altura de los árboles a diferentes distancias (15 y 20 m), se subestima su altura. Villasante y Fernandez (2014) arribaron a conclusiones similares con las aplicaciones Smart tools y Height tool. Los resultados obtenidos por estos autores muestran un error cuadrático medio de 1.01 a 2.46 m, los cuales son más altos a los alcanzados por otros autores mencionados por ellos (0.7 m y 0.63 a 0.86 m), argumentado que las diferencias se deben al tipo de Smartphone y a la altura de los árboles medidos.

¹ Moras, G. 2021. Medición de altura del árbol individual y en un bosque (sin publicar).

2.1 PARÁMETROS DE ESTIMACIÓN

Dentro de las variables que presentan un mayor interés en las actividades forestales se encuentran: diámetro, altura, espesor de corteza, crecimiento, dimensiones de copa y edad. En árboles en pie, rectos y en terreno plano, el diámetro a 1.3 m del suelo se define como el diámetro a la altura del pecho (DAP). Este parámetro y la altura del árbol, son muy utilizados porque son sencillos y económicos de estimar, y están muy relacionados con el volumen, el crecimiento y otros parámetros importantes de la masa forestal (Juárez, 2014).

2.1.1 Estimación de altura

Según el propósito de las mediciones, es posible considerar varios tipos de alturas: altura total, altura comercial y altura del fuste. Se define a la altura total de un árbol como la distancia entre la base de éste y el tope de su copa (Sorrentino, 2010).

La estimación de la altura se utiliza en diversas áreas forestales, permite el cálculo de volumen en m³ de árboles en pie o el seguimiento su crecimiento, entre otros. Según Gaudin y Richard (2014), citando a Pardé y a Pardé y Bouchon, la altura total se utiliza en particular para el seguimiento silvícola de mediciones regulares. Estos autores, citando a Franc y Houllier, mencionan que también se utiliza como índice de sitio para comparar el crecimiento de especies según los rodales.

La estimación es una lectura o valor de una variable particular, en este caso, altura de árbol, que es obtenida a partir de un instrumento (Diéguez et al., 2005). Dentro de un bosque o selva resulta difícil estimar la altura con precisión, ya que las copas se enciman unas con otras y desde la base no es posible determinar el punto más alto. Esto genera errores, lo que se comprueba cuando diferentes personas realizan una estimación de altura para el mismo árbol (Purata et al., 2016).

Existe una tecnología que permite estimar la altura remota de los árboles, LiDAR (por su sigla en inglés: Light Detection And Ranging), está integrada por un sistema de posicionamiento global (GPS) y sistemas de navegación inercial. Es un método activo de teledetección que se utiliza para obtener información espacial 3D (Wang et al., 2012).

Si bien presenta muchas ventajas como, por ejemplo, registros en zonas difíciles o inaccesibles, rápida obtención de datos, reducción del riesgo de error humano y la facilidad del procesamiento de datos, resulta muy costoso en tiempo y recursos². Se han encontrado resultados en los que las alturas de los árboles y las copas de estos son subestimadas (Munt et al., 2005)

² Moras, G. 2021. Sistemas LiDAR (sin publicar).

2.1.2 Técnicas de estimación

La determinación de la altura de un árbol se puede realizar a través de métodos directos e indirectos. Los primeros pueden ser de dos tipos: aproximados, los cuales dependen de la experiencia de quien lo realiza; o exactos, donde es posible tomar medidas a través de la estimación escalando el árbol (Sorrentino, 2010). Los segundos utilizan hipsómetros y se dividen en dos grupos según los principios utilizados:

- Principios geométricos: son basados en la relación entre triángulos semejantes. Es imprescindible graduar el instrumento por medio de fórmulas que realizan relaciones entre triángulos semejantes. Es muy sensible a la inclinación del árbol y al error del observador, según Husch et al., citados por Bragg et al. en 2011.

- Principios trigonométricos: utilizan las relaciones entre triángulos rectángulos. Es necesario mantener una determinada distancia horizontal entre el observador y el árbol. Por medio de esta técnica, se realizan dos lecturas, una de la parte basal y otra de la apical del árbol. Por medio de la suma o resta de estas se obtiene la altura del árbol, la cual depende la posición del observador con respecto al árbol: si está ubicado entre la base y el ápice del árbol, se suman las lecturas; de lo contrario, se resta la lectura mayor a la menor (Sorrentino, 2010).

2.1.3 Instrumentos convencionales

La estimación de la altura se realiza mediante instrumentos denominados hipsómetros. Para inventarios comerciales, los que se utilizan tienen principios geométricos: los hipsómetros de Christen y de Merrit. El primero está restringido a estimación de árboles individuales, debido a que hay que llevar una vara y, en general, es de 4 m de largo. Mientras que el segundo, a pesar de ser muy usado, es bastante inexacto (Sorrentino, 2010).

Para los principios trigonométricos, sin embargo, existe una mayor variedad de instrumentos, siendo el dendrómetro de Blume-Leiss, el hipsómetro de Haga, el clinómetro Suunto, el nivel Abney y el relascopio de Bitterlich los más utilizados convencionalmente.

Este último es uno de los instrumentos más conocidos para la estimación de altura (Romhan y Ramirez, 2010). Es considerado el más completo para realizar la mensura dasométrica, además de que permite medir con gran precisión (Imaña et al., 2014) y es muy favorable para uso práctico (Do Couto y Bastos, 1988). Según Bouchon, citado por

Gaudin y Richard (2014), el relascopio de Bitterlich permite corregir muy fácilmente para tener medidas de precisión, y, teniendo en cuenta sus cualidades, es ciertamente el dispositivo de mayor utilidad para el uso forestal.

2.1.3.1 Relascopio de Bitterlich

El relascopio de Bitterlich, se utiliza para estimar diámetro, área basal y altura. Para esta última, tal como se mencionó anteriormente, utiliza principios trigonométricos: la relación entre triángulos rectángulos determinada por la distancia del observador al árbol (Figura 1).

Este instrumento está graduado para posicionarse a 20, 25 y 30 m del árbol. La elección de la distancia no debe ser menor a la altura que será estimada, además la precisión es mayor cuando la distancia es equivalente a la altura del árbol. Si no es posible establecerse en la posición deseada para realizar la medida, debe ser ajustada en base a la siguiente fórmula:

$$H = h \times D/d$$

H = Altura real del árbol

h = Altura obtenida por suma o sustracción de lecturas

D = Distancia real de donde se realizaron las lecturas

d = Distancia correspondiente a la escala donde se realizaron las lecturas

En los casos en que las copas son redondeadas, sin un ápice bien definido, es preferible usar una distancia mayor para evitar estimar una altura equivocada (García et al., 1994). En caso de que el ángulo que se forma entre la visual del equipo y el ápice del árbol sea mayor a 45°, se debe utilizar una distancia mayor.

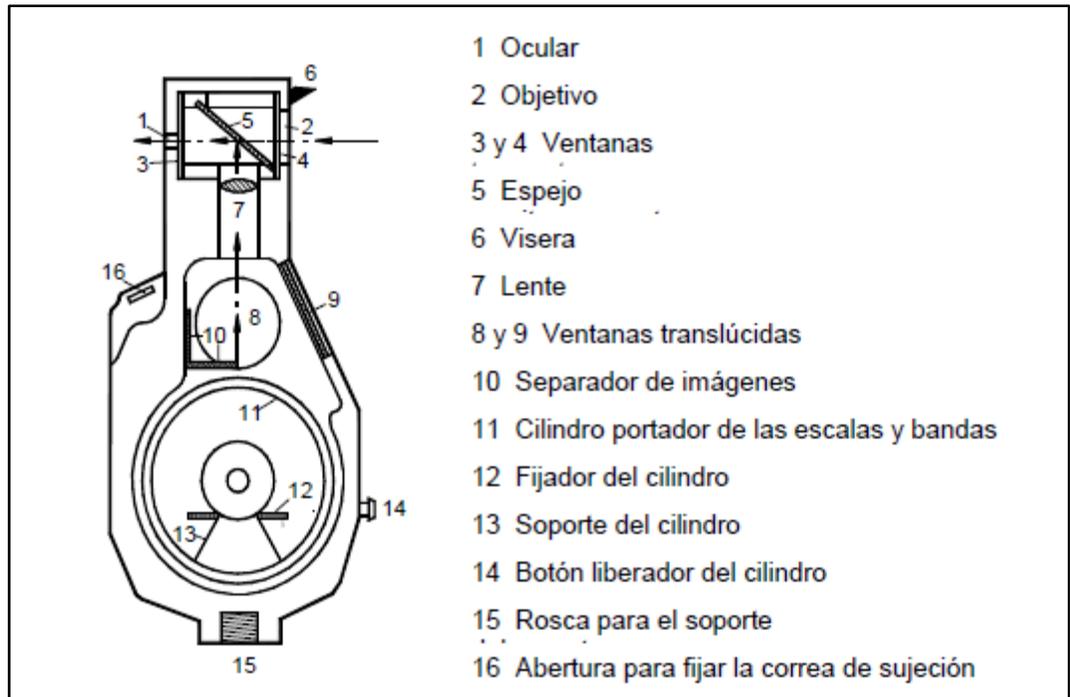


Figura 1. Corte longitudinal de relascopio de Bitterlich

2.1.4 Aplicaciones de Smartphone

Actualmente, es posible instalar aplicaciones con diferentes funcionalidades en los Smartphone, algunas de las cuales han sido desarrolladas específicamente con interés forestal, permitiendo estimar la altura de un árbol, diámetro, volumen de apilado, entre otros.

Varias aplicaciones disponibles en el sistema operativo móvil Android posibilitan estimar la altura utilizando datos recopilados por el dispositivo, evaluando la información obtenida por el acelerómetro y el giroscopio. Estos sensores detectan cambios en la posición y aceleración lineal a lo largo de tres ejes, y eso hace posible definir la inclinación del celular. Algunos hacen la estimación usando la imagen en la pantalla, la cual es corregida posteriormente, mientras que, en otros, lo logran apuntando con los bordes del teléfono (Villasante y Fernandez, 2014, Bijak y Sarzynski, 2015).

2.2 ERRORES DE MUESTREO

Muchas de las representaciones para realizar las medidas de altura de un árbol muestran un ejemplar idealizado, generalmente una conífera, con un tronco recto y la

punta de crecimiento más alta ubicada directamente sobre el centro del ápice. La realidad indica que no siempre es así, los árboles pueden presentar inclinaciones, bifurcaciones o grandes canopias (Bragg et al., 2011). Adicionalmente, pese a la “*expertise*” del observador y a que el instrumento utilizado sea preciso, la base del árbol no es una zona bien definida. Un error en la estimación en la altura del árbol de 1 m corresponde a un 14% del volumen de este (Do Couto y Bastos, 1988).

En terrenos donde la pendiente es igual o mayor a 4°, es decir, 6.99%, la distancia medida por la cinta métrica debe ser corregida (Sorrentino, 2010). La forma en que se procesan los datos depende de la posición que ocupe la vista del observador respecto al árbol, es decir si está entre la base y el ápice, por debajo de la base, o por encima del ápice (Diéguez et al., 2005).

Cuando se mide la altura de un árbol, su precisión no es absoluta. Dependiendo de su finalidad podrá variar más o menos entre 1 m y 10 cm. Para alcanzar mayor precisión es necesario considerar el factor tiempo y la experiencia de uso del instrumento específico. En la práctica común dasométrica, errores hasta 10 % del valor real de la altura son plenamente aceptables (Juárez, 2014; Villasante y Fernandez, 2014).

Los instrumentos contruidos por principios geométricos producen errores de estimación de hasta el 5 % del valor real (Juárez, 2014). Cuando las estimaciones son cuidadosamente realizadas, los resultados obtenidos a través del principio trigonométrico son más precisos de aquellos resultantes por principios geométricos (Juárez, 2014).

En el trabajo realizado por Bijak y Sarzynski en 2015, se determinó la presencia de un error sistemático en la estimación de la altura con la utilización de dos aplicaciones (Smart Measure y Measure Height) a una distancia de 15 y 20 m ($p < 0,001$). Estas fueron comparadas con la medida obtenida con el Hipsómetro de Suunto.

Los resultados de estimaciones más lejanas desde donde se tomaron las medidas dieron resultados con errores más bajos según Bijak y Sarzynski en 2015, mientras que para Villasante y Fernandez en 2014, los resultados fueron contrastantes.; lo cual puede deberse a que las alturas y las distancias eran menores.

2.2.1 Error debido a equipos

La presencia de errores en la fabricación puede ser un error (Diéguez et al., 2005). El correcto uso y mantenimiento de los aparatos es fundamental para no generar equivocación en la toma de datos, por esto es elemental su comprobación, conservación y mantenimiento (Do Couto y Bastos, 1988). Los smartphones adicionalmente requieren calibración para ajustar las medidas (Villasante y Fernandez, 2014).

Los equipos que presentan lecturas al momento de la visualización evitan los errores que se producen en los equipos en los cuales es necesario fijar la medida con un botón (Sorrentino, 2010).

2.2.2 Error del operador

Una inexactitud al momento de recolectar los datos puede deberse a una mala medida de la distancia del observador al árbol; la exactitud en la puntería para marcar la base y el ápice del árbol; equivocarse al hacer las lecturas, leer mal el valor que marca la escala o hacerlo en una escala distinta (distancia horizontal) y al redondeo de cifras. Otro error puede ser la ejecución de las lecturas antes de que el péndulo se haya estabilizado, en el caso de los hipsómetros o dendrómetros con sistemas pendulares (Diéguez et al., 2005).

2.2.3 Error debido al árbol

En casos donde la copa es globosa, o en los que existe una gran conicidad del árbol, no se evidencia con certeza la posición del ápice de estos, con lo cual se puede estar sobre o subestimando la altura. También sucede cuando los árboles no se encuentran perpendiculares al suelo, es decir, están inclinados, y no se ajusta la altura en función del ángulo de inclinación.

2.2.4 Cálculo de error

Según Juárez (2014) podemos distinguir dos tipos de errores:

- Error absoluto: es la diferencia entre el valor de la medida y el valor tomado como exacto. Puede ser positivo o negativo, según si la medida es superior al valor real o inferior. Tiene las mismas unidades de medida que la medida estimada.
- Error relativo: es el cociente entre el error absoluto y el valor exacto. Si se multiplica por 100, se obtiene el tanto por ciento (%) de error. Al igual que el error absoluto, puede ser positivo o negativo. No tiene unidades de medida.

2.2.5 Error estadístico

Desde el punto de estimación se deben hacer dos o tres lecturas y luego obtener el promedio de estas (García, 1995). La desviación de esas lecturas no debe ser mayor de $\pm 2,5$ % del valor promedio; si no es así se deben repetir las estimaciones (Diéguez et al., 2005, Juárez, 2014).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Los árboles escogidos para su medición se ubican en los predios de la Facultad de Agronomía, del Jardín Botánico Prof. Atilio Lombardo y del Parque Batlle. Las medidas fueron tomadas en noviembre de 2021 y febrero de 2022. Para el registro de la altura del árbol se estimó la altura total, dada por la distancia entre la base y el ápice del árbol. Se utilizó el relascopio de Bitterlich y se seleccionaron aplicaciones de Smartphone.

Los árboles elegidos pertenecen a diferentes familias y géneros de plantas vasculares, pero esta información no fue registrada porque se entiende que no contribuía a los resultados que se esperaba obtener. Se utilizaron árboles pertenecientes bosque parque, con copa globosa y cónica, con diferente follaje y estado fenológico. Es importante destacar que éstas no son las condiciones en las cuales se encuentra un rodal habitualmente, copa cerrada y con alta densidad de plantación, como puede ser en casos de plantaciones con destino a pulpa de celulosa.

Se determinó un tamaño de muestra formado por dos categorías con 30 árboles denominados “altos”, los cuales presentan una altura total igual o mayor a 15 m, y 30 árboles denominados “bajos”, con una altura total menor a 15 m y mayor a 5 m.

La selección de árboles fue al azar, donde se eligieron árboles de fuste recto y que no presentaran una bifurcación por debajo del DAP. Se tomó la consideración de que la pendiente no superara el 5%. Para las mediciones con Smartphone se realizó la calibración cada vez que se comenzaba con las mediciones en campo. Todas las medidas para la obtención del inventario fueron tomadas por una misma persona, permitiendo disminuir fuentes de error, como por ejemplo en la ubicación precisa del ápice y la base del árbol.

En ambas categorías (altos y bajos), para cada individuo se tomaron tres repeticiones para la estimación de la altura total, donde posteriormente se calculó el promedio. Se tuvo en consideración que las lecturas no superaran valores 2.5% mayores o menores al promedio; en caso de ocurrir esto, se volvía a medir el árbol para nuevamente calcular su altura hasta que no existiera la referida diferencia. La cuantificación de la altura no se tomó en forma consecutiva, sino que se realizó la primera medida para varios árboles, luego la segunda y posteriormente la tercera. De esta forma no se obtuvieron datos sesgados, evitando ajustar la altura al valor previamente obtenido de manera involuntaria.

La distancia entre el punto donde se tomó la medida y el árbol fue equivalente a su altura total, y su determinación se efectuó con cinta métrica. Las lecturas se realizaron cada 5 m hasta posicionarse a la altura equivalente del árbol, ajustando la misma hasta 2.5 m por encima o por debajo en los casos necesarios. En aquellos casos en que las

aplicaciones no permitieron ajustar la distancia para tomar la medida, la altura del árbol fue corregida en base a la ecuación de la sección 2.1.3.1.

La obtención de la altura varía en cada una de las aplicaciones, siendo de forma directa cuando presenta la altura total estimada ingresando la distancia al árbol, o indirecta, cuando presenta lectura parcial superior e inferior en grados para luego ser calculada por medio de la distancia al árbol.

3.1 FACTORES CLIMÁTICOS

Los factores climáticos influyen de manera directa en la toma de datos en campo. No fueron tomadas medidas durante días de lluvia debido a la dificultad que presenta, en primera instancia, el manejo adecuado del teléfono móvil, y, en menor medida, el relascopio de Bitterlich.

La luminosidad y la sombra son factores que influyen de manera importante en la mensura del árbol: para la lectura de la base, es favorable la presencia de luz y la ausencia de sombras, mientras que, en el caso del ápice, la luminosidad representa un problema. Las estimaciones fueron realizadas de manera indistinta a lo largo del día para evitar el sesgo al momento de calcular las alturas por la posición del sol y la sombra.

Tampoco se realizó actividad a campo en los días con mucho viento, ya que es otro factor que dificulta la estimación de la altura, impidiendo fijar de manera correcta el objetivo, en particular en las aplicaciones donde no es posible fijar la altura o ángulo porque solo brindan el valor que se está observando.

En situaciones particulares como en presencia de un terreno que poco firme, o en momentos con mayor intensidad de viento, o por el simple hecho de apretar muy fuerte la pantalla del celular, se presentaron pequeñas diferencias entre el valor observado y el registrado posteriormente. Si bien, esto fue tenido en cuenta al momento de anotar el valor, y se repetía la medición cuando sucedía, puede traducirse en un error en la estimación de la altura cuando se realizan medidas de manera rápida.

3.2 SMARTPHONE

Las medidas fueron tomadas por una sola persona, se utilizó únicamente un equipo para prevenir errores al momento de coleccionar los datos por diferencias entre equipos móviles. Se utilizó el celular Xiaomi Redmi 9T (modelo m2010j19sl), con una versión de Android N°10 (10 QKQ1.200830.002), una resolución de cámara 8 MP gran angular.

Para seleccionar las aplicaciones de Smartphone se procedió a ranquear aquellas disponibles en la plataforma Google Play, utilizando como criterios el puntaje de la aplicación, luego la cantidad de descargas y, por último, las opiniones de los usuarios. Adicionalmente se buscó que todas las aplicaciones fueran de descarga gratuita.

3.2.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DE APLICACIONES

Los datos de altura pueden ser recogidos por las aplicaciones de manera directa o indirecta. En el primer caso, se ingresa la distancia al árbol, se posiciona en el ápice y base, donde posteriormente se obtiene un valor de altura. En el segundo caso, en estas aplicaciones no se incorpora de forma previa ninguna información a la medición, los datos de base y altura se obtienen rápidamente. Por el contrario, los resultados son expresados en ángulos en grados sexagesimales y para estimar la altura deben ser convertidos a radianes, lo cual implica la ejecución de un mayor número de pasos y fórmulas más complejas, lo cual es una limitante a campo para obtener los resultados en el momento.

Se evaluó la operatividad y velocidad de utilización a campo de todas las aplicaciones, y su posibilidad de su utilización sin acceso a internet o ubicación con GPS.

La interfaz de las aplicaciones es variada. A su vez, en su mayoría se utilizaban con el celular en posición vertical, con excepción de las aplicaciones Dioptra y Clinômetro Florestal, que se hacía en posición horizontal.

3.2.2 Aplicaciones de Estimación directa

3.2.2.1 Clinômetro Florestal:

Esta aplicación permite ingresar de manera manual la distancia al árbol y posteriormente estimar la altura del árbol midiendo la base y el ápice. Presenta una interfaz muy simple y es una aplicación muy sencilla de utilizar, solo se puede tomar medidas de manera horizontal.

3.2.2.2 GLOBE Observer:

Es una aplicación desarrollada por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y el Programa Global de Aprendizaje y Observaciones para Beneficiar al Medio Ambiente (GLOBE). Está diseñada para recopilar y enviar información con la finalidad de contribuir al conocimiento científico. Presenta cuatro proyectos, y uno de ellos es GLOBE Trees. Al momento de efectuar la medida solicita información previa de la superficie donde se encuentra el árbol. Se toman medidas de la base y del ápice. Permite ingresar la distancia al árbol en pasos, donde cada uno mide 0.66

m. Previo a obtener la estimación de altura posibilita la opción de agregar una foto del individuo, ingresar el DAP y su ubicación geográfica.

Esta aplicación es algo más compleja de utilizar respecto a las otras, y llegar a la estimación toma algo más de tiempo porque se debe convertir la distancia del árbol a cantidad de pasos. Otra desventaja que tiene es que no se puede emplear si no se ingresa las coordenadas geográficas; pero presenta virtudes como la calidad de imagen, la posibilidad de volver a tomar la medida de la base o ápice del árbol sin tener que comenzar todo el proceso nuevamente, y aplicar zoom para una mejor visualización.

3.2.2.3 Smart Measure:

Esta aplicación mide la distancia y la altura de un objetivo mediante principios trigonométricos. En primera instancia determina la distancia al árbol y posteriormente solo se toma la medida del ápice para el cálculo de altura. Al comenzar a realizar la toma de medidas a campo, se observó que la sombra del árbol o la variación en luminosidad u oscuridad que puede haber en la base del árbol no permite estimar correctamente la distancia a este. Se evidenció que en algunos casos la altura es subestimada y en otras sobrestimada. Dado que no permite ingresar manualmente la distancia al árbol para estimar la altura, esta aplicación no fue tenida en cuenta para realizar las comparaciones.

3.2.2.4 Measure Height:

Es una aplicación muy sencilla de utilizar en la cual se puede optar por medir distancia y altura, o solamente altura, permitiendo ingresar este parámetro de forma manual. Cuando se procede a la toma de las medidas tiene el inconveniente de ser muy sensible a pequeños movimientos, como los producidos por el viento, generando oscilaciones en los valores lo que implica que se deben tomar varias veces las medidas para obtener valores certeros.

3.2.2.5 MOTI:

Tiene diversas funcionalidades permitiendo calcular área basal, basimétrica y volumen de apilado, además de la altura del árbol. Tiene la ventaja que permite calibrar el celular previo a la realización de los cálculos. Para estimar la altura del árbol es necesario llevar una barra con altura conocida, esto dificulta la movilidad y la realización de un inventario a campo, motivo por el cual no fue tenida en cuenta para la comparación con el relascopio de Bitterlich.

3.2.2.6 Trees:

Utiliza los principios trigonométricos para realizar la estimación de la altura. Permite ingresar cualquier distancia desde el observador al árbol para su estimación, y tiene la facilidad de realizar zoom para una mayor precisión en la medida. Adicionalmente se puede registrar el DAP y la especie de una lista determinada. Esta aplicación es muy sencilla de utilizar, se debe ingresar la distancia a la cual se encuentra del árbol y luego se toman las lecturas de ápice y base del árbol. Una vez que se dispone de esos datos se selecciona la opción “Calcular” y se obtiene la estimación de la altura.

3.2.2.7 Tree – H:

Permite obtener una estimación de la altura de los árboles a través de diferentes metodologías: hipsómetro de Christen, Waking stick e hipsómetro de Haga. Esta última fue la utilizada para realizar las estimaciones. Pueden obtenerse los datos a distancias establecidas de 15, 20, 25 y 30 m midiendo la base y el ápice del árbol.

Es una aplicación sencilla de utilizar, en la cual se obtienen rápidamente las estimaciones de altura de árboles. Como principal limitante se puede indicar que no está desarrollada para árboles de bajo porte, por lo cual para alturas menores a 15 metros se debe ajustar posteriormente la altura obtenida mediante fórmula. La mira tiene un tamaño grande, lo que dependiendo la distancia al árbol dificulta la correcta identificación de la base o ápice.

3.2.3 Estimación indirecta

3.2.3.1 Clinometer:

La principal virtud de esta aplicación es la rapidez en la toma de datos, tiene la complejidad de mostrar datos en diferentes planos lo cual puede conducir a errores de lectura. La aplicación cuenta con la opción de calibrar el celular antes de efectuar la medida. Su principal restricción radica en que se pueden generar errores por parte de la persona que toma las medidas al leer los datos, ya que no arroja solamente los ángulos medidos.

3.2.3.2 Clinómetro:

Esta aplicación se utiliza para determinar el ángulo en grados sexagesimales, con respecto a la vertical. Su funcionamiento es simple y posee una buena calidad de imagen.

Presenta una mira que facilita la selección de los puntos y la lectura obtenida queda registrada, pero no permite realizar zoom.

3.2.3.3 Dioptra:

Esta aplicación de medición indirecta funciona en posición horizontal y los valores obtenidos son en grados sexagesimales, los cuales luego deben ser convertidos para obtener la estimación de la altura del árbol. Al momento de realizar la lectura no permite fijar el valor inferior ni superior, lo cual dificulta la correcta lectura y cálculo de la altura.

3.3 ELABORACIÓN DE INVENTARIO

Previamente a la toma de datos, se realizaron sesiones de entrenamiento para perfeccionar la técnica en las estimaciones de altura para todas las aplicaciones y el relascopeo de Bitterlich. En todos los casos se utilizó un trípode para estandarizar la ubicación del instrumento, quedando la medición de los individuos a la altura de 1.53 m. Asimismo, permitió evitar el cambio en la posición del aparato de medida, lo cual arrojaría mediciones incorrectas.

La metodología aplicada fue la siguiente:

- 1) Verificación de la pendiente del terreno.
- 2) Selección de árboles
- 3) Determinación de la distancia en función de la altura del árbol.
- 3) Medición de la distancia con cinta métrica.
- 4) Fijación de la altura de equipo sobre el suelo.
- 5) Selección de instrumento de medición: aplicación de Smartphone o relascopeo de Bitterlich.
- 6) Enfoque de la base y el ápice de un árbol.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se utilizó el software estadístico InfoStat 2020/L, donde se realizaron los análisis de varianza. En primera instancia se efectuó el supuesto de normalidad utilizando el test de Shapiro-Wilks, es decir, se analizó si las categorías medidas con cada instrumento se distribuyen de manera semejante a una distribución normal. Luego, se efectuó la prueba de Friedman para comprobar la presencia de diferencias significativas entre el relascopeo de Bitterlich y las aplicaciones.

Posteriormente, se identificaron las aplicaciones con la mayor exactitud a partir de la ejecución de la prueba de Kruskal Wallis. Adicionalmente, se realizó la prueba de correlación de Sperman.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 SELECCIÓN DE APLICACIONES

Se seleccionaron 10 aplicaciones de Smartphone de Google Play Store, considerando los criterios indicados en el apartado 3 (Tabla 1).

Tabla 1. Aplicaciones evaluadas por orden alfabético. (+) Indica más de

Aplicación	Puntaje	Descargas	Opiniones
Clinometer	4,4	1.000+	16
Clinómetro	4,6	>50K	1083
Clinômetro Florestal	3,8	10.000+	61
Dioptra	4,3	100,000+	1.114
Globe	3,6	100.000+	1045
Measure Height	2,5	100.000+	662
MOTI	4,4	10.000+	98
Smart Measure	3,4	10,000,000+	139.314
Tree-H (free)	3,8	10.000+	58
Trees	3,4	10.000+	24

En el Anexo 1 se presenta la lista de aplicaciones, y los sitios web desde los cuales se pueden descargar.

4.2 MUESTREO A CAMPO

Todas las aplicaciones fueron evaluadas previamente en campo, y se resolvió retirar de la evaluación a MOTI y Smart Measure debido a diferencias en aspectos prácticos para el cálculo de la altura. La primera, debido a que para realizar el cálculo se necesita una barra de un tamaño conocido, lo cual se comprobó que no sería viable para realizar medidas en campo para obtener inventarios forestales rápidos. La segunda, obliga al cálculo de la altura con la distancia al árbol tomada por la aplicación, la cual presenta una gran imprecisión en su estimación según la posición del sol por la sombra en la base del árbol o la luminosidad en la copa, por lo que no se obtendrían resultados confiables.

Todas las aplicaciones pueden ser utilizadas sin acceso a internet, lo cual es fundamental para su correcto empleo en campo, debido a que es muy común la pérdida de señal en determinadas zonas, sobre todo dentro del rodal.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las medidas resumen obtenidas previo al desarrollo de las pruebas estadísticas para el testigo (relascopio de Bitterlich) y todas las aplicaciones para las categorías de árboles altos y bajos obtenidas por el software informático Infostat, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Medidas resumen

Categoría	Método	Variable	n	Media	D.E	Var (n-1)	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana
Alto	Relascopio de Bitterlich	Prom	30	22,5	4,5	20,5	0,8	20,1	15,6	31,0	22,8
Alto	Clinometer	Prom	30	6,5	1,3	1,7	0,2	20,2	4,6	9,0	6,2
Alto	Clinómetro	Prom	30	17,6	3,6	12,8	0,7	20,4	12,2	24,5	17,7
Alto	Clinómetro Florestal	Prom	30	21,9	4,3	18,9	0,8	19,8	14,9	31,2	22,4
Alto	Dioptra	Prom	30	21,3	4,5	20,3	0,8	21,2	14,9	30,0	21,6
Alto	Globe Observer	Prom	30	24,8	5,3	27,8	1,0	21,3	17,0	36,4	24,2
Alto	Mesure Height	Prom	30	19,6	3,8	14,5	0,7	19,4	13,4	27,5	19,3
Alto	Tree-H	Prom	30	23,1	4,6	21,3	0,8	20,0	15,8	32,6	23,1
Alto	Trees	Prom	30	22,9	4,4	19,4	0,8	19,2	15,9	31,3	23,2
Bajo	Relascopio de Bitterlich	Prom	30	8,4	2,8	7,8	0,5	33,2	5,0	14,5	7,8
Bajo	Clinometer	Prom	30	2,6	0,8	0,7	0,2	30,7	1,6	4,4	2,4
Bajo	Clinómetro	Prom	30	6,9	2,2	4,8	0,4	32,0	4,1	11,6	6,3
Bajo	Clinómetro Florestal	Prom	30	8,4	2,8	7,7	0,5	33,0	4,8	14,4	7,4
Bajo	Dioptra	Prom	30	8,2	2,7	7,3	0,5	33,0	4,8	13,8	7,6
Bajo	Globe Observer	Prom	30	9,4	2,9	8,7	0,5	31,4	5,7	15,8	8,5
Bajo	Mesure Height	Prom	30	7,6	2,5	6,5	0,5	33,3	4,6	13,1	6,9
Bajo	Tree-H	Prom	30	8,7	2,9	8,5	0,5	33,6	5,1	14,9	7,8
Bajo	Trees	Prom	30	8,7	3,0	8,9	0,5	34,3	5,0	15,4	7,9

Se considera que las medidas exactas de los árboles es la obtenida por el relascopio de Bitterlich: el más alto estimado fue de 31 m, y el más bajo de 5 m. Por otra parte, la aplicación Clinometer presenta valores de media de 6,5 m para árboles altos y de 2,3 m para árboles bajos. Si bien en este último la diferencia con la media obtenida con el instrumento control es menor, en ambos casos no deja de ser importante.

La diferencia entre los valores de media entre cada aplicación y el relascopio de Bitterlich para la categoría de árboles altos fue mayor que para los bajos en todas las aplicaciones, lo que puede deberse a la dificultad que existe en obtener una mayor exactitud cuando los árboles son altos, complicando la selección correcta del ápice y de la base. Adicionalmente, los árboles con copa cónica fueron la minoría por lo que esto determinaría una mayor imprecisión con más altura del árbol.

Luego de analizadas las principales variables de la población se realizó una prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks para comprobar si se cumplen los supuestos para una distribución normal. Los resultados arrojan un p-valor muy bajo ($<0,0001$) tanto para árboles altos como para bajos. Esto indica que no existe una distribución normal de las mediciones obtenidas en campo, lo cual puede deberse a la diferencia en los árboles medidos, donde la variación de las especies y su estado fenológico proporciona árboles de distinto porte y tamaño, donde a su vez, la base y copa de los árboles varía de manera considerable.

En el histograma de la Figura 2 se observa la distribución de los árboles altos, donde se aprecia la existencia de valores muy por debajo del límite mínimo fijado de 15 m para esta categoría. Esto se debe a los resultados obtenidos por la aplicación Clinometer, donde todos sus valores obtenidos fueron menores a los leídos por el relascopeo de Bitterlich.

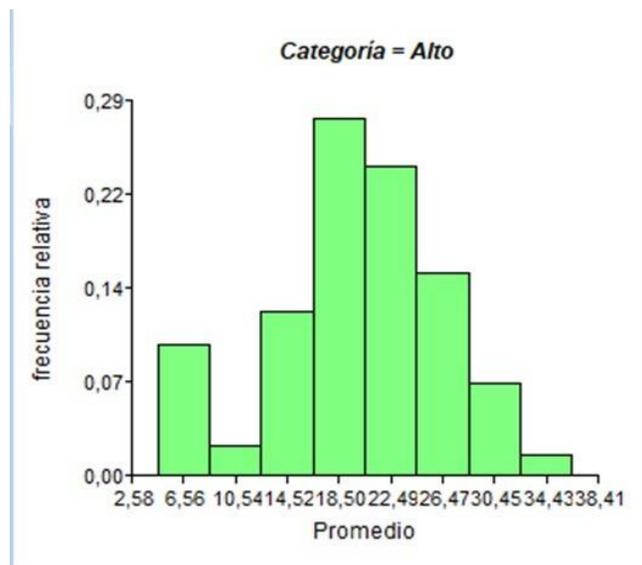


Figura 2. Histograma de datos de árboles altos

La distribución no normal de la categoría árboles bajos se evidencia en la Figura 3, donde nuevamente se presentan valores fuera del rango de medida preestablecido, siendo en este caso menor al límite inferior de 5 m. Nuevamente, la aplicación Clinometer presenta la gran mayoría de los valores bajos. Si bien existen algunos otros resultados puntuales para otras aplicaciones, se encuentran dentro del error esperable, próximos al mínimo de 5 m.

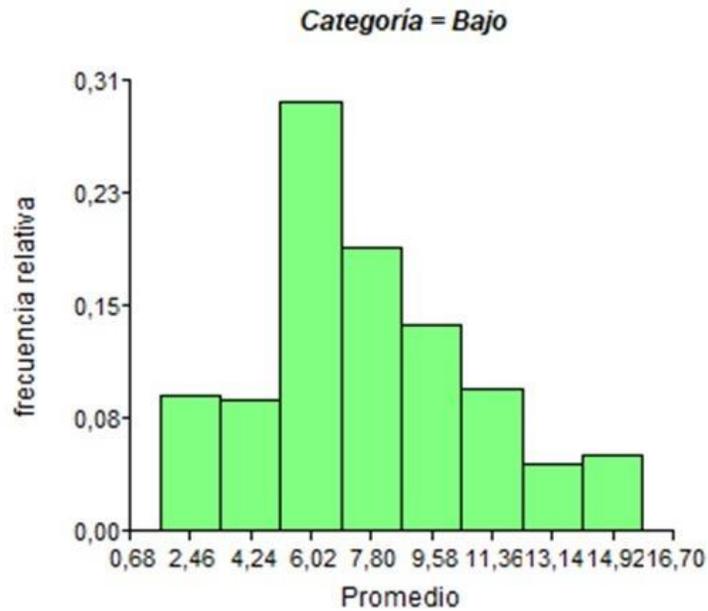


Figura 3. Histograma de datos de árboles bajos.

Posteriormente, se realizó un análisis de varianza no paramétrica mediante la prueba de Friedman para verificar la significancia entre el relascopeo de Bitterlich y las diferentes aplicaciones evaluadas para las dos categorías de árboles con valor p igual a 0,05.

Para la categoría de árboles altos se observa que existen diferencias significativas entre el relascopeo de Bitterlich y todas las aplicaciones (Tabla 3), es decir que ninguna de las aplicaciones estima la altura del árbol como este. Asimismo, se aprecia que las aplicaciones Trees y Tree-H no presentan diferencias significativas entre ellas.

Tabla 3. Prueba de Friedman para categoría de árboles altos

Tratamiento	n	Significancia con $p>0,05$
Clinometer	30	A
Clinómetro	30	B
Mesure Height	30	C
Dioptra	30	D
Clinómetro Florestal	30	E
Reliscopio de Bitterlich	30	F
Trees	30	G
Tree-H	30	G H
Globe Observer	30	I

Al analizar los datos obtenidos para la categoría de árboles bajos se observa que la única aplicación que no presenta diferencias significativas con el instrumento control es Clinómetro Florestal. Al igual que para la categoría de árboles altos, las aplicaciones Trees y Trees H tampoco presentaron diferencias significativas entre ellas (Tabla 4).

Tabla 4. Prueba de Friedman para categoría de árboles bajos

Tratamiento	n	Significancia con $p>0,05$
Clinometer	30	A
Clinómetro	30	B
Mesure Height	30	C
Dioptra	30	D
Clinómetro Florestal	30	E
Reliscopio de Bitterlich	30	E F
Tree-H	30	G
Trees	30	G H
Globe Observer	30	I

Tal como evidencian los resultados de la prueba de Friedman categorizando por rango de altura, Clinómetro Florestal no presenta diferencias significativas para árboles bajos, pero sí en árboles altos. Se realizó nuevamente la prueba sin categorizar entre árboles altos y bajos con la finalidad de definir la significancia cuando se evaluaban los valores en su conjunto y los resultados obtenidos arrojaron que existieron diferencias significativas.

Los datos anteriores son concluyentes: para realizar un inventario forestal para árboles con altura entre 5 y 31 m ninguna de las aplicaciones estudiadas es comparable en exactitud de la medición con el relascopeo de Bitterlich. Sin embargo, para árboles de entre 5 y 15 m, puede utilizarse la aplicación Clinómetro Florestal en lugar del relascopeo de Bitterlich.

Se realizó también la prueba de Kruskal Wallis para evaluar la significancia en la exactitud de las aplicaciones tomando como referencia el valor promedio obtenido con el relascopeo de Bitterlich. Los resultados alcanzados para la categoría de árboles altos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Prueba de Kruskal Wallis para categoría árboles altos

Tratamiento	n	Significancia con $p > 0,05$		
Trees	30	A		
Tree-H	30	A		
Clinómetro Florestal	30	A		
Dioptra	30	B		
Globe Observer	30	B	C	
Mesure Height	30	C		D
Clinómetro	30	D		
Clinometer	30	E		

Las aplicaciones que tienen la misma exactitud son Trees, Tree-H y Clinómetro Florestal, no observándose diferencias significativas entre ellas con un valor de confianza mayor al 95%.

Los resultados obtenidos para árboles bajos se presentan en la Tabla 6, se observa que las aplicaciones que tienen la misma exactitud respecto al relascopeo de Bitterlich y que no muestran diferencias significativas son Dioptra, Trees, Tree-H y Clinómetro Florestal (las mismas tres observadas con árboles altos).

Tabla 6. Prueba de Kruskal Wallis para árboles bajos

Tratamiento	n	Significancia con $p > 0,05$
Dioptra	30	A
Trees	30	A
Clinómetro Florestal	30	A
Tree-H	30	A
Mesure Height	30	B
Globe Observer	30	B
Clinómetro	30	C
Clinometer	30	D

En la Figura 4, se presenta la distribución de los datos para las dos categorías, observándose que, para la categoría bajos, las aplicaciones Trees, Tree-H, Clinómetro Florestal y Dioptra tienen exactitudes muy similares. Dioptra, además, se observa además carece de valores extremos como sucede con las otras tres aplicaciones.

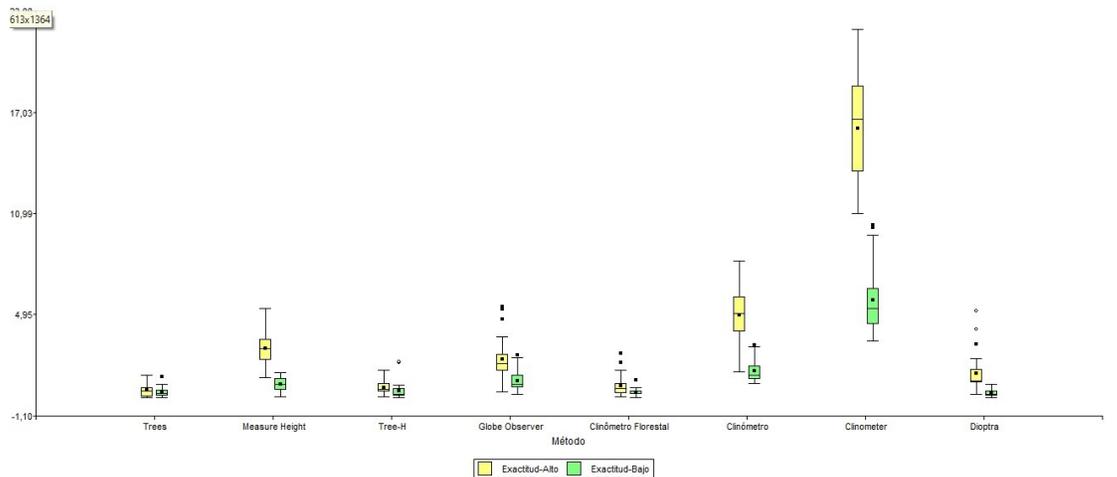


Figura 4. Gráfico de caja

En la categoría de árboles altos se repite la misma situación, pero con las aplicaciones Trees, Tree-H y Clinómetro Florestal. Únicamente la aplicación Clinómetro Florestal presenta valores de altura extremadamente altos.

Estos resultados permiten aumentar las posibilidades de seleccionar aplicaciones para todas las medidas de árboles desde 5 hasta 31 m. Para árboles de hasta 15 m, es preferible utilizar la aplicación Clinómetro Florestal.

Tal como se detalla en la revisión bibliográfica, para tomar una correcta medida de la altura de los árboles, hay que posicionarse a una distancia equivalente de éstos. En campo, las medidas fueron tomadas a la distancia equivalente en múltiplo de 5 m, ajustando la distancia 2,5 m por encima o por debajo según cada caso. Es por ello que se evaluó si hay una correlación en cuanto a la similitud existente entre la altura del árbol estimada y la distancia a la cual se midió respecto a las tomadas con el relascopeo de Bitterlich. Los resultados para ambas categorías de árboles indicaron que no existía correlación.

La categoría de árboles altos presentó un valor mayor de p-valor, lo que puede deberse a que las diferencias en árboles grandes fueron menos proporcionales que en los árboles chicos.

5 CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados no permiten seleccionar una única aplicación que pueda ser utilizada en campo para todas las alturas de árboles; sin embargo, aquellos obtenidos con la aplicación Clinômetro Florestal no presentan diferencias significativas con el relascopeo de Bitterlich para árboles de entre 5 y 15 m, y exhiben alta exactitud en todas las categorías, por lo que es una de las que se considera más conveniente para operar en campo.

6 RESUMEN

Los inventarios forestales permiten proyectar y estimar la cantidad de volumen de madera de un rodal. Históricamente el registro de los parámetros ha sido colectado a campo por medio de herramientas convencionales como el relascopeo de Bitterlich, con la que se estima la altura de los árboles. Con el avance de las nuevas tecnologías se han desarrollado diversas aplicaciones en teléfonos celulares que permiten la estimación de las alturas de los árboles. Por este motivo, el objetivo del presente trabajo es la evaluación y selección de aplicaciones de la plataforma Android para ser comparadas con los resultados obtenidos con el relascopeo de Bitterlich. Se evaluaron las aplicaciones Clinometer, Clinometro, Clinômetro Florestal, Dioptra, Globe, Measure Height, MOTI, Smart Measure, Tree-h y Trees. Se consideró un total de 60 árboles, los que fueron divididos en dos categorías: árboles bajos, con un tamaño de 5 a 15 m, y árboles altos, con un tamaño de entre 15 y 30 m. Los árboles seleccionados en el trabajo de campo se encontraban en bosques parque de la ciudad de Montevideo, buscando que no fueran homogéneos entre sí. Clinômetro Florestal no presenta diferencias significativas con el relascopeo de Bitterlich para árboles de entre 5 y 15 m, y exhiben alta exactitud en todas las categorías, por lo que es una de las que se considera más conveniente para operar en campo.

Palabras clave: Altura de árbol, relascopeo de Bitterlich, aplicaciones de celular.

7 SUMMARY

Forest inventories allow us to project and to estimate wood's volume within a rodal. Historically records have been collected esignedt the field by using conventional tools such as the Bitterlich relascope which can be used to measure tree's heights. With the development of new tools, new mobile based applications have been esigned allowing us to measure tree's heights on smartphones. In this vein, this paper/exercise 's main goal has been to evaluate and to determine the best Android designed applications by comparing their results which the ones from the Bitterlich relascope. The Clinometer, Clinometer, Clinômetro Florestal, Dioptra, Globe, Measure Height, MOTI, Smart Measure, Tree-h and Trees applications were evaluated. A total of sixty (60) tress were considered which have been divided into two (2) categories; smaller trees between 5 and 15 cm and longer tress between 15 and 30 cm. All trees were selected to be heterogeneous and distributed among local parks within the city of Montevideo. Clinômetro Florestal do not present significant differences with the Bitterlich relascope for trees between 5 and 15 m, and exhibit high accuracy in all categories, which is why it is one of the most convenient to operate in the field.

Keywords: Tree height, Bitterlich relascope, cell phone applications.

8 BIBLIOGRAFÍA

1. Bijak, S.; Sarzynski, J. 2015. Accuracy of smartphone applications in the field measurements of tree height. *Folia Forestalia Polonica. Series A. Forestry*. 57(4): 240 – 244.
2. Bragg, D.; Frelich, L.; Leverett, R.; Blozan, W.; Luthringer, D. 2011. The sine method: an alternative height measurement technique. Asheville: USDA. 12 p. (Research Note no. 22).
3. Diéguez, U.; Castedo, F.; Barrio, M.; Rojo, A. 2005. *Prácticas de dasometría*. Lugo, Unicopia. 121 p.
4. Do Couto, H. T. Z.; Bastos, N. L. M. 1988. Erros de medição de altura em povoamentos de Eucalyptus em região plana. *IPEF*. no. 39: 21 – 37.
5. García, O.; Salas, S.; Zunino, C. 1994. Normas para la instalación y medición de parcelas permanentes en plantaciones de Eucalipto. s.l., Instituto Forestal. 54 p.
6. _____. 1995. *Apuntes de mensura forestal I: estática*. Valdivia, Universidad Austral de Chile. 67 p.
7. Gaudin, S.; Richard, J. B. 2014. Comparaison des dendromètres Vertex III et TruPulse 200b pour la mesure de la hauteur totale des arbres. *Revue Forestière Française*. 66(2): 163 – 181.
8. Graziano, A. 2010. ¿Quién habla de forestación?: polisemia ambiental y conflictos sociales en Uruguay. (en línea). *Revista de Ciencias Sociales*. 23(26): 84 – 94. Consultado oct. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12008/6712>.
9. Guevara-Bonilla, M.; Meza-Leandro, A. S.; Esquivel-Segura, E. A.; Arias-Aguilar, D.; Tapia-Arenas, A.; Meléndez, F. M. 2020. Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. *Revista Tecnología en Marcha*. 33(4): 77 – 88.
10. Imaña, J.; Jiménez, J.; Rezende, A.; Imaña, C.; Santana, O.; Meira, M. 2014. *Conceptos dasométricos en los inventarios fitosociológicos*. 2da. ed. Brasilia, Universidad de Brasilia. 90 p.
11. Juárez, F. 2014. *Apuntes de clase y guía de actividades prácticas: dasometría*. Cochabamba, s.e. 103 p.

12. Mannise, G.; Sarries, J. P. 2010. Estudio de tiempos y rendimientos en cosecha forestal altamente mecanizada. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 47 p.
13. MGAP. DGF (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2021. Resultados cartografía forestal 2021. Montevideo. s.p. Consultado 7 oct. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/resultados-cartografia-forestal-2021>.
14. Morás Loyarte, G. 2010. Tablas de volumen de Eucalyptus globulus ssp. globulus al sur del Río Negro. Tesis Mag. en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 110 p.
15. Munt, M. C.; Casellas, E. B.; García, A. R. 2005. Aplicación de la tecnología LIDAR al estudio de la cubierta vegetal. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. no. 19: 71 – 77.
16. Purata, S.; Gerez, P.; Peters, C. 2016. Manual para el monitoreo comunitario del crecimiento de árboles. México: PPI. 50 p.
17. Romhan, C. F.; Ramírez, H. 2010. Dendrometría. Texcoco, Universidad Autónoma de Chapingo. 312 p.
18. Sorrentino, A. 2010. Manual teórico - práctico: técnicas e instrumentos de medición forestal. Montevideo, Facultad de Agronomía. 99 p.
19. Villasante, A.; Fernández, C. 2014. Measurement errors in the use of smartphones as low-cost forestry hypsometers. (en línea). Silva Fennica. 48(5): e1114. Consultado jun. 2022. Disponible en <https://www.silvafennica.fi/pdf/article1114.pdf>.
20. Wang, C.; Tang, F.; Li, L.; Li, G.; Cheng, F.; Xi, X. 2012. Wavelet analysis for ICESat/GLAS waveform decomposition and its application in average tree height estimation. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 10(1): 115 – 119.

9 ANEXOS

Anexo 1. Sitios de acceso para las aplicaciones en Google Playstore

Aplicación	Sitio de descarga
Clinometer	https://play.google.com/store/apps/details?id=eu.basicairdata.clinometer&hl=es
Clinómetro	https://play.google.com/store/apps/details?id=net.androgames.clinometer&hl=es
Clinômetro Florestal	https://play.google.com/store/apps/details?id=br.eng.itech.clinometro
Dioptra	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.glidelinesystems.dioptra
Globe	https://play.google.com/store/apps/details?id=gov.nasa.globe.observer
Measure Height	https://play.google.com/store/apps/details?id=ee.deskis.android.height
MOTI	https://play.google.com/store/apps/details?id=ch.bfh.moti&hl=es_UY&gl=US
Smart Measure	https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.measure&hl=es
Tree-H (free)	Actualmente no disponible en la plataforma
Trees	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.forest.trees&hl=es

Anexo 2. Medidas de altura para árboles altos. (R) indica repetición.

Tabla 1. Medidas de Relascopio de Bitterlich y aplicación Trees

Árbol	Distancia	Relascopio de Bitterlich				Trees			
		R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
		Altura	Altura	Altura		Altura	Altura	Altura	
14	30	31,00	30,50	30,50	30,67	31,3	31,3	31,2	31,27
2	30	29,00	29,00	29,50	29,17	29,2	29,3	28,9	29,13
3	30	28,00	28,00	28,00	28,00	27,6	27,5	27,6	27,57
22	25	26,50	27,50	26,50	26,83	27,25	27,3	27,68	27,41
9	25	26,50	26,50	26,50	26,50	27,4	26,8	26,9	27,03
4	25	26,00	26,00	26,00	26,00	25,9	26	26,2	26,03
7	25	25,00	25,00	25,00	25,00	25	25	24,8	24,93
23	25	24,00	24,50	23,50	24,00	24,18	24,1	24,62	24,30
24	25	24,00	24,00	24,00	24,00	24,18	24,1	24,03	24,10
29	25	24,00	24,00	24,00	24,00	24,9	24,8	25	24,90
15	25	24,00	23,50	24,00	23,83	23,8	23,8	23,9	23,83
10	25	23,00	23,00	23,00	23,00	23,5	23,4	23,2	23,37
35	25	23,00	23,00	23,00	23,00	23	23,1	23,1	23,07
30	20	22,50	22,50	22,50	22,50	23,3	23,2	23,2	23,23
36	20	22,00	22,50	22,50	22,33	22,9	22,8	22,9	22,87
18	20	20,00	20,00	20,50	20,17	20,8	21	20,9	20,90
13	20	20,00	20,00	19,50	19,83	20,4	20,3	20,2	20,30
25	20	20,00	20,00	19,50	19,83	20,01	20,36	20,4	20,26
11	20	19,50	19,50	19,50	19,50	20,3	20,3	20,1	20,23
20	20	19,50	19,50	19,00	19,33	19,9	19,8	19,9	19,87
21	20	19,50	19,00	19,00	19,17	19,9	19,8	19,8	19,83
1	20	18,50	18,50	18,50	18,50	18,4	18,5	18,6	18,50
26	20	18,00	18,50	18,50	18,33	18,09	18,44	18,5	18,34
19	20	18,00	18,50	18,00	18,17	18,4	18,5	18,5	18,47
5	15	16,13	16,13	16,13	16,13	17,4	17,5	17,2	17,37
12	15	16,13	16,13	15,75	16,00	16,1	15,9	16,1	16,03
17	15	15,75	16,13	15,75	15,88	17,4	17,1	17,2	17,23
8	15	15,38	15,75	15,75	15,63	16	16	15,8	15,93
57	30	29,00	29,00	29,00	29,00	29,2	29,3	29,3	29,27
58	30	31,00	31,00	31,00	31,00	31,2	31,1	31,4	31,23

Tabla2. Medidas de aplicaciones Measure Height y Tree-H

Árbol	Distancia	Measure Height				Tree-H			
		R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
		Altura	Altura	Altura		Altura	Altura	Altura	
14	30,00	26,20	26,30	26,10	26,20	31,05	31,05	31,65	31,25
2	30,00	25,00	25,00	24,90	24,97	29,55	29,55	29,62	29,57
3	30,00	22,60	22,90	22,60	22,70	28,18	28,18	28,18	28,18
22	25,00	24,00	24,20	24,60	24,27	27,78	27,43	27,94	27,72
9	25,00	23,50	23,30	23,30	23,37	27,68	26,76	27,78	27,41
4	25,00	21,70	21,50	21,10	21,43	26,33	26,33	26,33	26,33
7	25,00	21,80	21,80	22,00	21,87	25,00	25,00	24,58	24,86
23	25,00	20,40	20,60	20,50	20,50	24,62	24,72	24,52	24,62
24	25,00	20,90	20,40	20,80	20,70	24,62	24,91	24,52	24,68
29	25,00	21,50	21,80	21,80	21,70	24,14	24,20	24,10	24,15
15	25,00	20,20	20,40	20,60	20,40	23,38	23,82	23,82	23,67
10	25,00	19,20	19,50	19,50	19,40	23,24	23,29	23,48	23,34
35	25,00	19,00	19,20	19,20	19,13	23,04	23,08	22,96	23,03
30	20,00	19,80	19,70	19,70	19,73	23,26	23,30	23,20	23,25
36	20,00	19,30	19,20	19,00	19,17	22,50	22,50	22,50	22,50
18	20,00	17,90	18,00	18,01	17,97	20,70	20,63	20,70	20,68
13	20,00	16,70	16,70	16,70	16,70	20,40	20,40	19,76	20,19
25	20,00	17,60	17,80	17,70	17,70	20,30	20,50	20,20	20,33
11	20,00	17,10	17,10	17,50	17,23	20,36	20,36	20,36	20,36
20	20,00	17,10	17,20	17,10	17,13	19,70	20,36	19,80	19,95
21	20,00	17,40	17,30	17,30	17,33	20,01	20,15	20,20	20,12
1	20,00	16,60	16,60	16,70	16,63	18,71	19,06	19,06	18,94
26	20,00	16,10	16,00	16,20	16,10	19,65	19,11	19,24	19,33
19	20,00	15,50	15,40	15,70	15,53	18,79	18,44	18,50	18,58
5	15,00	14,90	14,80	15,00	14,90	17,17	17,14	16,88	17,06
12	15,00	13,70	13,70	13,50	13,63	16,58	16,38	16,15	16,37
17	15,00	14,50	14,60	14,90	14,67	16,40	16,58	16,70	16,56
8	15,00	13,50	13,40	13,30	13,40	16,07	15,57	15,80	15,81
57	30,00	25,30	25,10	25,70	25,37	30,54	30,52	30,54	30,53
58	30,00	27,20	27,50	27,80	27,50	32,64	32,64	32,64	32,64

Tabla 3. Medidas de aplicaciones Globe Observer y Clinómetro Florestal

Árbol	Distancia	Globe Observer				Clinómetro Florestal			
		R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
		Altura	Altura	Altura		Altura	Altura	Altura	
14	30,00	31,75	32,11	32,26	32,04	27,58	28,17	28,37	28,04
2	30,00	33,71	34,09	33,74	33,85	28,36	28,85	27,78	28,33
3	30,00	30,30	29,89	29,90	30,03	25,62	26,30	25,78	25,90
22	25,00	29,73	29,63	29,72	29,69	26,34	26,31	25,94	26,20
9	25,00	29,90	30,53	29,99	30,14	24,57	24,81	25,19	24,86
4	25,00	27,85	27,68	27,63	27,72	24,91	25,18	25,47	25,19
7	25,00	26,96	26,49	26,48	26,64	23,75	23,78	23,77	23,77
23	25,00	26,17	26,04	25,80	26,00	22,42	22,90	22,30	22,54
24	25,00	26,58	26,21	26,46	26,42	23,90	24,30	23,63	23,94
29	25,00	26,40	26,23	26,45	26,36	23,28	23,26	23,12	23,22
15	25,00	25,56	25,80	25,93	25,76	23,70	24,03	23,94	23,89
10	25,00	25,37	25,46	25,29	25,37	22,22	22,39	22,27	22,29
35	25,00	23,68	23,48	24,13	23,76	23,01	23,12	23,17	23,10
30	20,00	24,56	24,78	24,69	24,68	22,10	22,00	22,32	22,14
36	20,00	22,62	22,70	22,70	22,67	22,94	23,04	22,50	22,83
18	20,00	22,12	21,98	22,22	22,11	19,80	19,68	20,06	19,85
13	20,00	21,28	21,25	21,28	21,27	19,67	19,74	19,01	19,47
25	20,00	22,01	22,15	21,67	21,94	19,60	19,51	19,40	19,50
11	20,00	21,57	21,87	21,87	21,77	19,29	19,84	19,47	19,53
20	20,00	21,74	22,00	22,02	21,92	17,74	17,84	18,35	17,98
21	20,00	22,11	22,20	22,51	22,27	18,70	18,47	19,20	18,79
1	20,00	22,03	21,90	22,10	22,01	18,48	18,14	18,18	18,27
26	20,00	18,54	18,71	18,96	18,74	18,90	19,24	18,95	19,03
19	20,00	19,96	19,76	19,80	19,84	17,24	17,59	17,94	17,59
5	15,00	17,30	17,54	17,27	17,37	16,16	16,27	16,41	16,28
12	15,00	16,86	17,06	17,06	16,99	15,24	15,51	15,12	15,29
17	15,00	17,72	17,86	18,19	17,92	14,87	15,03	14,74	14,88
8	15,00	17,19	17,30	17,21	17,23	15,00	15,04	15,21	15,08
57	30,00	34,53	34,07	34,23	34,28	29,14	29,14	29,20	29,16
58	30,00	36,72	36,11	36,43	36,42	31,25	31,06	31,40	31,24

Tabla4. Medidas de aplicación Clinómetro y Clinometer

Árbol	Distancia	Clinómetro				Clinometer			
		R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
		Altura	Altura	Altura		Altura	Altura	Altura	
14	30,00	23,85	23,44	23,66	23,65	8,80	8,86	8,69	8,78
2	30,00	22,95	23,00	22,92	22,95	8,72	8,72	8,67	8,71
3	30,00	21,31	21,30	21,51	21,37	8,05	8,05	8,05	8,05
22	25,00	21,18	20,60	20,77	20,85	7,67	7,62	7,62	7,63
9	25,00	20,39	20,64	20,32	20,45	7,47	7,47	7,47	7,47
4	25,00	20,20	19,80	19,96	19,99	7,44	7,36	7,36	7,39
7	25,00	19,21	19,06	18,86	19,04	7,02	7,02	7,02	7,02
23	25,00	18,40	18,27	18,12	18,26	6,86	6,86	6,91	6,88
24	25,00	18,79	18,73	19,12	18,88	6,95	7,00	6,91	6,95
29	25,00	18,95	19,01	19,08	19,01	6,93	7,07	6,98	6,99
15	25,00	17,97	18,23	18,06	18,08	6,81	6,81	6,81	6,81
10	25,00	17,94	18,05	17,88	17,96	6,71	6,80	6,76	6,76
35	25,00	21,68	21,19	21,48	21,45	5,88	6,15	6,06	6,03
30	20,00	17,17	17,37	17,50	17,35	6,28	6,31	6,31	6,30
36	20,00	14,01	14,31	14,26	14,19	5,26	5,30	5,30	5,29
18	20,00	15,86	15,75	15,99	15,87	5,83	5,87	5,83	5,84
13	20,00	15,67	15,53	15,52	15,57	5,84	5,81	5,91	5,85
25	20,00	15,70	16,15	15,82	15,89	5,82	5,83	5,90	5,85
11	20,00	15,47	15,53	15,44	15,48	5,71	5,78	5,75	5,74
20	20,00	15,03	15,07	15,28	15,13	5,64	5,64	5,64	5,64
21	20,00	15,19	15,44	15,32	15,32	5,68	5,68	5,75	5,70
1	20,00	14,26	14,40	14,50	14,38	5,41	5,41	5,41	5,41
26	20,00	14,44	14,40	14,29	14,38	5,44	5,41	5,41	5,42
19	20,00	14,16	14,45	14,50	14,37	5,30	5,34	5,37	5,34
5	15,00	13,05	13,09	12,94	13,03	4,76	4,73	4,68	4,72
12	15,00	12,40	12,51	12,41	12,44	4,57	4,57	4,55	4,57
17	15,00	12,53	12,39	12,42	12,45	4,67	4,73	4,64	4,68
8	15,00	12,05	12,21	12,25	12,17	4,62	4,63	4,63	4,62
57	30,00	22,87	22,87	22,87	22,87	8,51	8,51	8,57	8,53
58	30,00	24,45	24,39	24,51	24,45	9,02	9,02	9,02	9,02

Tabla 5. Medidas de aplicación Dioptra

Árbol	Distancia	Dioptra			Promedio
		R1	R2	R3	
		Altura	Altura	Altura	
14	30,00	28,55	28,80	28,86	28,74
2	30,00	28,00	28,13	28,00	28,04
3	30,00	25,67	25,71	25,67	25,69
22	25,00	25,83	26,05	25,65	25,85
9	25,00	25,31	24,79	25,13	25,08
4	25,00	24,08	24,03	24,11	24,07
7	25,00	23,28	23,49	23,28	23,35
23	25,00	22,38	22,21	21,99	22,19
24	25,00	22,39	22,49	22,52	22,46
29	25,00	23,43	24,10	23,30	23,61
15	25,00	22,14	22,03	22,26	22,14
10	25,00	21,66	21,98	21,36	21,67
35	25,00	26,14	26,14	26,22	26,16
30	20,00	21,66	21,55	21,59	21,60
36	20,00	17,14	17,10	17,26	17,17
18	20,00	19,27	19,17	19,27	19,24
13	20,00	18,96	19,11	18,73	18,93
25	20,00	15,75	15,57	15,95	15,76
11	20,00	18,95	18,85	18,89	18,90
20	20,00	18,41	18,30	18,53	18,41
21	20,00	18,47	18,57	18,45	18,49
1	20,00	17,59	17,46	17,52	17,52
26	20,00	17,40	17,23	17,23	17,29
19	20,00	17,47	17,06	17,28	17,27
5	15,00	15,89	15,89	15,97	15,92
12	15,00	15,07	15,25	14,97	15,10
17	15,00	15,50	15,23	15,48	15,40
8	15,00	14,90	15,00	14,92	14,94
57	30,00	28,06	28,01	27,97	28,01
58	30,00	30,17	29,92	29,92	30,00

Anexo 3. Medidas de altura para árboles bajos. (R) indica repetición.

Tabla 1. Medidas de relascopeo de Bitterlich y aplicación Trees

Árbol	Distancia	Relascopeo de Bitterlich				Trees			
		R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
		Altura	Altura	Altura		Altura	Altura	Altura	
28	15	14,63	14,25	14,63	14,50	14,60	14,70	14,70	14,67
6	15	14,25	14,63	14,25	14,38	15,10	15,30	15,10	15,17
16	15	13,88	14,25	14,25	14,13	15,30	15,30	15,50	15,37
27	15	12,75	12,75	12,38	12,63	12,80	12,90	12,90	12,87
34	15	10,88	10,88	10,88	10,88	11,10	11,20	11,30	11,20
31	10	8,25	8,25	8,25	8,25	8,30	8,40	8,30	8,33
33	10	7,25	7,25	7,25	7,25	7,20	7,30	7,20	7,23
32	10	5,00	5,00	5,00	5,00	5,30	5,20	5,10	5,20
37	10	8,50	8,50	8,75	8,58	9,00	8,90	9,00	8,97
38	10	5,50	5,50	5,50	5,50	5,30	5,20	5,30	5,27
39	10	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
40	10	6,50	6,50	6,50	6,50	6,60	6,60	6,60	6,60
41	10	8,75	8,75	8,75	8,75	8,90	8,70	8,80	8,80
42	10	6,00	6,00	6,00	6,00	5,80	6,00	5,90	5,90
43	10	6,50	6,50	6,50	6,50	6,80	6,70	6,80	6,77
44	10	8,00	8,25	8,00	8,08	8,00	8,10	8,20	8,10
45	10	6,50	6,50	6,50	6,50	6,60	6,70	6,70	6,67
46	10	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,60	6,53
47	10	6,50	6,50	6,50	6,50	6,90	6,90	6,90	6,90
48	10	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,10	5,03
49	10	6,00	6,00	6,00	6,00	6,20	6,30	6,10	6,20
50	15	8,63	8,63	8,63	8,63	9,20	9,30	9,40	9,30
51	15	9,00	9,00	9,00	9,00	9,50	9,50	9,50	9,50
52	10	6,75	6,75	6,75	6,75	7,20	7,20	7,20	7,20
53	10	6,75	6,75	6,75	6,75	7,00	7,10	7,10	7,07
54	10	7,50	7,50	7,25	7,42	7,60	7,60	7,60	7,60
55	10	11,50	11,50	11,25	11,42	12,00	11,90	11,90	11,93
56	10	9,25	9,50	9,50	9,42	9,90	9,70	10,00	9,87
59	10	9,50	9,50	9,25	9,42	9,80	10,10	9,90	9,93
60	10	11,25	11,25	11,25	11,25	11,40	11,50	11,50	11,47

Tabla 2. Medidas de aplicaciones Measure Height y Tree-H

Árbol	Distancia	Measure Height				Tree-H			
		R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
		Altura	Altura	Altura		Altura	Altura	Altura	
28	15,00	13,00	13,00	13,10	13,03	14,51	14,70	14,51	14,57
6	15,00	13,20	13,00	13,00	13,07	14,78	14,78	15,01	14,86
16	15,00	13,00	13,20	12,70	12,97	14,82	14,78	15,04	14,88
27	15,00	11,60	11,50	11,60	11,57	12,67	12,70	12,53	12,63
34	15,00	9,30	9,30	9,60	9,40	11,05	10,79	11,05	10,96
31	10,00	7,00	6,90	6,80	6,90	8,40	8,32	8,35	8,36
33	10,00	6,90	6,80	6,90	6,87	5,12	5,15	5,18	5,15
32	10,00	4,90	4,80	4,70	4,80	7,13	7,15	7,10	7,13
37	10,00	7,50	7,50	7,40	7,47	8,85	8,85	8,85	8,85
38	10,00	4,80	4,80	4,90	4,83	5,30	5,47	5,30	5,36
39	10,00	5,10	5,20	5,10	5,13	5,51	5,53	5,53	5,52
40	10,00	5,20	5,20	5,20	5,20	6,61	6,61	6,61	6,61
41	10,00	8,00	8,00	7,80	7,93	8,93	9,04	8,76	8,91
42	10,00	5,20	5,10	5,30	5,20	5,90	5,85	5,71	5,82
43	10,00	6,00	6,00	5,90	5,97	6,95	6,95	6,95	6,95
44	10,00	7,00	7,10	7,00	7,03	7,97	7,97	7,80	7,92
45	10,00	5,70	5,80	5,90	5,80	6,73	6,73	6,55	6,67
46	10,00	5,60	5,60	5,60	5,60	6,50	6,50	6,50	6,50
47	10,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,55	6,67	6,55	6,59
48	10,00	4,70	4,50	4,60	4,60	5,09	5,11	5,09	5,10
49	10,00	5,90	6,00	6,00	5,97	6,24	6,24	6,19	6,22
50	15,00	7,50	7,60	7,50	7,53	9,29	9,29	9,29	9,29
51	15,00	8,20	8,10	8,20	8,17	9,62	9,62	9,62	9,62
52	10,00	6,40	6,30	6,20	6,30	7,23	7,30	7,29	7,28
53	10,00	6,50	6,50	6,40	6,47	7,12	7,12	7,12	7,12
54	10,00	6,80	6,80	6,80	6,80	7,62	7,62	7,62	7,62
55	10,00	10,40	10,60	10,60	10,53	11,98	11,98	11,98	11,98
56	10,00	9,10	9,30	9,30	9,23	9,88	9,57	9,88	9,78
59	10,00	8,60	8,70	8,70	8,67	10,10	10,10	10,10	10,10
60	10,00	9,90	9,80	9,80	9,83	11,59	11,59	11,59	11,59

Tabla 3. Medidas de aplicación Globe Observer y Clinômetro Florestal

Árbol	Distancia	Globe Observer				Clinômetro Florestal			
		R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
		Altura	Altura	Altura		Altura	Altura	Altura	
28	15,00	15,60	15,55	15,53	15,56	13,95	14,11	14,03	14,03
6	15,00	15,18	15,06	14,99	15,08	13,89	14,25	14,41	14,18
16	15,00	15,63	15,96	15,84	15,81	14,40	14,43	14,24	14,36
27	15,00	13,29	13,19	13,12	13,20	12,21	12,25	12,18	12,21
34	15,00	12,27	12,28	12,06	12,20	10,66	10,89	10,57	10,71
31	10,00	7,72	7,56	7,66	7,65	7,79	7,76	7,80	7,78
33	10,00	9,77	9,75	9,86	9,79	7,01	7,21	6,92	7,05
32	10,00	5,90	5,96	5,81	5,89	4,93	4,94	5,05	4,97
37	10,00	9,38	9,32	9,28	9,33	8,77	8,53	8,86	8,72
38	10,00	5,76	5,66	5,65	5,69	5,81	5,76	5,80	5,79
39	10,00	6,27	6,25	6,26	6,26	5,41	5,30	5,24	5,32
40	10,00	7,24	7,28	7,34	7,29	6,46	6,40	6,47	6,44
41	10,00	9,29	9,07	9,26	9,21	8,49	8,73	8,51	8,58
42	10,00	6,54	6,45	6,50	6,50	5,63	5,53	5,78	5,65
43	10,00	7,11	7,05	6,94	7,03	6,49	6,59	6,42	6,50
44	10,00	8,71	8,84	8,84	8,80	7,57	7,65	7,89	7,70
45	10,00	7,28	7,36	7,38	7,34	6,37	6,35	6,35	6,36
46	10,00	6,91	6,90	6,86	6,89	6,07	6,15	6,11	6,11
47	10,00	6,82	6,93	6,89	6,88	6,40	6,47	6,51	6,46
48	10,00	6,14	6,13	6,13	6,13	4,81	4,88	4,79	4,83
49	10,00	7,51	7,62	7,56	7,56	6,59	6,56	6,42	6,52
50	15,00	10,91	10,79	10,84	10,85	9,21	9,38	9,06	9,22
51	15,00	11,34	11,50	11,25	11,36	9,60	9,63	9,57	9,60
52	10,00	8,00	8,14	8,17	8,10	7,00	6,98	7,01	7,00
53	10,00	7,98	8,19	8,03	8,07	6,91	7,12	7,04	7,02
54	10,00	7,94	7,95	8,00	7,96	7,10	7,15	6,96	7,07
55	10,00	12,39	12,43	12,51	12,44	11,36	11,24	11,40	11,33
56	10,00	10,05	10,08	10,08	10,07	10,60	10,45	10,36	10,47
59	10,00	9,98	9,99	10,03	10,00	9,58	9,82	9,37	9,59
60	10,00	12,06	12,08	12,01	12,05	10,76	10,57	10,72	10,68

Tabla 4. Medidas de aplicaciones Clinómetro y Clinometer

Árbol	Distancia	Clinómetro				Clinometer			
		R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
		Altura	Altura	Altura		Altura	Altura	Altura	
28	15,00	11,34	11,35	11,41	11,37	4,20	4,20	4,17	4,19
6	15,00	11,41	11,35	11,29	11,35	4,23	4,23	4,20	4,22
16	15,00	11,46	11,74	11,63	11,61	4,38	4,44	4,42	4,41
27	15,00	10,20	10,05	10,09	10,11	3,81	3,78	3,76	3,78
34	15,00	8,95	8,93	9,01	8,96	3,55	3,69	3,63	3,63
31	10,00	6,70	6,65	6,71	6,69	2,55	2,55	2,49	2,53
33	10,00	5,70	5,59	5,70	5,66	2,38	2,35	2,33	2,35
32	10,00	4,10	4,18	4,06	4,12	1,63	1,63	1,63	1,63
37	10,00	7,05	6,96	7,08	7,03	2,65	2,67	2,65	2,66
38	10,00	4,21	4,21	4,21	4,21	1,63	1,63	1,61	1,63
39	10,00	4,43	4,41	4,41	4,41	1,68	1,70	1,72	1,70
40	10,00	5,38	5,44	5,40	5,41	2,12	2,14	2,12	2,13
41	10,00	7,13	7,08	7,21	7,14	2,75	2,71	2,71	2,72
42	10,00	4,68	4,90	4,82	4,80	1,83	1,81	1,84	1,83
43	10,00	5,40	5,38	5,46	5,41	2,11	2,11	2,15	2,12
44	10,00	6,52	6,52	6,68	6,57	2,49	2,51	2,54	2,51
45	10,00	5,40	5,35	5,39	5,38	2,07	2,09	2,09	2,09
46	10,00	5,24	5,24	5,15	5,21	1,97	1,95	1,95	1,96
47	10,00	5,52	5,50	5,60	5,54	2,11	2,17	2,13	2,14
48	10,00	4,20	4,20	4,12	4,18	1,58	1,56	1,58	1,57
49	10,00	5,07	5,08	5,02	5,06	1,97	1,97	1,99	1,98
50	15,00	7,49	7,39	7,42	7,43	2,90	2,87	2,87	2,88
51	15,00	7,82	7,80	7,62	7,75	2,96	2,96	2,98	2,96
52	10,00	5,70	5,67	5,71	5,69	2,22	2,20	2,22	2,21
53	10,00	5,72	5,74	5,74	5,73	2,20	2,20	2,19	2,20
54	10,00	6,10	6,08	6,02	6,07	2,31	2,31	2,31	2,31
55	10,00	8,94	8,93	9,09	8,99	3,32	3,32	3,32	3,32
56	10,00	7,58	7,48	7,50	7,52	2,88	2,92	2,87	2,89
59	10,00	7,77	7,69	7,71	7,72	2,89	2,89	2,89	2,89
60	10,00	8,82	8,84	8,78	8,81	3,25	3,25	3,25	3,25

Árbol	Distancia	Dioptra			Promedio
		R1	R2	R3	
		Altura	Altura	Altura	
28	15,00	13,81	13,64	13,74	13,73
6	15,00	13,73	13,90	13,80	13,81
16	15,00	14,02	13,87	13,54	13,81
27	15,00	11,87	11,88	11,99	11,91
34	15,00	10,88	10,80	10,82	10,83
31	10,00	7,86	7,87	7,87	7,87
33	10,00	7,27	7,26	7,28	7,27
32	10,00	4,98	4,96	4,92	4,95
37	10,00	8,35	8,41	8,39	8,38
38	10,00	4,98	5,00	4,96	4,98
39	10,00	5,17	5,25	5,15	5,19
40	10,00	6,37	6,35	6,39	6,37
41	10,00	8,25	8,18	8,00	8,14
42	10,00	5,49	5,53	5,50	5,51
43	10,00	6,38	6,40	6,43	6,40
44	10,00	7,77	7,85	7,81	7,81
45	10,00	6,27	6,26	6,24	6,26
46	10,00	5,98	5,97	6,03	5,99
47	10,00	6,40	6,51	6,46	6,45
48	10,00	4,80	4,78	4,76	4,78
49	10,00	5,95	5,92	5,93	5,93
50	15,00	8,80	8,67	8,74	8,73
51	15,00	9,13	9,10	9,19	9,14
52	10,00	6,73	6,80	6,76	6,76
53	10,00	6,77	6,77	6,77	6,77
54	10,00	7,29	7,31	7,30	7,30
55	10,00	11,13	11,16	11,07	11,12
56	10,00	9,06	9,27	9,38	9,24
59	10,00	9,27	9,27	9,29	9,28
60	10,00	10,81	10,94	10,92	10,89

Tabla 5. Medidas de aplicación Dioptra