

**Integración de  
Sentinel 1, Sentinel 2  
y LiDAR para la  
obtención de altura  
de base de copa y  
altura dominante en  
*Pinus sylvestris***



**Autor. Pablo J. Torres Hernández**

**Coautores. Eva Marino, Nur Algeet, José Luis  
Tomé y Mariano García**

# Índice de contenidos



→ Introducción

→ Metodología

→ Resultados

→ Discusión

→ Conclusiones

# Introducción

→ Importancia de la caracterización estructural

→ Uso de LiDAR

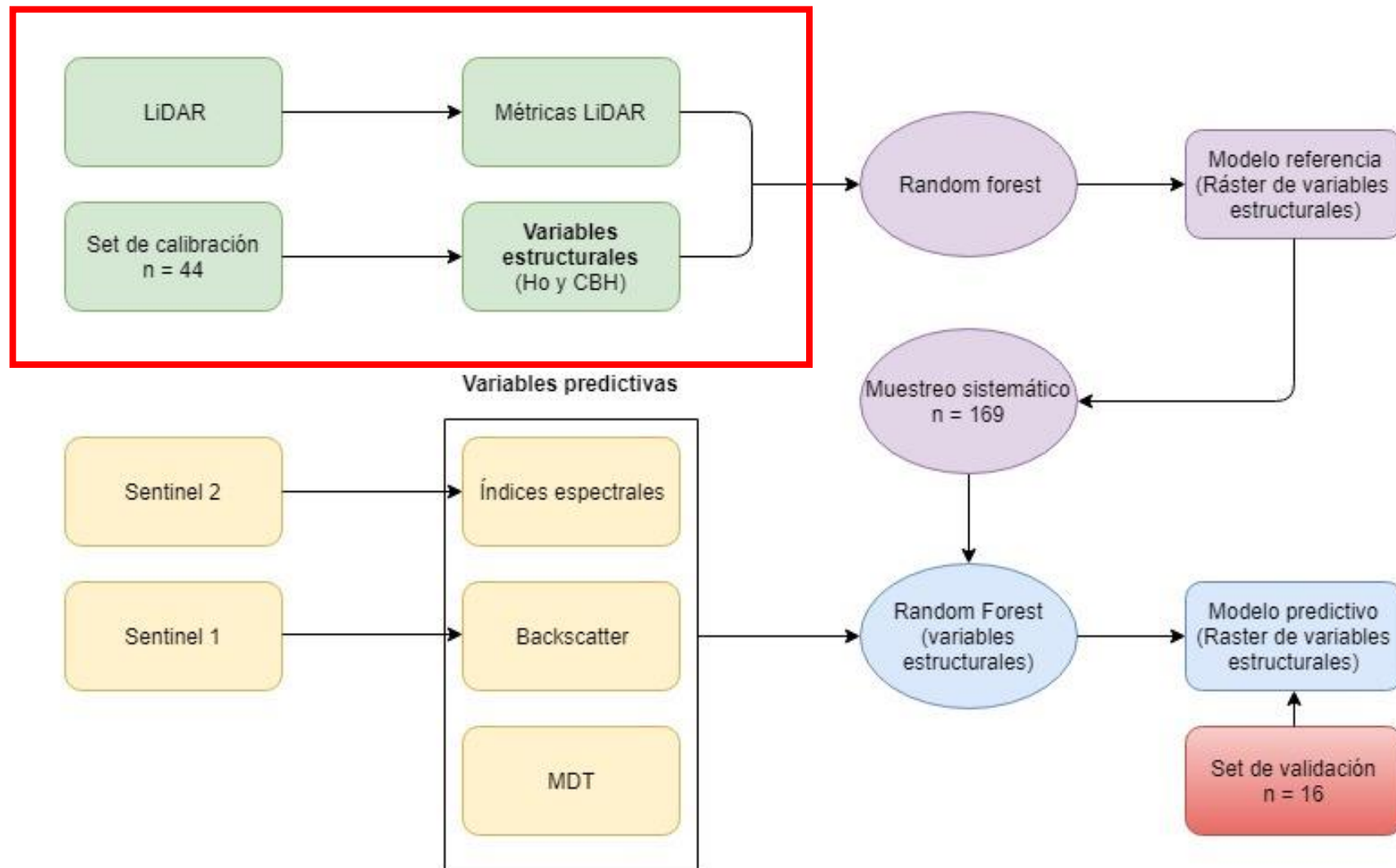
→ Limitaciones

→ RADAR y multiespectral

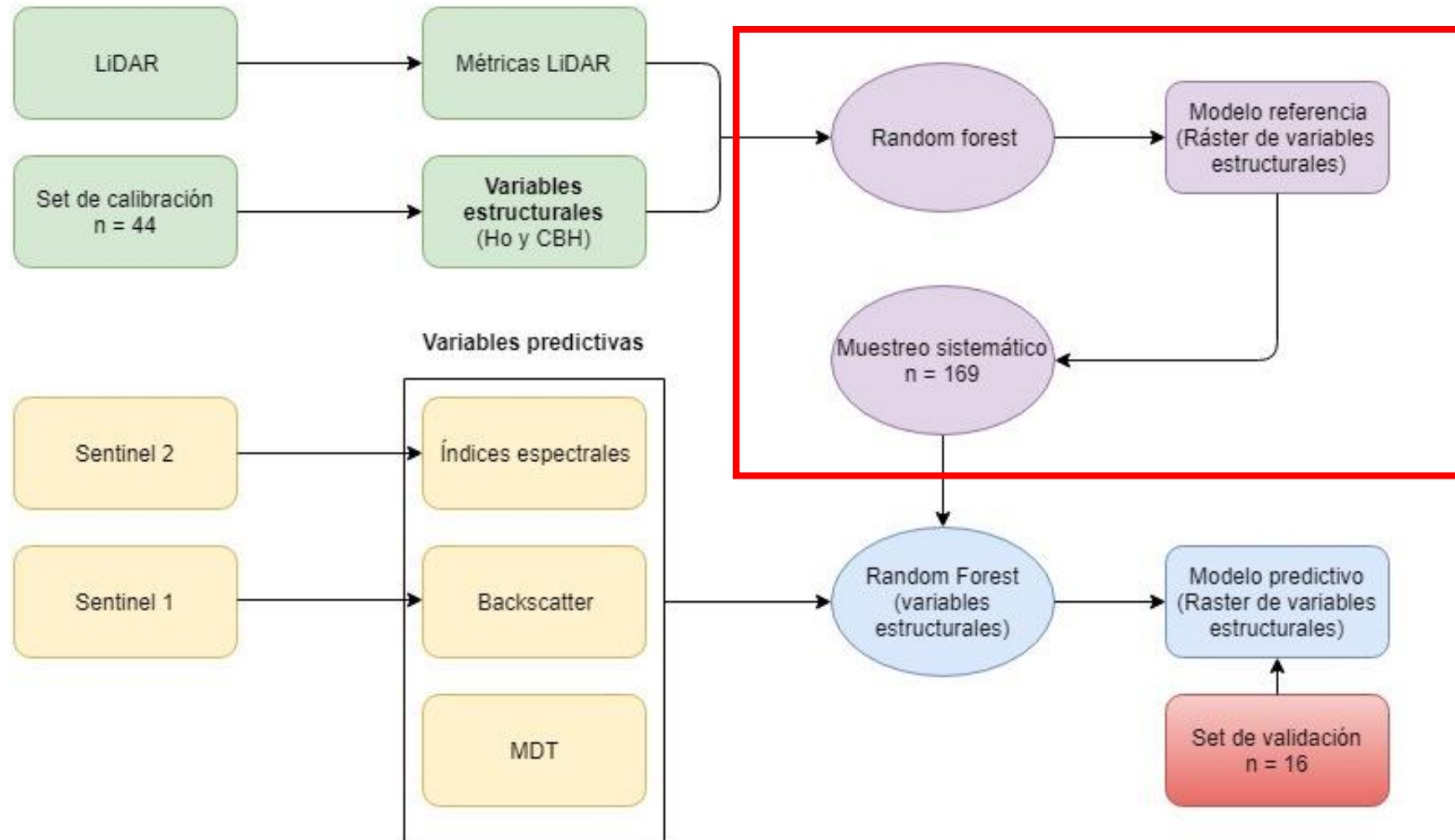
**Objetivo: Integración de diferentes tipos de sensores – Variables estructurales**

- **Desarrollo metodología**
- **Evaluación de Sentinel como estimador**

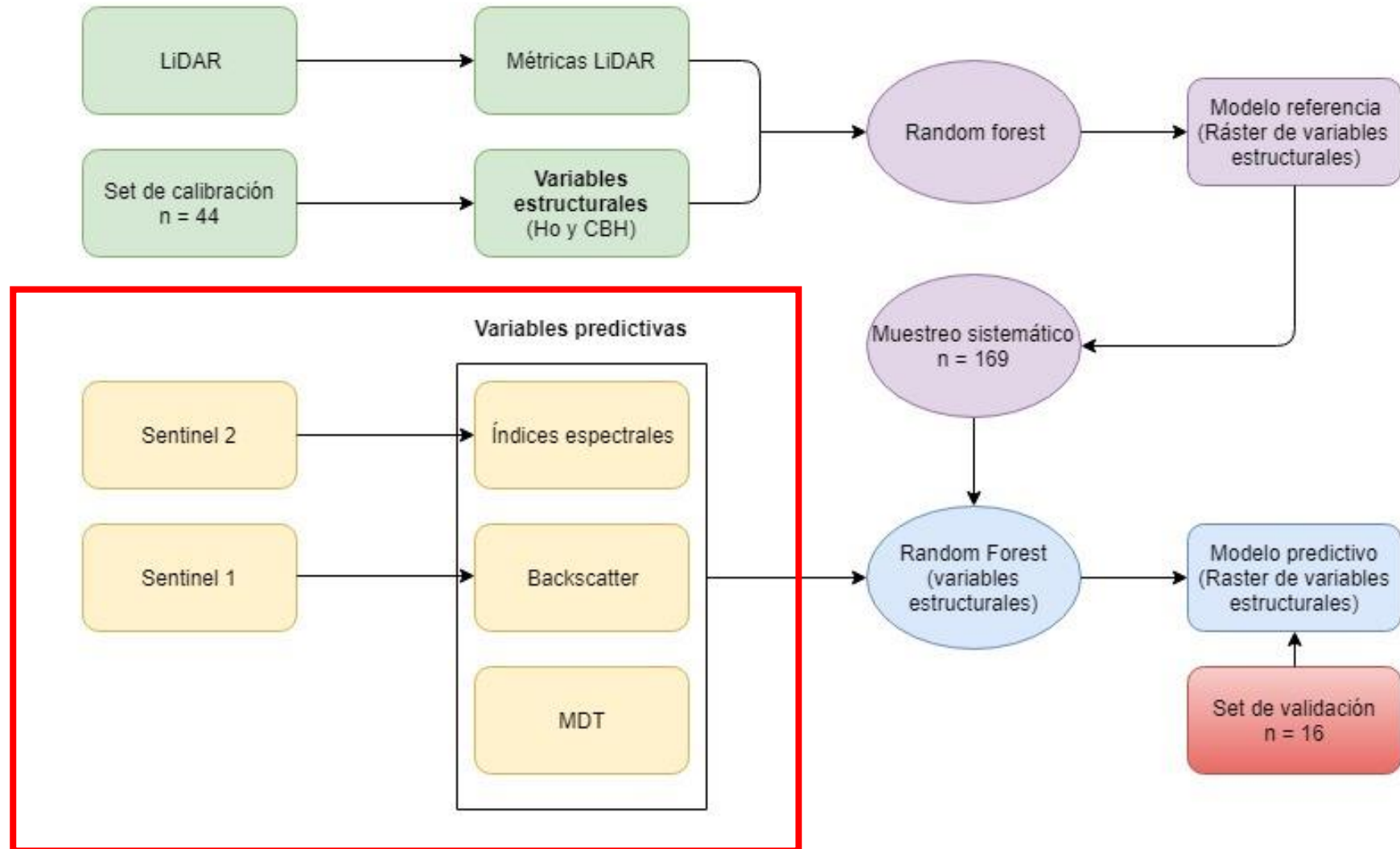
# Metodología



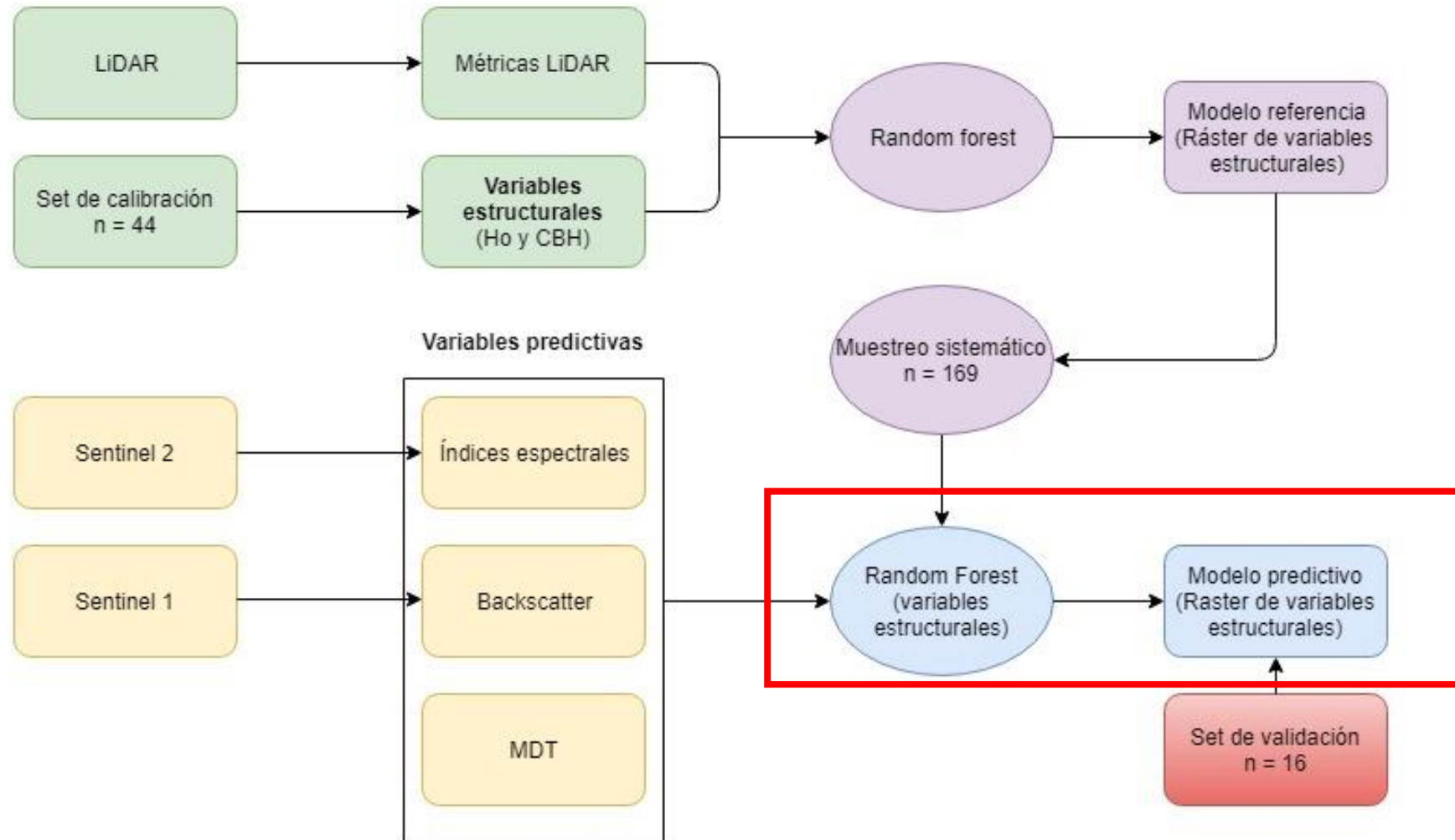
# Metodología



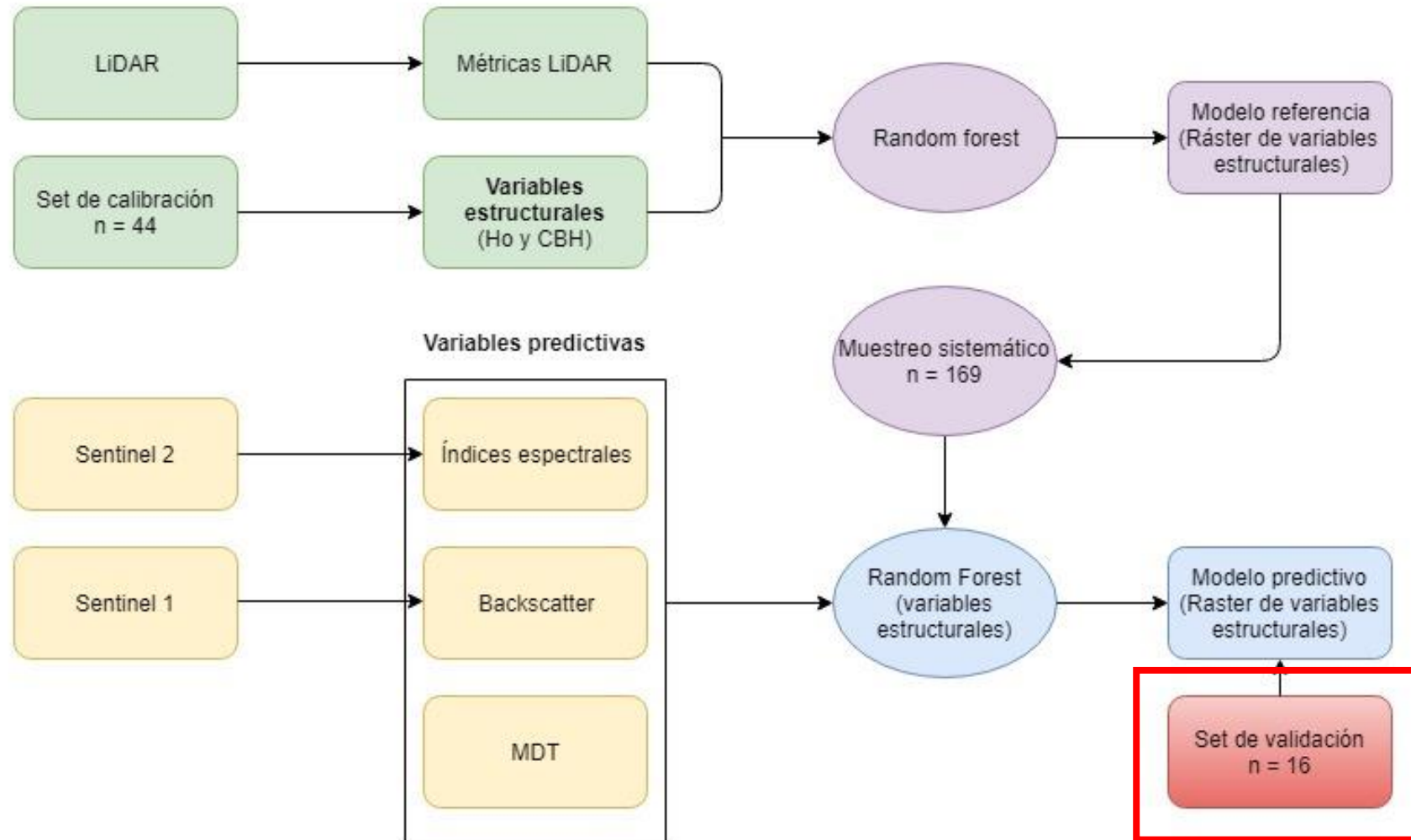
# Metodología



# Metodología



# Metodología





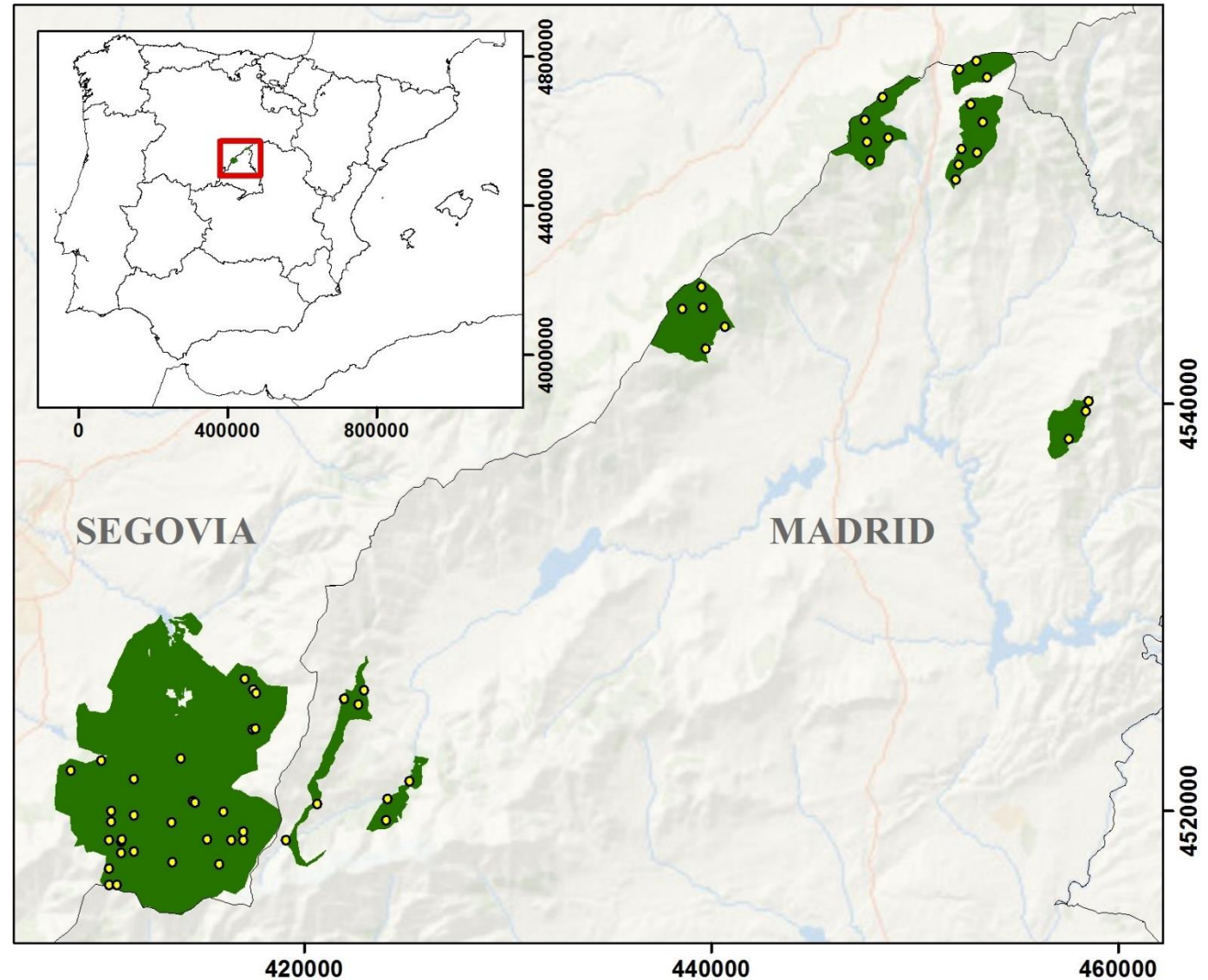
# Zona de estudio

## Leyenda

- Zona de estudio
- Parcelas

Sistema de referencia:  
ETRS89 UTM 30N  
Fuentes:  
CNIG, Agresta S. Coop.

19.219 ha



# Datos de campo

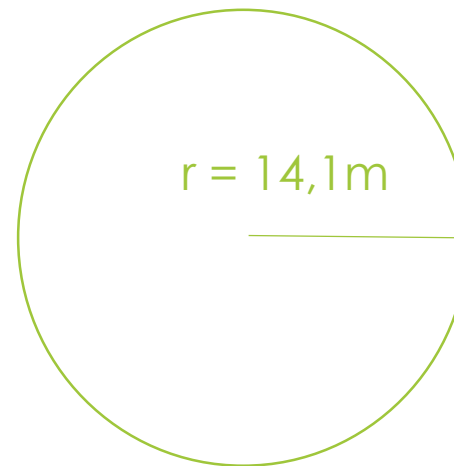
→ 60 parcelas de 625 m<sup>2</sup> – *Pinus sylvestris*

- *Equivalentes a un pixel de 25 m x 25 m*

→ Precisión submétrica

→ Variables: Ho y CBH

→ Validación: 16 parcelas



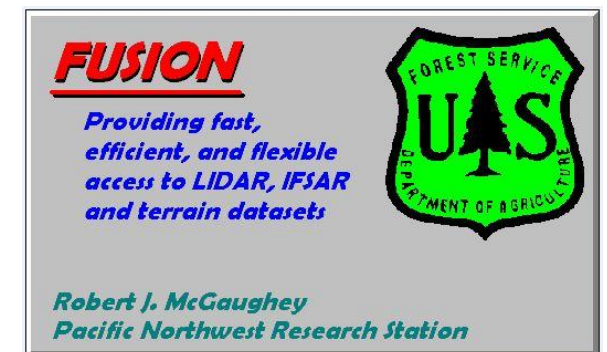
# Datos LiDAR

→ PNOA 2016 – Comunidad de Madrid

- 1 p/m<sup>2</sup>

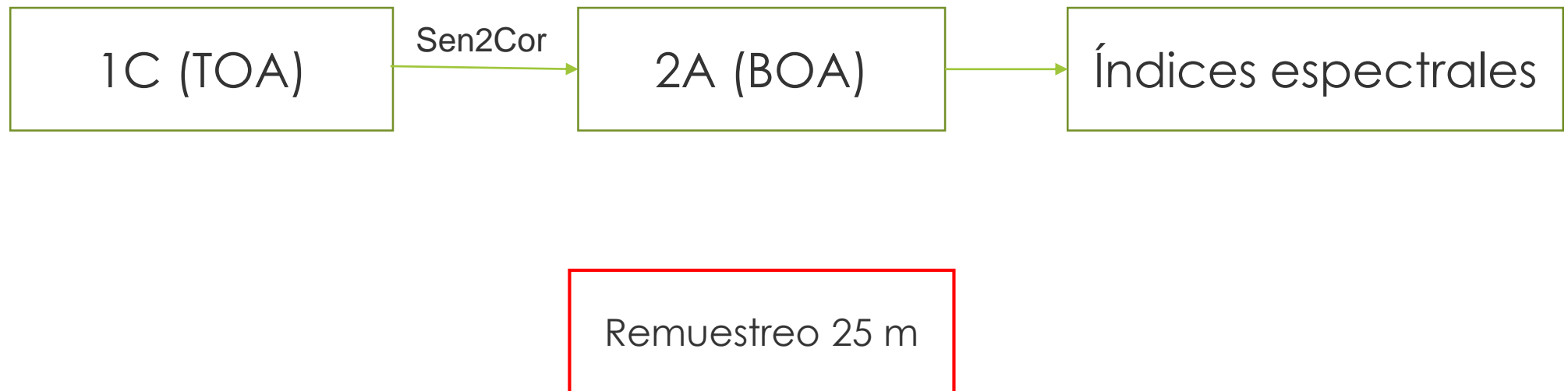


Extracción de métricas



# Datos Sentinel 2

→ Fecha: 20 de marzo de 2017



# Indices espectrales

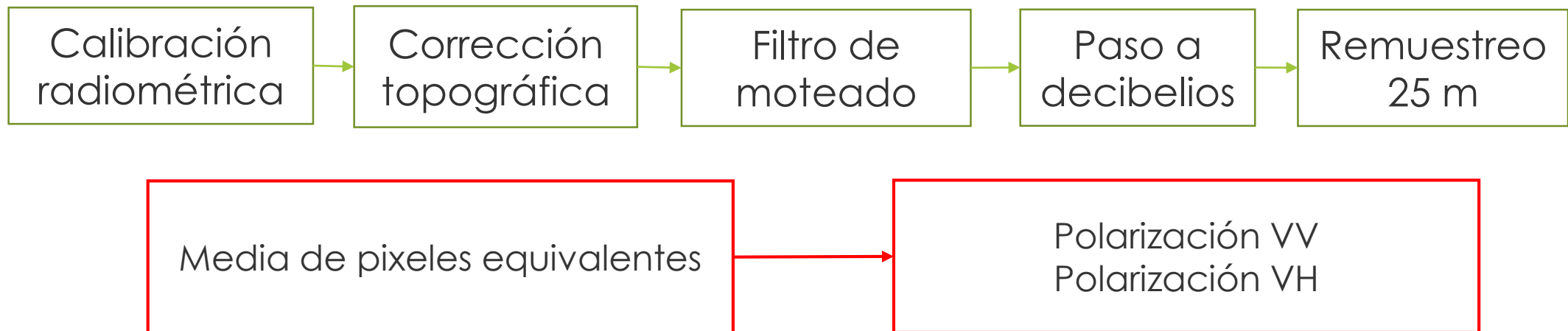
Índice	Acrónimo	Fórmula	Referencia
Enhanced Vegetation Index	<b>EVI</b>	$2,5 * \frac{b8a - b4}{(b8a + 6 * b4 - 7,5 * b2 + 1000)}$	(Huete et al., 2002)
Normalized Difference Index 45	<b>NDI45</b>	$\frac{b5 - b4}{b5 + b4}$	(Delegido et al., 2011)
Normalized Difference 819/1600 NDII	<b>NDII</b>	$\frac{b8a - b11}{b8a + b11}$	(Hardisky et al. 1983)
Normalized Difference Vegetation Index	<b>NDVI</b>	$\frac{b12 - b8a}{b12 + b8a}$	(Rouse et al., 1974)
Normalized Difference Water Index	<b>NDWI</b>	$\frac{b3 - b8a}{b3 + b8a}$	(Gao, 1996)
Normalized Difference Water Index Red Edge	<b>NDWI RE</b>	$\frac{b3 - b5}{b3 + b5}$	(Klemenjak et al., 2012)
Soil Adjusted Vegetation Index	<b>SAVI</b>	$\frac{b8a - b4}{b8b + b4 + L} (1 + L)$	(Huete, 1988)
Visible Atmospherically Resistant Index	<b>VARI</b>	$\frac{b3 - b4}{b3 + b4 - b2}$	(Gitelson et al., 2002)
Visible Atmospherically Resistant Index 700	<b>VARI 700</b>	$\frac{b5 - 1,7 * b4 + 0,7 * b2}{b5 + 2,3 * b4 - 1,3 * b2}$	(Gitelson et al., 2002)
Visible Atmospherically Resistant Index Red Edge	<b>VARI RE</b>	$\frac{b5 - b4}{b5 + b4}$	(Gitelson et al., 2002)
Vegetation Index Green	<b>VI GREEN</b>	$\frac{b3 - b4}{b3 + b4}$	(Tucker, 1979)

# Datos Sentinel 1

→ Fecha: Marzo de 2017 (4 imágenes)

→ Interferometric Wide Swath – Backscatter

- Dos bandas polarimétricas VV y VH



# Otras fuentes de datos

→MDT 25 metros -  
CNIG

## DERIVADAS

- Sombreado analítico
- Pendiente
- Orientación
- Curvatura Cross-Seccional
- Curvatura longitudinal
- Índice de convergencia
- Depresiones cerradas
- Acumulación de flujo
- Índice de humedad topográfica
- Factor LS
- Nivel base de red de drenaje
- Distancia vertical a la red de drenaje
- Profundidad de valle
- Posición relativa de pendiente

# Análisis estadístico

→ Modelo datos LiDAR y campo

- *Random Forest*
- Obtención raster (25 metros) de variables estructurales

→ Modelo datos satélite

- Muestreo sistemático (1000 m – 169 puntos)
- *Random Forest*
- Sentinel 2, Sentinel 1 y MDT

→ Validación independiente

- 16 parcelas



# Resultados

## Modelos basados en datos LiDAR

	$R^2$	<i>Error medio del sesgo</i>
<b>Ho (m)</b>	<b>0,81</b>	<b>-0,027</b>
<b>CBH (m)</b>	<b>0,73</b>	<b>-0,03</b>

→Ho: P60, P70, P80,  
elevación cuadrática  
media y elevación  
cúbica media

→CBH: Percentiles  
intermedios y altura  
media de retornos

# Resultados

## Modelos basados en datos satelitales

	$R^2$	<i>Error medio del sesgo</i>
<b>Ho (m)</b>	<b>0,54</b>	<b>0,17</b>
<b>CBH (m)</b>	<b>0,43</b>	<b>0,15</b>

→VH

→NDWI

→NDVI

→NDII

→VARI 700

# Resultados

## Validación independiente

	<b>Sesgo</b>		<b>Error medio absoluto (EMA)</b>		<b>Raíz del error cuadrático medio (RMSE)</b>	
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
<b>Ho (m)</b>	4,60	<b>21,01</b>	5,32	<b>24,30</b>	7,17	<b>32,79</b>
<b>CBH (m)</b>	3,56	<b>35,27</b>	4,61	<b>45,62</b>	5,92	<b>58,56</b>

# Discusión

→ Densidad de puntos LiDAR baja pero suficiente para estimar variables

→ Métricas: Percentiles

- González-Ferreiro et al., 2012
- Necesidad de profundización – Cómo afectan estas variables

# Discusión

→ Modelos con datos satelitales:

- Resultados dispares con diferentes algoritmos
- Baja penetración en cubiertas vegetales

→ Resultados no satisfactorios

- $R^2$  para  $H_0 = 0,26$  con Landsat
- $R^2$  para  $H_0 = 0,54$  en nuestro estudio

# Discusión

→RADAR:

- Humedad
- Banda L en vez de banda C
- Pendiente afecta al backscatter

→Variables más influyentes:

- Radar VH – Estructura y volumen masa aérea
- Índices espectrales mejoran la calidad de modelos predictivos

¿Qué otras variables podrían mejorar estos modelos?

# Conclusiones



→ Datos LiDAR del PNOA son suficiente para estimar variables forestales

# Conclusiones

- Datos LiDAR del PNOA son suficiente para estimar variables forestales
- Necesidad continuar estudiando como superar la baja resolución temporal de datos LiDAR mediante utilización de datos RADAR y multiespectrales



# Conclusiones

- Datos LiDAR del PNOA son suficiente para estimar variables forestales
- Necesidad continuar estudiando como superar la baja resolución temporal de datos LiDAR mediante utilización de datos RADAR y multiespectrales
- Existencia de bibliografía sobre modelos predictivos de variables estructurales con datos Landsat, pero no con datos Sentinel

# Conclusiones

- Datos LiDAR del PNOA son suficiente para estimar variables forestales
- Necesidad continuar estudiando como superar la baja resolución temporal de datos LiDAR mediante utilización de datos RADAR y multiespectrales
- Existencia de bibliografía sobre modelos predictivos de variables estructurales con datos Landsat, pero no con datos Sentinel
- Necesidad de profundización sobre qué variables son mas representativas en modelos predictivos de variables en masas forestales con datos satélite

**Integración de Sentinel 1, Sentinel 2 y  
LiDAR para la obtención de altura de  
base de copa y altura dominante en  
*Pinus sylvestris***

 Pablo J. Torres Hernández

 [pablojth@gmail.com](mailto:pablojth@gmail.com)

