

**Informe de acciones basado en la
Propuesta Conceptual del desarrollo de tecnologías para la
fabricación de instrumentos para la medición de áreas basales,
diámetros y altura total, distribución y dispersión de árboles.**

Informe elaborado por Tomás de Camino Beck
Agosto, 2018



Índice

Antecedentes	2
Proceso de Ideación	3
Validación de Datos con Experto	3
Revisión de Tecnologías Disponibles	5
Cuadro Generador de Ideas	8
Propuesta de Instrumentos	10
Cronograma	15
Recomendaciones	16
Referencias	16

Antecedentes

Uno de los retos principales en mensura forestal con el advenimiento de nuevas tecnologías de menor costo y mucho más accesibles, es la de hacer mediciones cada vez rápidas y confiables en campo, y establecer relaciones con variables a nivel de paisaje, que asistan en la toma de decisiones y proyecciones de manejo de bosques.

La tecnología de microcontroladores ha mostrado que se pueden construir instrumentos confiables a gran escala¹²³⁴, la discusión ya no está en el “si se pueden construir”, sino más bien “qué debemos construir”. Inicialmente es más sencillo pensar en tecnologías que reemplazan prácticas de mensura forestal, sin embargo el uso de estas tecnologías probablemente sugerirá nuevas formas de medir variables en bosques, y establecer relación entre variables a escala de rodal y variables a escala de paisaje.

La tecnología LIDAR permite medir distancias mediante un láser que genera pulsos de luz. Esta tecnología que hace algunos años era inaccesible, hoy en día se puede adquirir a costos menores a los \$150 y puede ser utilizado para diferentes tipos de medición como altura de árboles⁵⁶. En esta fase nos concentramos principalmente en la exploración de LIDAR y su uso en diferentes contextos

¹ ""Evaluating the Effects of Projected Climate Change on Forest Fuel"

http://repository.uwyo.edu/uwnpsrc_reports/vol37/iss1/10/. Se consultó el 31 jul.. 2018.

² "Digital stereovision system for dendrometry, georeferencing and data"

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511018303180>. Se consultó el 31 jul.. 2018.

³ "Edge-to-Stem Variability in Wet-Canopy Evaporation From an Urban"

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10546-017-0277-7>. Se consultó el 31 jul.. 2018.

⁴ "Observed compression of in situ tree stems during freezing" 15 sept.. 2017,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192317301570>. Se consultó el 31 jul.. 2018.

⁵ "Dense Canopy Height Model from a low-cost photogrammetric" 15 feb.. 2016,

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-016-1366-9>. Se consultó el 31 jul.. 2018.

⁶ "Comparing Terrestrial Laser Scanning (TLS) and Wearable ... - MDPI." 1 abr.. 2018,

<http://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/540>. Se consultó el 31 jul.. 2018.

Este informe no es un tratado científico, sino más bien un reporte de la exploración de posibilidades de uso de tecnologías para generar instrumentos de medición, en particular la medición de diámetros, áreas basales y altura de árboles en un rodal. El objetivo de este proyecto fue Ideación de instrumentos de mensura forestal, específicamente para la medición de diámetros, áreas basales y alturas, a nivel de rodal.

Proceso de ideación

La ideación consiste en la generación de posibilidades. En este proceso importa la cantidad más que la calidad. Se trabajó revisando la colección de sensores disponibles para poder determinar su posible uso. La exploración de ideas no implica el detalle técnico pues estos se resuelven en el momento de construcción y prototipado de los instrumentos.

Del mismo modo no se detallan aspectos metodológicos para el uso de los instrumentos propuestos, pues las metodologías se establecerán en el momento de prueba de cada uno de los instrumentos.

Las propuestas de instrumentos pueden variar en el proceso de construcción y validación del mismo como parte del proyecto.

Dada la utilidad de tecnologías LIDAR, se exploraron los posibles usos de esta tecnología y la posibilidad de estimar diámetros a través del movimiento del sensor para detectar los bordes de un árbol, incluyéndose alguna forma de posicionamiento relativo con un dispositivo IMU. Por esto en esta fase se explora el potencial de este dispositivo, lo que no descarta usar otras alternativas.

Validación de Datos con experto

Se realizó una reunión con el Máster Lenin Corrales, investigador del programa de bosques de CATIE. Se describieron algunas de las líneas de investigación que el programa quiere desarrollar, para explorar posibilidades de que los resultados puedan ser utilizados para el programa.

La líneas de investigación sugeridas y las posibilidades de usar tecnologías, se resúmen en el siguiente cuadro,

Línea	Tecnología Compatible
Heterogeneidad	Medición de heterogeneidad espacial con Drones
Demografía	Estructura de edades mediante lecturas de clases diamétricas con LIDAR. Crecimiento continuo con sensores de piezoeléctricos
Fenología (Efecto de cambio climático)	Aunque está fuera de los alcances del proyecto, se podrían construir sistemas de clasificación de especies con inteligencia artificial
Fragmentación y Diversidad	Uso de LIDAR para medir la estructura y distribución espacial de los rodales
Calidad de Cobertura (Sanidad)	Posible aplicación de la fotografía en tiempo real para determinar cambios visibles en superficie de hoja. Explorar la construcción de algunos otros sensores que midan en tiempo real y alta resolución en determinados individuos dentro de un rodal.
NDVI, biodiversidad y conteo de árboles	Tecnología de LIDAR combinada con Drones para medir espectralmente y estructuralmente la composición de especies

Revisión de Tecnologías disponibles

Tomando en cuenta las tecnologías disponibles para inicio del proyecto, se discutió con el Dr. Ronnie de Camino, especialista en manejo de bosques, los posibles usos en mensura forestal. Estos usos se detallan en el siguiente cuadro.

Equipo	Descripción	Posible uso
Raspberry Pi High-Precision 24bit AD/DA Expansion Board	Extensión para RPi, para poder hacer lecturas de hasta 24bit de resolución	Lector de sensores analógicos y conversión AD de alta precisión
Raspberry Pi	Computadora con sistema operativo Linux	<ul style="list-style-type: none"> • Data Logger • Trap Camera • Lectura de sensores de alta precisión
Feather M0 Datalogger	Micro-controlador con procesador M0	<ul style="list-style-type: none"> • Data logger • Lectura de multiples sensores
FeatherWing OLED	Pantalla para microcontrolador	<ul style="list-style-type: none"> • Lectura en tiempo real • Interfaz para usuario de campo
Lithium Ion Polymer Battery - 3.7v 1200mAh	Baterías para microcontroladores	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de almacenamiento de datos en campo
SONOFF TH Sensor - DS18B20	Swith de control remoto	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas remotos de encendido y apagado
Adafruit TSL2591 High Dynamic Range Digital Light Sensor	Sensor de Luz	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de medición de luz dentro y fuera del bosque

		<ul style="list-style-type: none"> • Medición de luz visible, ultravioleta e infrarrojo desde el suelo
Adafruit Ultimate GPS Breakout - 66 channel w/10 Hz updates	Sistema de GPS de 10 lecturas por segundo	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de GPS portátiles para colocar en dispositivos de campo
ADS1115 16-Bit ADC	Convertidor análogo digital de alta resolución	<ul style="list-style-type: none"> • Lectura de instrumentos de medición analógicos de alta precisión
Atmospheric Sensor Breakout - BME280	Sensor de presión, temperatura y altitud	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de altura sobre el nivel del mar, altura de árboles • Para complementar uso de Drones
Conductive Rubber Cord Stretch Sensor + extras!	Goma que cambia resistencia con estiramiento	<ul style="list-style-type: none"> • Medición en tiempo real de diámetro
Flame Sensor Module	Sensor de flamas	<ul style="list-style-type: none"> • Este sensor mide la radiación infrarroja de llamas • Puede ser utilizado para detección temprana de incendios • detección de zonas calientes
Human Body Touch Sensor	Sensor capacitivo	<ul style="list-style-type: none"> • Para construcción de instrumentos de medición
Infrared Thermometer - MLX90614	Sensor que mide temperatura superficial mediante sensor de luz infrarroja.	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de superficie de suelo bajo diferentes condiciones dentro y fuera del bosque. • Uso para clasificación de

		uso de suelo y cobertura con Drone
Liquid Flow Meter 3/4 inch - BRASS	Medido de flujo de líquidos	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de escorrentía superficial • Escorrentía en árboles • Medición de flujo de corrientes de agua
Load Cell - 10kg, Straight Bar (TAL220)	Sensor de peso	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de Peso de ramás y troncos en sitio
Optical Dust Sensor - GP2Y1010AU0F	Medición de polvo y partículas suspendidas	<ul style="list-style-type: none"> • Detector de humo de incendios • Detector de polvo en campo • Calidad de aire
Pressure-Sensitive Conductive Sheet (Velostat/Linqstat)	Material conductivo que cambia resistencia con presión	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de crecimiento en diámetro en tiempo real • Medición de perturbaciones
Soil Humidity Sensor (Hygrometer)	Sensor de humedad de suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de humedad de suelo en sitio • Medición de micro variaciones de suelo • Medición de evaporación de suelo
Temperature Sensor with Steel Head	Sensor de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Medir temperatura de suelo en tiempo real
Raindrop and Dew Sensor	Sensor de gotas y rocío	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de evapotranspiración • Medición de humedad de superficie • Medición de

		condensación
Weather Meters	Estación meteorológica de bajo costo.	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de viento • precipitación, • temperatura • presión • Establecer red de estaciones meteorológicas de bajo costo • Medición de micro-climas
Adafruit 9-DOF IMU Breakout - L3GD20H + LSM303	Sistema de navegación	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de movimiento para Drones • Determinar posición relativa para medición con LIDAR
Original PRUSA i3 MK2S 3D Printer (Assembled)	Impresora 3D	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de estructuras para adaptar sensores • Construcción de cajas • Piezas para adaptar sensores a drones

En el proceso de desarrollo como parte de los informes de rendición de cuentas, se analizará algunos ejemplos del mercado para llevar a cabo comparaciones de interés.

Cuadro Generador de Ideas

Con esta metodología se intenta pensar “fuera de la caja” y forzar el pensamiento lateral para la construcción de ideas. Las ideas generadas acá se dejan planteadas y se pueden desarrollar durante el transcurso del proyecto.

Técnica Ideación	Forma Normal	IDEA
-------------------------	---------------------	-------------

Inversión	Técnico toma datos en campo con cinta diamétrica, clinómetro, etc	Que las mediciones ocurran en tiempo real en el árbol, es decir instrumentos insertado en árboles.
Integración	árboles tiene placas y son medidos repetidamente,	Árboles base conectados en tiempo real y mandando datos a servidor (SigFox, LoRa) INtegrar en tiempo real con medidas de drones de altura
Extensión	Medir diámetros, áreas basales y alturas	Recoger datos microclimáticos, de terreno. Relacionar directo con dron en aire en tiempo real
Diferenciación	Se usa solamente una metodología de campo	Se miden más variables y por tanto se pueden adaptar mediciones a condiciones especiales
Agregar	Mide AB, diámetro y altura	Medición de diámetro a varias alturas para factor forma. Areas basales a varias alturas.
Restar	Mide AB, diámetro y altura	Con una medida lidar (scan) se derivan las medidas a partir de la imagen generada. Esto hace que el proceso sea de una medición

Propuestas de Instrumentos

LIDAR en Transecto

- La técnica de transecto, que consiste en seguir una línea recta de largo determinado y medir los árboles más cercanos perpendiculares a la línea, se puede realizar con el LIDAR. La ventaja es que en el recorrido se puede medir la distancia los árboles (más cercanos a 50 metros), y además al incorporar algún sistema de navegación, se puede medir los diámetros de los árboles (Figura 1).

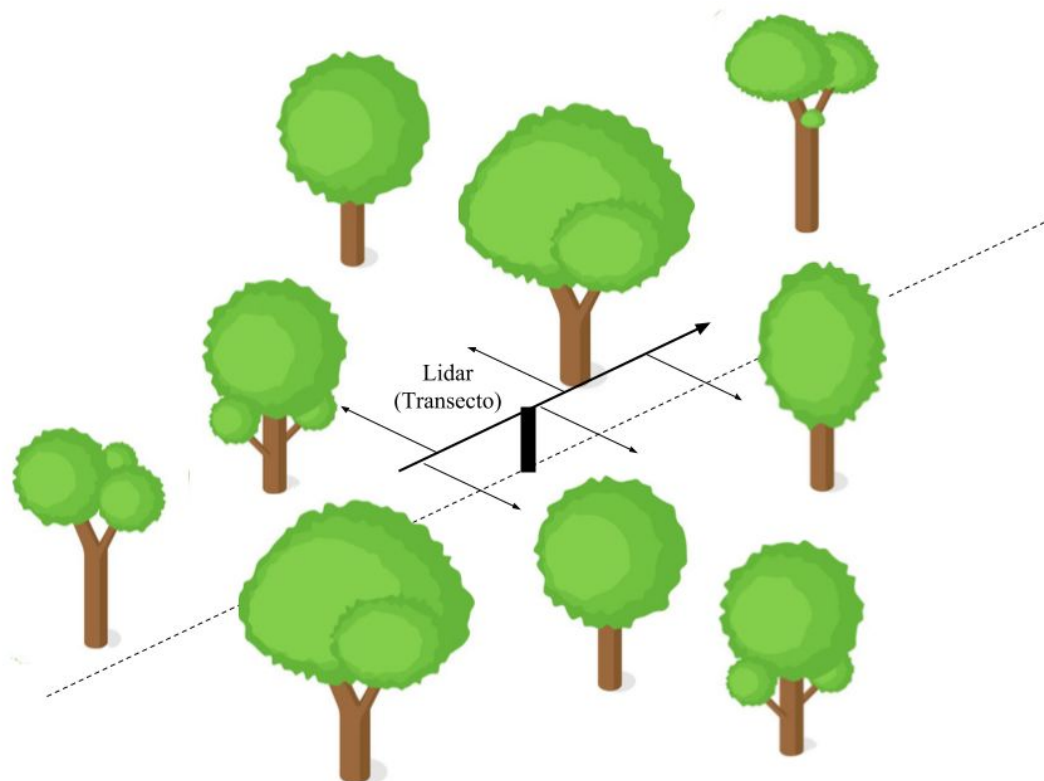


Figura 1. Uso de LIDAR calcular distancias y diámetros en un transecto

- Para construir el dispositivo se debe considerar el uso de 2 LIDAR, y un acelerómetro, giroscopio y compás, para medir el movimiento, la resolución se fija en la frecuencia de lecturas del LIDAR.
- El método de muestreo consistiría en una persona caminando por el transecto demarcado, por la distancia determinada (basada en experiencia de muestreo anteriores (Figura 2).
- El método permitirá medir diámetros rápidamente, y areas basales además de la distribución espacial de los árboles.

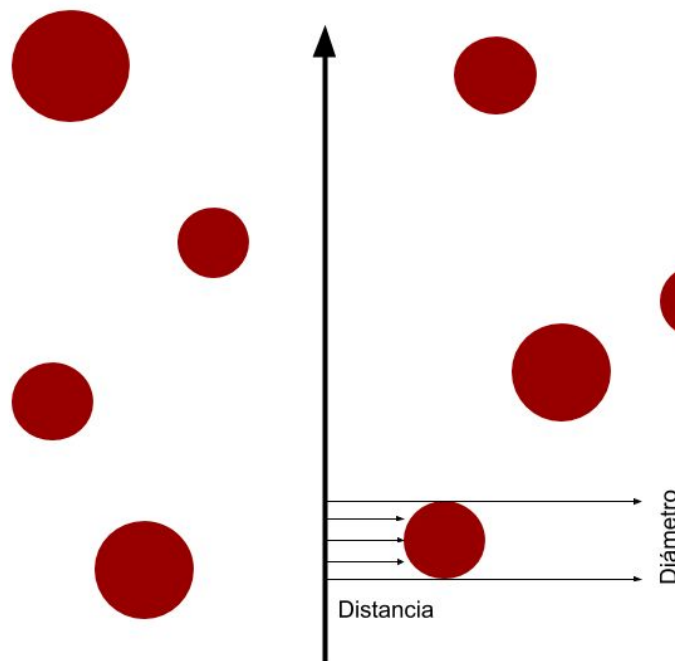


Figura 2. Uso de LIDAR para medir el diámetro en un transecto

LIDAR Scan 360

- El lidar montado sobre un motor de paso, que permite rotación de 360 grados, permitiría escanear una nube de puntos en un plano, con la intención de obtener

distancias al punto de muestra, diámetros de los árboles a una distancia menor de 50 metros, distribución espacial, además de área basal.

- El muestreo consistiría en colocar el LIDAR que gira sobre el motor de paso a una altura determinada (posiblemente a la altura del pecho), y permitir que el LIDAR gire 360 grados varias veces.
- El posicionamiento del LIDAR se determina con el acelerómetro y giroscopio, para almacenar los puntos con información de ángulo (con respecto al norte), y distancia detectada. (ver figura 3)

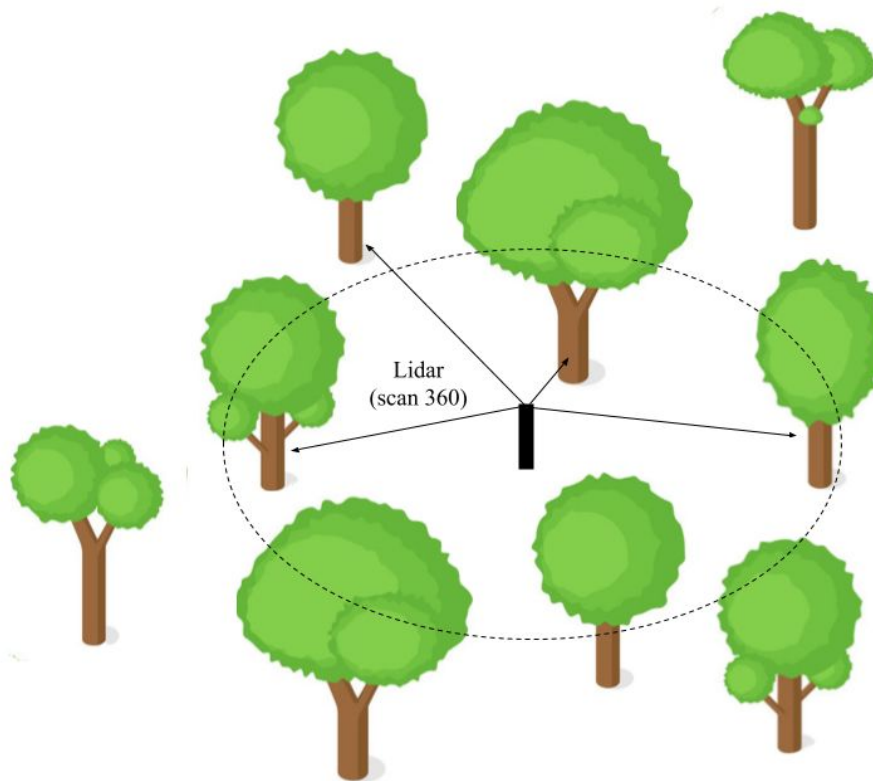


Figura 3. Uso de LIDAR para escanear un espacio de 360 grados y generar una nube de puntos (distancias). A partir de los puntos se puede reconstruir el rodal con diámetros y distancias al punto central

- Se puede construir un sensor similar al GeoSLAM ZEB-REVO⁷ o más sofisticado como el SICK LMS511⁸ que permite escanear una nube de puntos para luego reconstruir una estructura, y algunos ya se han usado para estructura vertical de bosques⁹. La propuesta es construir un sistema, primero en 2 dimensiones, y luego explorar 3D.
- Se prototipará software en porcessing.org para poder reconstruir el rodal en 2D a través de la nube de puntos

LIDAR + Drones para Altura de árboles

Como se muestra en la figura 5, ya se había explorado el uso de un LIDAR adaptado en un drone, con resultados muy preliminares indicando que si era posible medir la diferencia entre copa de árboles y el suelo.

Con el LIDAR y Drone se intentara lo siguiente:

- En vuelo controlado en un recorrido predefinido, se hará un muestreo de la información de lidar para determinar altura de árboles.
- Las alturas se calcularán por línea de vuelo
- Intento de medir un árbol con LIDAR+ drone con verificación desde el suelo
- Medición de alturas conocidas de postes para deterinar presición de medición
- Comparación con medidas de altura de Drone, GPS, y sensores de medición de altura

⁷ "GeoSLAM Technology - ZEB-REVO - GeoSLAM Desktop V3." <https://geoslam.com/technology/>. Se consultó el 31 jul.. 2018.

⁸ "LMS511-10100 PRO | Detection and ranging solutions SICK." <https://www.sick.com/ag/en/detection-and-ranging-solutions/2d-lidar-sensors/lms5xx/lms511-10100-pro/p215941>. Se consultó el 31 jul.. 2018.

⁹ "Efficient field data collection of tropical forest using terrestrial laser" <https://ieeexplore.ieee.org/document/6946549/>. Se consultó el 31 jul.. 2018.

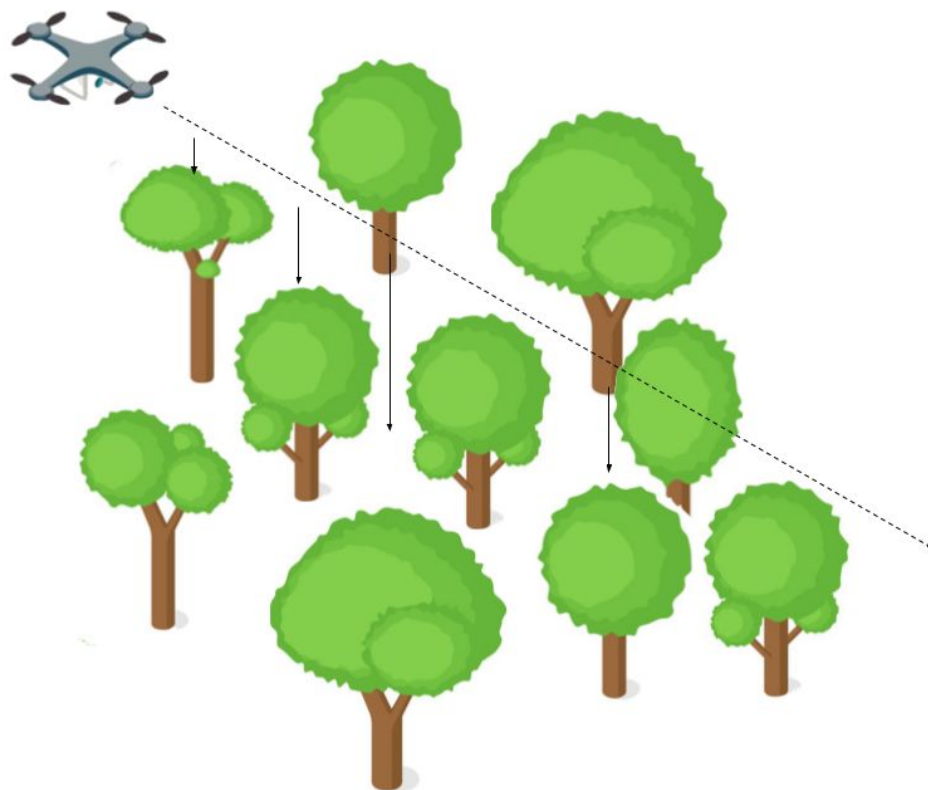


Figura 4. LIDAR adaptado en un quadcopter para medir altura de docel



Figura 5. Adaptación de un sensor LIDAR a un Drone. realizado en el primer taller de tecnologías de mensura forestal con CATIE.

Cronograma

Acción	FECHA	LOCACIÓN	ASISTENTES
Prueba de pretotipo en campo, recorrido en el bosque para evaluar características y validar funciones de la tecnología	3 de setiembre	Turrialba, CATIE	Tomás de Camino Abraham Pineda
Prueba de prototipo de las tecnologías en campo, en dos contextos de bosque definidos por el CATIE.	20 y 21 de setiembre	Turrialba , CATIE	Tomás de Camino Abraham Pineda
Entrega de prototipo con prueba de campo al equipo de	8 octubre	Turrialba, CATIE	Tomas de Camino Abraham Pineda

técnico del CATIE			
-------------------	--	--	--

Recomendaciones

- La construcción de instrumentos de medición se hará con prototipado rápido, es decir se construirá de forma progresiva.
- Se recomienda medir parcelas permanentes de medición, donde los datos sean conocidos y que se hayan hecho mediciones recientemente.
- Utilizar PPM tanto de bosques secundarios como primarios y con algún tipo de aprovechamiento forestal.
- Se debe tener claro que el uso de Drone en bosques puede presentar riesgos de accidente.
- Aunque se proponen estas técnicas, en el proceso puede surgir nuevas ideas que serán exploradas, es decir el resultado de los instrumentos para la siguiente fase puede diferir de lo planteado en este informe.
- Se debe tener claro que este es un proceso de exploración de tecnologías, como tal, las mediciones que se realicen pretenden demostrar las posibilidades tecnológicas, no la construcción de un tratado científico.
- Se debe crear un repositorio de códigos diseños e instrucciones de construcción para poder promover el uso de tecnologías abiertas en la construcción de instrumentos de mensura forestal.

Referencias

- ""Evaluating the Effects of Projected Climate Change on Forest Fuel"
http://repository.uwyo.edu/uwnpsrc_reports/vol37/iss1/10/. Se consultó el 31 jul.. 2018.
- "Digital stereovision system for dendrometry, georeferencing and data"
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511018303180>. Se consultó el 31 jul.. 2018
- "Edge-to-Stem Variability in Wet-Canopy Evaporation From an Urban"
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10546-017-0277-7>. Se consultó el 31 jul.. 2018.
- "Dense Canopy Height Model from a low-cost photogrammetric" 15 feb.. 2016,
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-016-1366-9>. Se consultó el 31 jul.. 2018.
- "Observed compression of in situ tree stems during freezing" 15 sept.. 2017,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192317301570>. Se consultó el 31 jul.. 2018.
- "Comparing Terrestrial Laser Scanning (TLS) and Wearable ... - MDPI." 1 abr.. 2018,
<http://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/540>. Se consultó el 31 jul.. 2018.
- "GeoSLAM Technology - ZEB-REVO - GeoSLAM Desktop V3." <https://geoslam.com/technology/>. Se consultó el 31 jul.. 2018.



"LMS511-10100 PRO | Detection and ranging solutions SICK."

<https://www.sick.com/ag/en/detection-and-ranging-solutions/2d-lidar-sensors/lms5xx/lms511-10100-pro/p/p215941>. Se consultó el 31 jul.. 2018.

"Efficient field data collection of tropical forest using terrestrial laser"

<https://ieeexplore.ieee.org/document/6946549/>. Se consultó el 31 jul.. 2018.