

# Desarrollo de instrumentos de mensura forestal para el monitoreo de bosques secundarios

Tomás de Camino Beck<sup>1</sup>

## Introducción

El manejo eficiente y efectivo de bosques naturales, está directamente relacionado a la calidad de datos recolectados para poder construir modelos predictivos de aprovechamiento y recuperación. Los inventarios forestales que se realizan a nivel de muestreos de campo, han sido importantes para poder desarrollar buenos planes de manejo, es claro entonces que hacer tanto más eficientes como más precisos los datos obtenidos de estos muestreos, pueden tener un impacto positivo en el desarrollo de prácticas forestales más efectivas (Goodbody et al. 2017).

La toma de datos lleva implícita la necesidad de utilizar instrumentos de medición de cambios tanto a nivel de árboles individuales como a nivel de cobertura. La evolución de la instrumentación científica para mensura forestal, generalmente ha estado dominada por la disponibilidad y accesibilidad comercial de instrumentos, más que por el desarrollo de instrumentos que se ajusten a la necesidad de muestreo. Sin embargo, para lograr medidas precisas y costo-efectivas, es necesario la creación de instrumentos nuevos, que permitan adaptarse a las prácticas de mensura forestal, para permitir tomar mayor cantidad de muestras en un tiempo menor.

En la última década, gracias a la aparición en el mercado de microcontroladores de bajo costo como Arduino<sup>2</sup>, y versiones genéricas de sensores, se hace posible la construcción de instrumentos de medición científicos de alta precisión a bajo costo y adaptado a las

---

<sup>1</sup> Fundación Costa Rica para la Innovación. Reporte parte del proyecto para el desarrollo de instrumentación forestal entre CATIE y la Fundación Costa Rica para la Innovación

<sup>2</sup> Arduino es una marca de microcontroladores de bajo costo. Un microcontrolador es una pequeña computadora que permite tomar información de sensores y poner a funcionar diferentes tipos de actuadores en respuesta, o tomar datos y almacenarlos.

necesidades de los investigadores (ver por ejemplo D'Ausilio, 2012, Silja, 2016). Más aún, las investigaciones científicas, pueden plantear las necesidades de medición de variables y luego construir instrumentos para medirlas, y no lo inverso, donde la mayoría de investigaciones a nivel de bosques dependen del desarrollo de instrumentos comerciales de medición.

Adicionalmente, la construcción de instrumentos propios es de menor costo, Así por ejemplo una estación meteorológica comercial portátil puede rondar los \$1500 (de la marca HOBO), una basada en tecnología Arduino tiene un costo menor a \$200 (Sparkfun), y puede ser utilizado para desarrollar propiedad intelectual en la construcción de instrumentos científicos, que pueden llevar a el desarrollo de modelos nuevos de financiación de investigación (Akram Syed et al. 2016, Pearce 2012, 2013, Perrine 2017).

Por otro lado, la popularización y la reducción de costos de drones<sup>3</sup> también han permitido la incorporación de técnicas de exploración y monitoreo remoto, utilizando los drones como base, en las investigaciones forestales (Lina et al 2015). Las aplicaciones son muchas, desde el monitoreo de bosques (Koh and Wich, 2012), Medición de altura de bosques (Siebert and Teizer 2014, Mid Mohan et al. 2017), fotogrametría (Ota et al. 2017) y en general manejo de bosques (Lina et al 2015). Sin embargo, es indispensable pensar en el dron, como una plataforma de desarrollo para mejorar las prácticas forestales, y no como un producto de consumo que aumente la complejidad en las estrategias de manejo forestal.

Como parte del esfuerzo para explorar el manejo y aprovechamiento de bosques secundarios, se inició un proyecto de desarrollo de instrumentación forestal tanto a nivel de bosque como a nivel de cobertura, utilizando tecnologías de fuente abierta y de bajo costo. El programa comienza con la exploración del uso de sensores, procesamiento y almacenamiento de datos de campo, a través de tecnologías basadas en arduino, así como la construcción de drones de bajo costo para el monitoreo de bosques secundarios. El objetivo del programa parte de la construcción de instrumentos de medición forestal, para mediciones a nivel de campo, hasta la creación de metodologías con drones para mediciones a nivel de cobertura forestal. Como

---

<sup>3</sup> Denominamos “drone” a un vehículo de vuelo autónomo o operado por un piloto que no se encuentra a bordo del vehículo. Esto incluye quadcopters, rovers y planeadores de ala fija

resultado se espera no sólo construir herramientas funcionales, sino documentar y transferir estas experiencias para su uso libre, y bajo la filosofía open source, permitir un desarrollo y mejoría de estos a través de una comunidad de usuarios.

En este documento se describen las experiencias del primer taller realizado con participantes de 4 países centroamericanos, a partir del cual se propone un plan de desarrollo para muestreos de campo, como para incorporarlos en Drones para monitoreo remoto y medición de cobertura.



Figura 1. Grupos de trabajo. Determinando variables para mensura forestal

## Plan de desarrollo

Es importante recordar que este es un proceso de experimentación en el desarrollo de componentes de medición, por esa razón, los costos son aproximados, y la inversión se hace de forma progresiva a medida que se van construyendo drones e instrumentos, y se van

encontrando obstáculos y necesidades en el proceso. Así por ejemplo, la investigación en vuelo de drones implica posibles accidentes en vuelo, o corto circuitos en la construcción, lo cual puede implicar tener que reemplazar componentes dañados. Los montos indicados son aproximados pero se definen como límite superior.

También es posible que en el proceso de desarrollo se detecten nuevas direcciones que puedan ser valiosas de explorar, es decir este tipo de investigación implica mucha incertidumbre en los posibles resultados. Es claro que se obtendrán instrumentos de alto nivel de medición, lo que no es claro es la ruta exacta que nos va a llevar a dichos resultados.

Se inicia con el desarrollo de instrumentos, y en el proceso de prototipo y prueba software para la integración de información. En una etapa posterior se desarrollarán versiones finales de software.

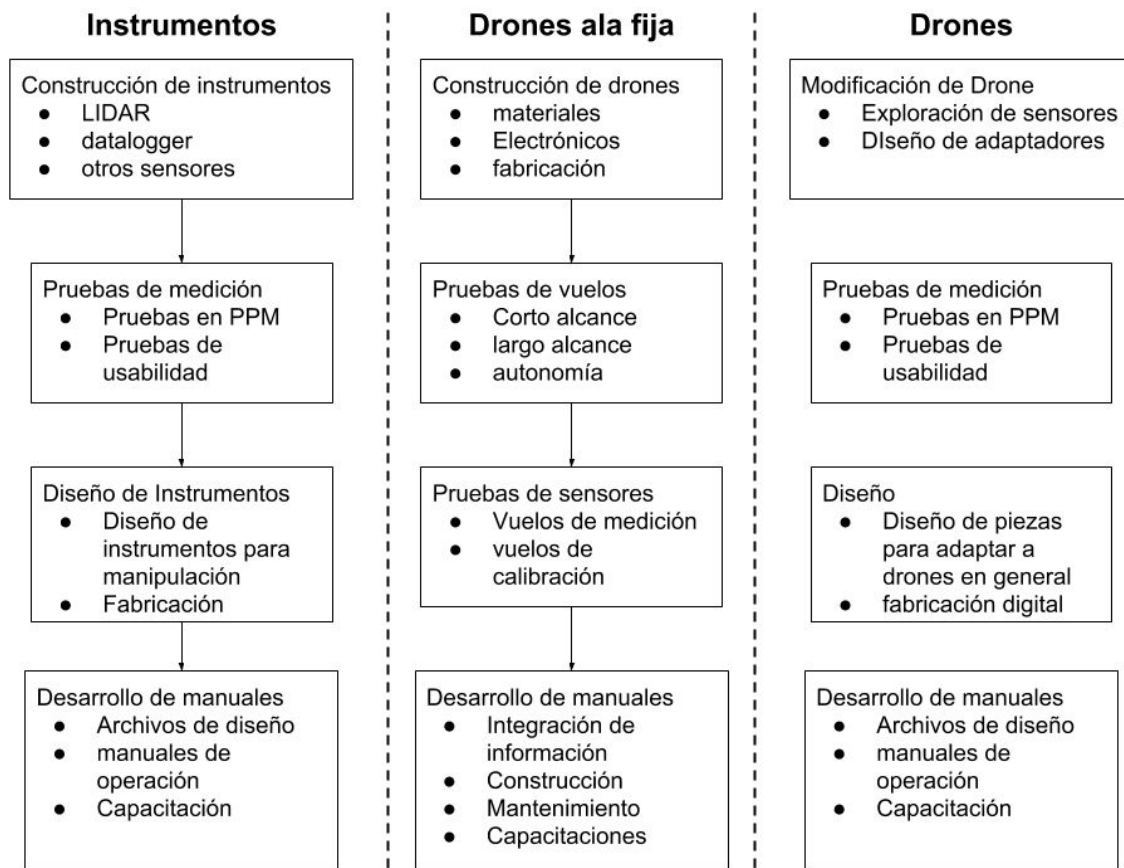
## Objetivo General:

Desarrollar instrumentación para asistir y acelerar los procesos de inventarios y monitoreo de bosques secundarios.

## Objetivos Específicos:

1. Desarrollo de instrumentación para medición de áreas basales, diámetros y altura de bosques, distribución y dispersión de árboles.
2. Desarrollo y prueba de drones de ala fija para el monitoreo de bosques, fotogrametría, y recolección de datos
3. Modificación de drones comerciales para la medición de altura de bosques
4. Prototipado de software para integrar información y determinar variables de manejo forestal (crecimiento, volúmenes)

## Ruta Crítica



## Instrumentación

El esquema de la figura, muestra la estrategia de medición utilizando LIDAR y otros sensores biofísicos que se recomienda desarrollar. Son 4 funciones principales del instrumento basado en el LIDAR lite 3 y otros sensores, que permite medir distancias con alta precisión de hasta 50 metros:

1. Medición de diámetros
2. Medición de área basal de un rodal
3. Medición de altura de un árbol
4. Medición de altura de dosel

Para lograr un uso efectivo del LIDAR y otros sensores, se propone la prueba del sensor LIDAR lite, incorporando un navegador inercial de 9 grados de libertad, de esa manera los movimientos de “escaneo” de árboles, se basan en un sistema de referencia de punto muerto y de esa manera se puede escanear una nube de puntos del rodal, para generar un modelo tridimensional, para posterior análisis matemático y estadístico. También se explorarán otros sensores de rango, y de medición de distancias

**Objetivo:** Desarrollo de un instrumento de medición de diámetro, área basal y altura de árboles, basado en tecnología LIDAR, sensores de rango y de movimiento .

### Materiales necesarios:

1. Impresora 3D
2. Micro-controladores y sensores varios
3. LIDAR lite (y otros posibles sensores de rango)
4. Dispositivo IMU

### Cronograma:

Acción	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Resultado
Exploración de tecnologías LIDAR y					Pruebas de concepto de diferentes tecnologías, primeros prototipos de

otros sensores y de navegación					instrumentos
Pruebas de instrumentos en campo					Mediciones preliminares comparadas con métodos tradicionales. Determinar la precisión de nuevos instrumentos, y el tiempo de medición
Rediseño de versiones mejoradas, y construcción de primeros instrumentos					Mejoramiento de diseños, y construcción de instrumentos para uso real
Publicación y documentación abierta de instrumentos					Dokumentación para garantizar replicabilidad de instrumentos y permitir desarrollo open source

Inversión necesaria:

Rubro	Inversión
Componentes (impresión 3D, LIDAR y otros componentes electrónicos, sensores varios y accesorios, suministros de impresión 3D)	\$5000
Giras a campo (2 Giras, 3 días cada una)	\$6000*

\*inversión no incluye viáticos.

## Desarrollo de drones de ala fija

**Objetivo:** Construcción de drones de ala fija, con sensores de imágenes y lidar, además de transmisores de radio

### Materiales necesarios:

1. Impresora 3D
2. Materiales de construcción de drones (cartofoam, tape y otros materiales)
3. LIDAR lite (y otros posibles sensores de rango)
4. Micro-controladores y sensores varios

BORRADOR

5. Cámaras con sensores infrarrojos y visibles (Cannon S110)
6. Componentes de drones (motores, controladores, control de navegación, componentes de navegación autónoma)

### Cronograma:

Acción	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Resultado
Construcción de Drones					Fabricación de drones con cortado láser y pruebas de vuelo
Pruebas de campo de medición					Pruebas de vuelo y medición de campo de varios bosques (principalmente parcelas permanentes)
Análisis de resultados y publicación					Construcción de documentos y publicación de resultados

### Inversión necesaria:

Rubro	Inversión
Materiales de construcción componentes de drones Sensor remoto Cannon s110 Lidar Controladores de vuelo autónomo Componentes de navegación	\$10000
Giras a campo (1 gira 4días)	\$4000*

\*inversión no incluye viaticos.

## Medición de altura de árboles

**Objetivo:** Pruebas de medición LIDAR en bosques secundarios, utilizando quadcopter y LIDAR

### Materiales necesarios:

1. Impresora 3D
2. Micro-controladores y sensores varios

BORRADOR



3. LIDAR lite (y otros posibles sensores de rango)
4. Quadcopter

### Cronograma:

Acción	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Resultado
Adaptación de LIDAR a drone (piezas 3D, programación de GPS y datalogger)					Construcción de una estructura para adaptar el LIDAR al drone
Pruebas de campo					Pruebas de vuelo y medición de campo de varios bosques (principalmente parcelas permanentes)
Análisis de resultados y publicación					Construcción de documentos y publicación de resultados

Inversión necesaria:

Rubro	Inversión
Componentes (impresión 3D, LIDAR y otros componentes electrónicos y accesorios, suministros de impresión 3D)	\$1000
Giras a campo (1 gira, 3 días)	\$3000*

\*inversión no incluye viaticos.

## Conclusiones y Recomendaciones

- Más que solamente construir unos pocos instrumentos de medición, es más importante dejar la experiencia y capacidad para adaptar y desarrollar los instrumentos según se necesiten
- La publicación de detalles técnicos puede ser más importante que la publicación de resultados científicos, dado que aunque muchos resultados con el uso de nuevas tecnología son interesantes, el potencial está en el proceso de adquisición de datos con nuevas tecnologías.

BORRADOR

- El objetivo más importante del taller no era el de tomar datos, sino el de explorar las posibilidades de uso de nuevas tecnologías y el de estimular a la comunidad de forestales a que intenten desarrollar sus propios instrumentos
- Para garantizar el éxito del proyecto es necesario hacer un estudio comparativo de las mediciones con nuevas tecnologías con respecto a anteriores, y determinar qué tan rápido se pueden realizar para mejorar y agilizar los inventarios forestales.
- La inversión inicial de construcción de drones puede ser alta, debido a la necesidad de comparar varios componentes para poder luego determinar las mejores opciones para el diseño final
- El objetivo de la exploración de drones de ala fija es la de encontrar un modelo de construcción de bajo costo, que permita obtener información de fotografías y cualquier otra variable biofísica a bajo costo y de manera frecuente.
- Una vez desarrollado los drones, es importante realizar una investigación fotogramétrica con los drones de ala fija. Para ello se sugiere una investigación básica de fotointerpretación y de obtención de índices de vegetación. Estos resultados pueden ser publicados formalmente en una revista científica, o presentados en algún congreso, dependiendo de los resultados.
- A pesar de que se sugieren tres áreas de desarrollo, esto no excluye la posibilidad de explorar otras tecnologías o posibilidades de monitoreo de variables a largo plazo. Esto dependerá de la posibilidad de trabajar con estudiantes de CATIE, que puedan construir instrumentos para sus proyectos. Por ejemplo medir luz dentro del bosque utilizando métodos tradicionales y nuevos sensores electrónicos como estudio comparativo.

## Referencias

Pearce, Joshua M. "Building research equipment with free, open-source hardware." *Science* 337, no. 6100 (2012): 1303-1304.

Pearce, Joshua M. Open-source lab: how to build your own hardware and reduce research costs. Newnes, 2013.

D'Ausilio, Alessandro. "Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment." Behavior research methods 44, no. 2 (2012): 305-313.

Ali, Akram Syed, Zachary Zanzinger, Deion Debose, and Brent Stephens. "Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection." Building and Environment 100 (2016): 114-126.

Hund, Silja V., Mark S. Johnson, and Tom Keddie. "Developing a hydrologic monitoring network in data-scarce regions using open-source arduino dataloggers." Agricultural & Environmental Letters 1, no. 1 (2016).

Hamel, Perrine, Diego Riveros-Iregui, Daniela Ballari, Trevor Browning, Rolando Céleri, David Chandler, Kwok Pan Chun et al. "Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in ecohydrology." Ecohydrology (2017).

Tang, Lina, and Guofan Shao. "Drone remote sensing for forestry research and practices." Journal of Forestry Research 26, no. 4 (2015): 791-797.

Koh, Lian Pin, and Serge A. Wich. "Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation." Tropical Conservation Science 5, no. 2 (2012): 121-132.

Siebert, Sebastian, and Jochen Teizer. "Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system." Automation in Construction 41 (2014): 1-14.

Goodbody, Tristan RH, Nicholas C. Coops, Peter L. Marshall, Piotr Tompalski, and Patrick Crawford. "Unmanned aerial systems for precision forest inventory purposes: A review and case study." The Forestry Chronicle 93, no. 1 (2017): 71-81.

Mohan, Midhun, Carlos Alberto Silva, Carine Klauberg, Prahlad Jat, Glenn Catts, Adrián Cardil, Andrew Thomas Hudak, and Mahendra Dia. "Individual Tree Detection from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Derived Canopy Height Model in an Open Canopy Mixed Conifer Forest." *Forests* 8, no. 9 (2017): 340.

Ota, Tetsuji, Miyuki Ogawa, Nobuya Mizoue, Keiko Fukumoto, and Shigejiro Yoshida. "Forest Structure Estimation from a UAV-Based Photogrammetric Point Cloud in Managed Temperate Coniferous Forests." *Forests* 8, no. 9 (2017): 343.