

Nuevas tecnologías para la gestión integral de la producción forestal

¿Cómo están cambiando la forma en que gestionamos nuestros bosques?

Eduardo Hildt

Ingeniero Forestal (Dr.)

INTA EEA Montecarlo

hildt.eduardo@inta.gob.ar



XXXVII JORNADAS
FORESTALES
DE ENTRE RÍOS

¿De qué se trata?

1. Forestry 4.0

2. La investigación de nuevas tecnologías forestales

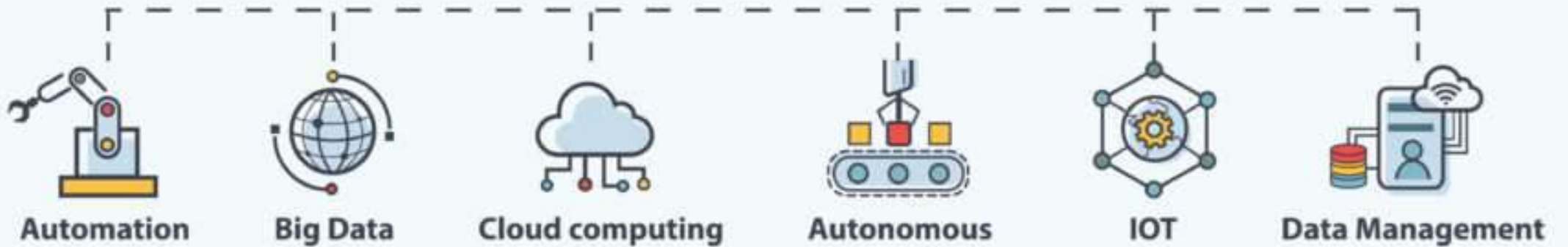
3. Aplicación de sensores remotos para la forestación de precisión

4. Sistemas de gestión basados en bases de datos espaciales

Industrias 4.0



INDUSTRY 4.0

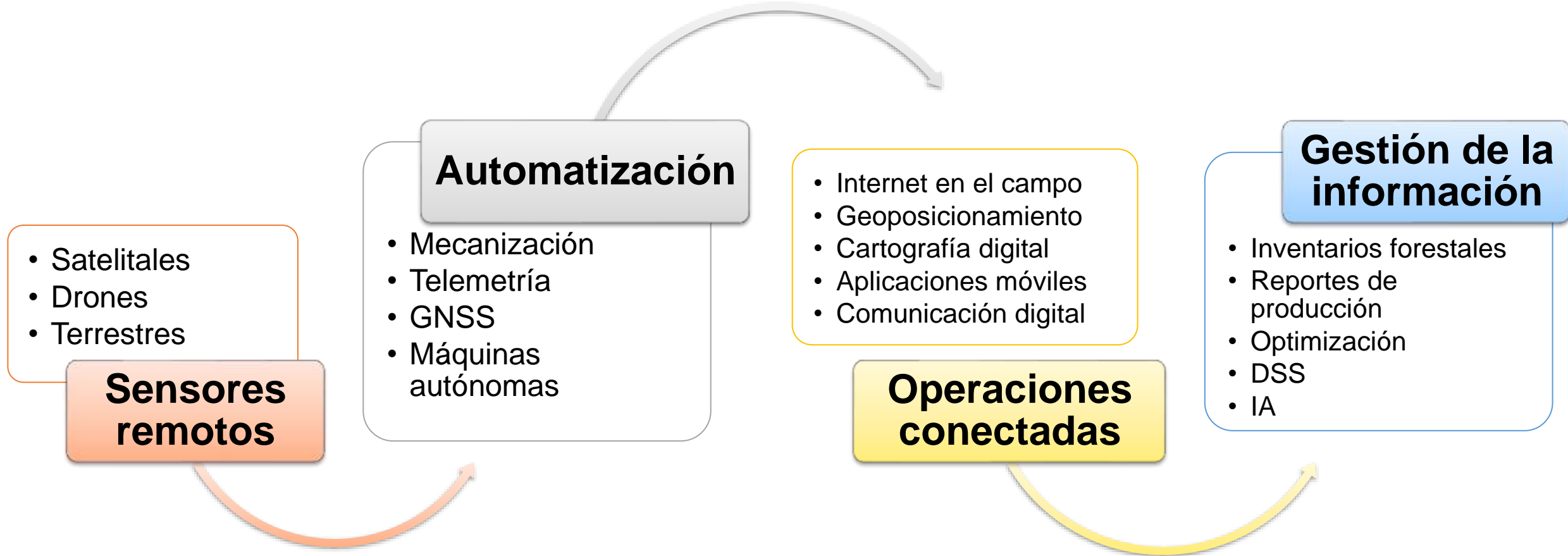


¿Cómo impactó en nuestras industrias?

Forestry 4.0 - Traduciendo esta revolución al escenario forestal



Forestry 4.0 - Traduciendo esta revolución al escenario forestal



Forestación de precisión

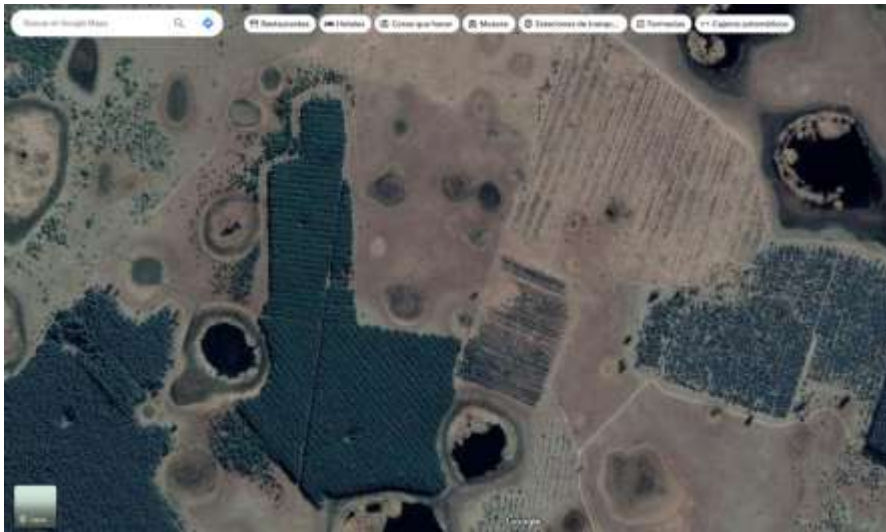
¿Qué dificultades encuentra su adopción?

La investigación de nuevas tecnologías forestales



¿Cómo generamos información?

Google Earth



Recorridas a campo



Inventarios forestales



¿Qué más?

Aplicación de sensores remotos para la forestación de precisión

Imágenes de satélites ópticos pasivos



Landsat 5/7/8/9
Resolución 30 m



Sentinel 2A y 2B
Resolución 10 m



CBERS 4A
Resolución 8 m
Pancromática 2 m



Satélites Dove
Resolución 5 m
Pancromática 0.9 m
Uso comercial

Imágenes de radares activos (SAR)



Sentinel 1A y 1B
Banda C



SAOCOM 1A - 1B
Banda L

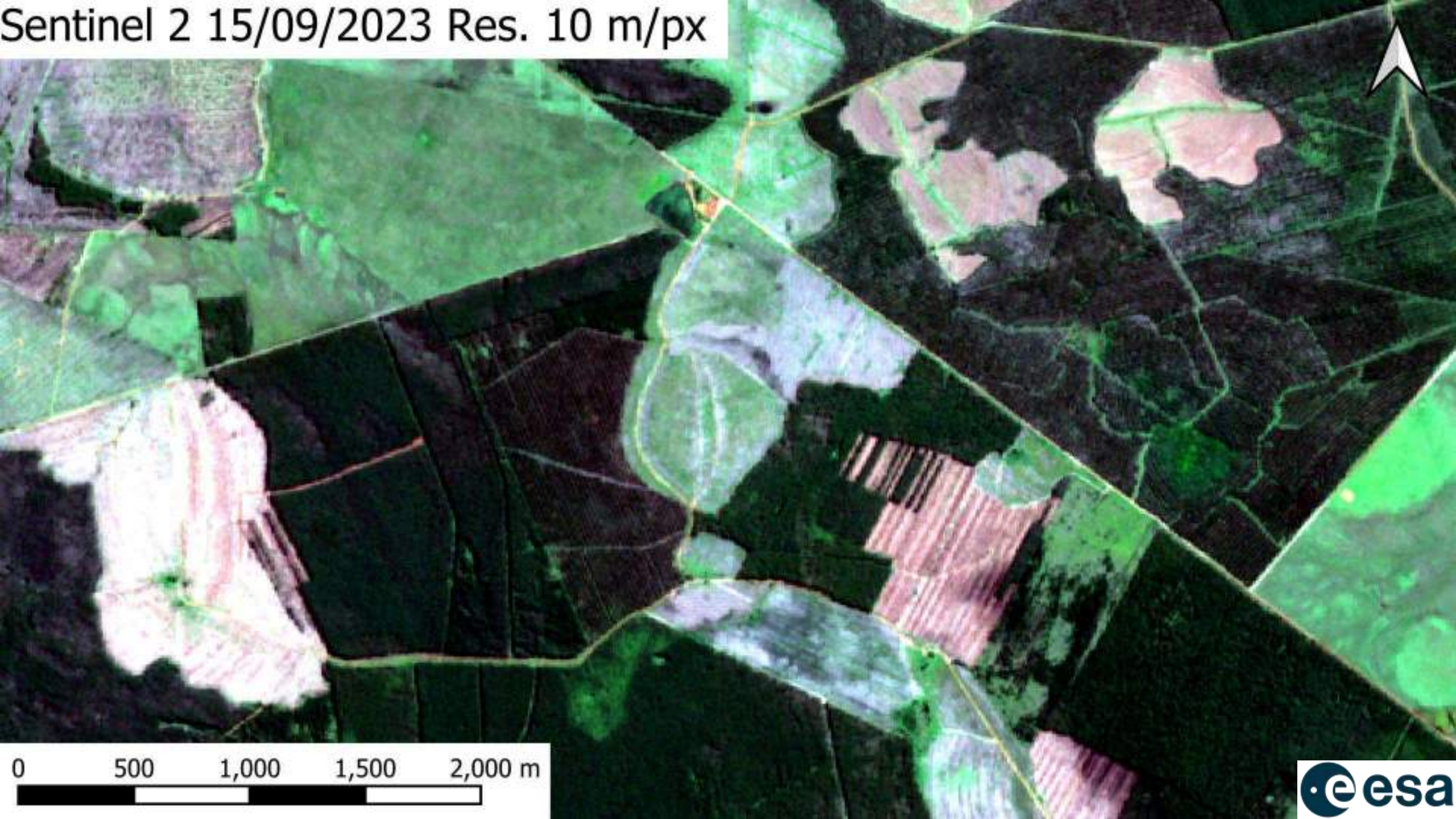
Landsat 9 15/09/2023 Res. 30 m/px



0 500 1,000 1,500 2,000 m



Sentinel 2 15/09/2023 Res. 10 m/px



0 500 1,000 1,500 2,000 m



CBERS-4A 30/05/2023 Res. 8 m/px



0 500 1,000 1,500 2,000 m



Planet Mosaico Agosto 2023 Res. 4,7 m/px



0 500 1,000 1,500 2,000 m

planet.

CBERS-4A 30/05/2023 Res. 2 m/px



0 500 1,000 1,500 2,000 m



Sentinel 2

Revisita 5 días

Resolución: 10 m

Bandas 4/3/2 – Color natural



Sentinel 2

Revisita 5 días
Resolución: 10 m

Bandas 12/11/4 – Focos de calor



Aplicación de las imágenes satelitales

Rodalización

Superficie forestal efectiva

Planificación del inventario

Planificación de la cosecha

Avance de la cosecha



Aplicación de las imágenes satelitales

Cálculo de Índices

Área quemada

Severidad de los incendios

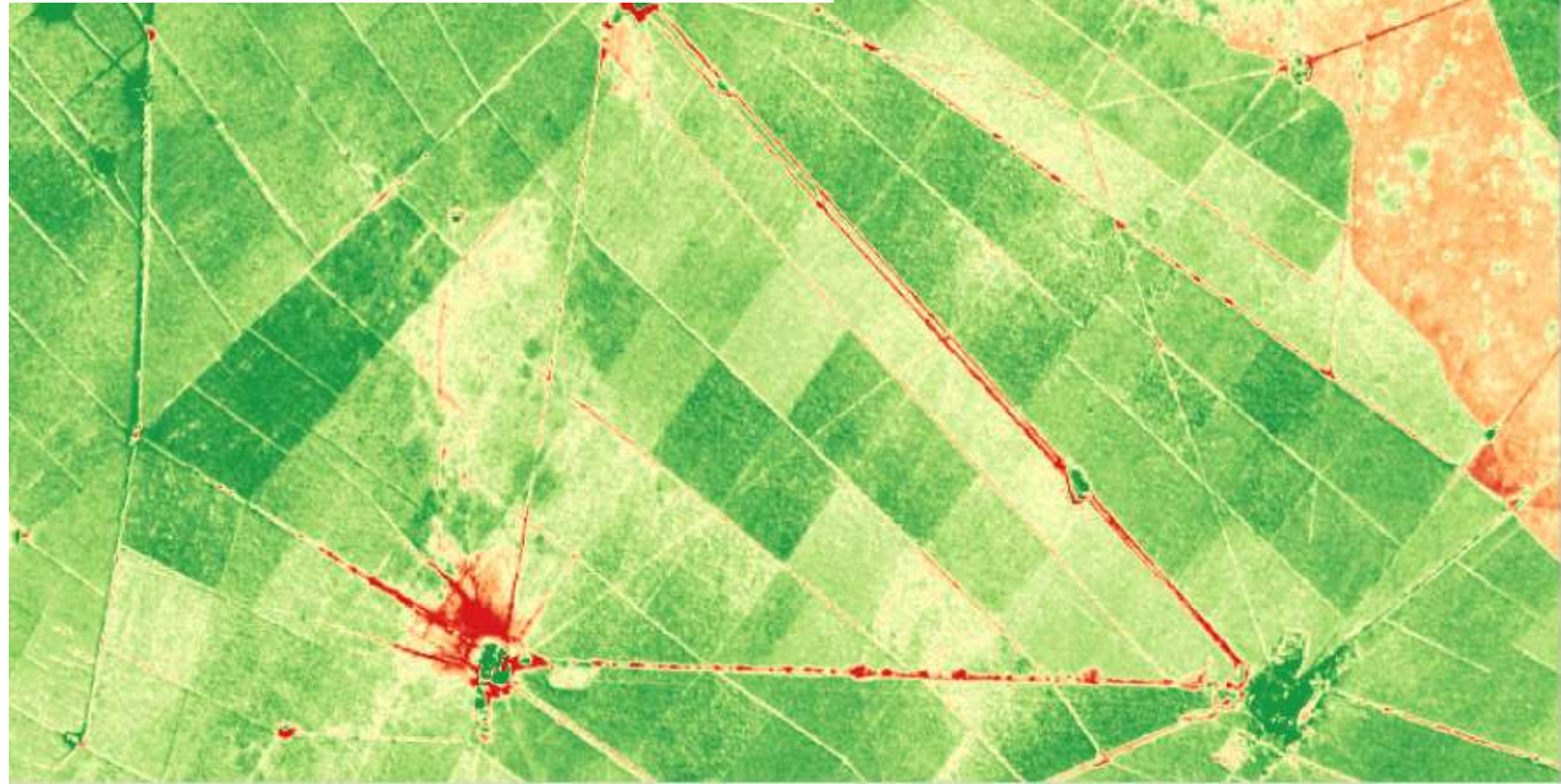
Detección de enfermedades

Detección de áreas estresadas

NBR (NIR – SWIR / NIR + SWIR)



Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)



¿Y si nos sigue faltando detalle?

¿A qué podemos recurrir?

El empleo de relevamientos aéreos

¿Qué podemos utilizar?

Claves

Extensión a mapear

Facilidad para el aterrizaje

Accesibilidad

Tipos de VANTs aplicables a los relevamientos agroforestales

Alas fijas



Fuente: uavsystemsinternational.com

Fuente: ageagle.com

Alas fijas con capacidad de despegue vertical

VTOL



Fuente: chcnave.com



Catapultas

Lanzamiento

Vertical Take-Off and Landing



VTOL tail-sitter

Fuente: wingtra.com

Tipos de VANTs aplicables a los relevamientos agroforestales

Alas rotatorias



Fuente: www.dji.com



Fuente: www.dji.com



Fuente: www.dji.com



Fuente: www.xagbrasil.com



Fuente: www.dji.com



Fuente: www.dji.com



Fuente: www.autelrobotics.com



Fuente: www.dji.com

Tipos de sensores

Cámaras fotográficas en el rango visible

Fotogrametría en montaje nadir u oblicuo



Fuente: sony.com.ar



Fuente: ageagle.com



Resolución deseada

GSD (cm/px) – (3 ~ 30 cm/px)

Estabilización

Ángulo de cámara

Resolución (Mpx)

Tamaño del sensor (mm)



Fuente: www.dji.com



Fuente: www.dji.com

20

MP

5.4K/30fps +
4K/60fps

Video

1-inch

CMOS Sensor

2.4µm

Pixels



Tipos de sensores

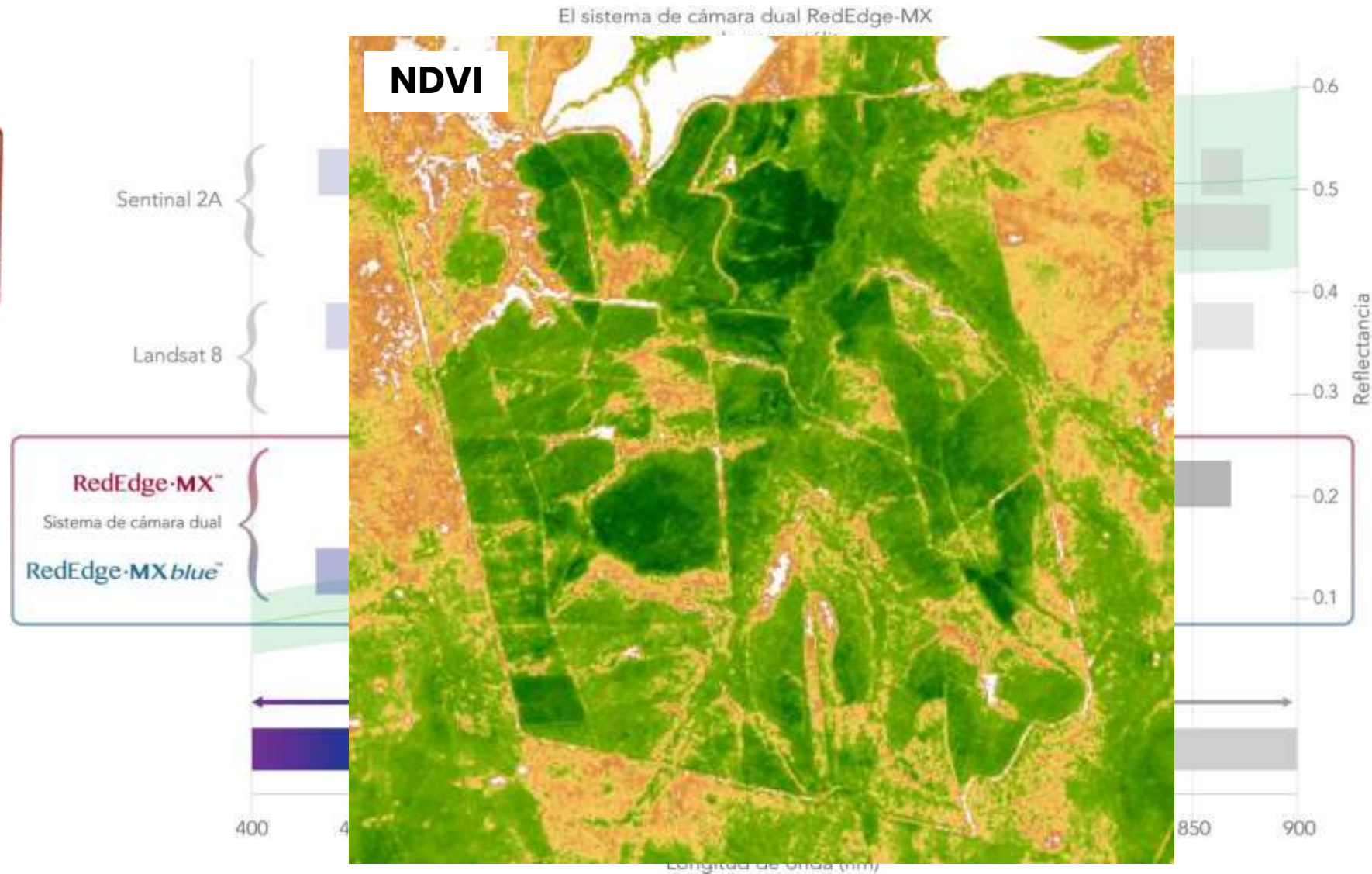
Cámaras multispectrales



Fuente: pix4d.com



Fuente: ageagle.com



Fuente: <https://micasense.com>

Cálculo de índices de vegetación, detección de enfermedades, clasificación de cultivos.

Tipos de sensores

Cámaras térmicas y radiométricas



Fuente: www.dji.com



Fuente: flir.com



Fuente: www.dji.com

¿Qué podemos obtener en un relevamiento con drones?

FOTOGRAMETRÍA

El proceso fotogramétrico

Extracción de puntos característicos

Emparejamiento de características

Estimación de la posición relativa de las cámaras

Estimación de los parámetros de calibración de la cámara

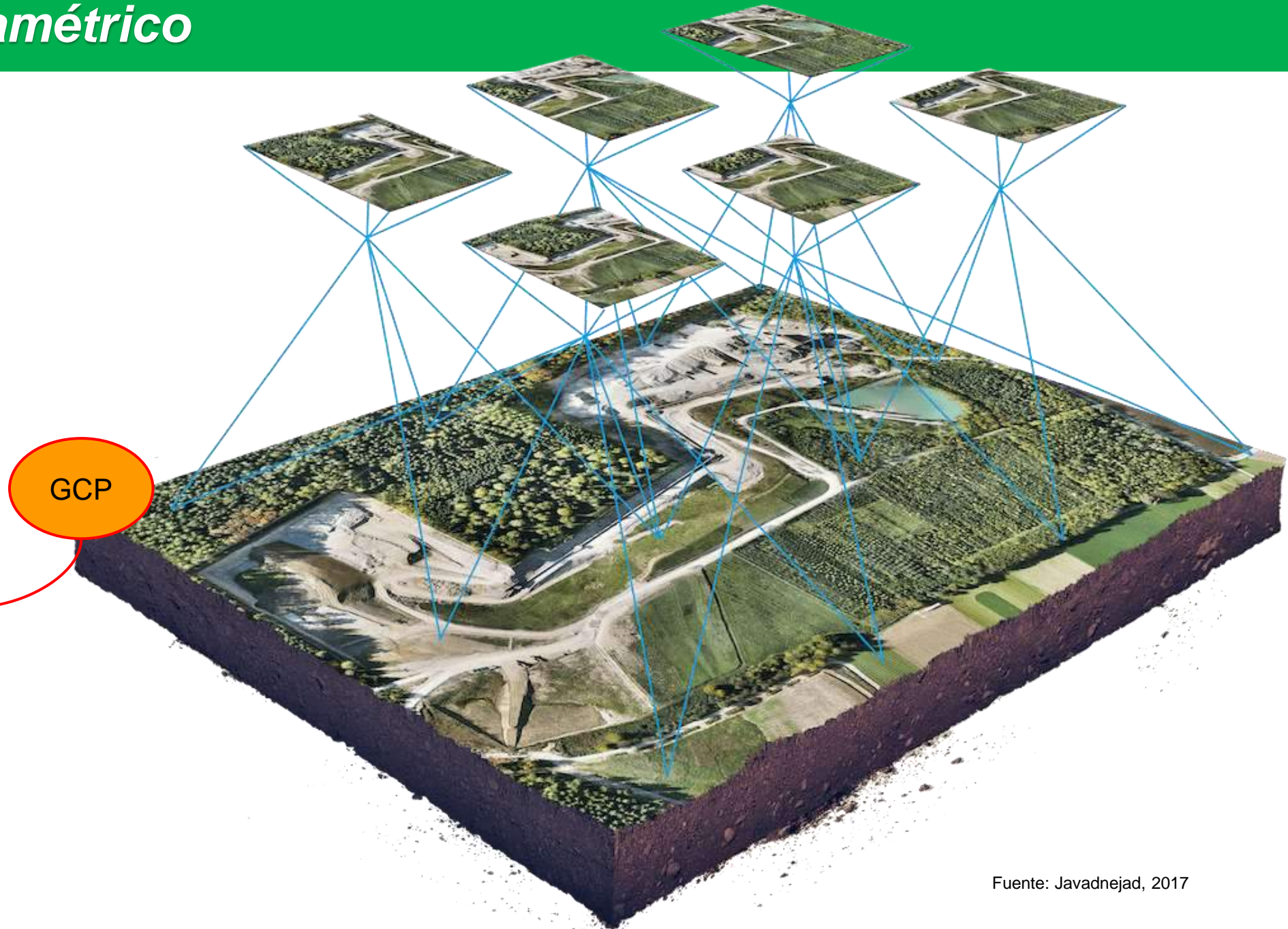
Georeferenciación (*Bundle Adjustment*)

Generación de nube de puntos densa

Modelo digital de superficie (DSM)

Ortomosaico

GCP



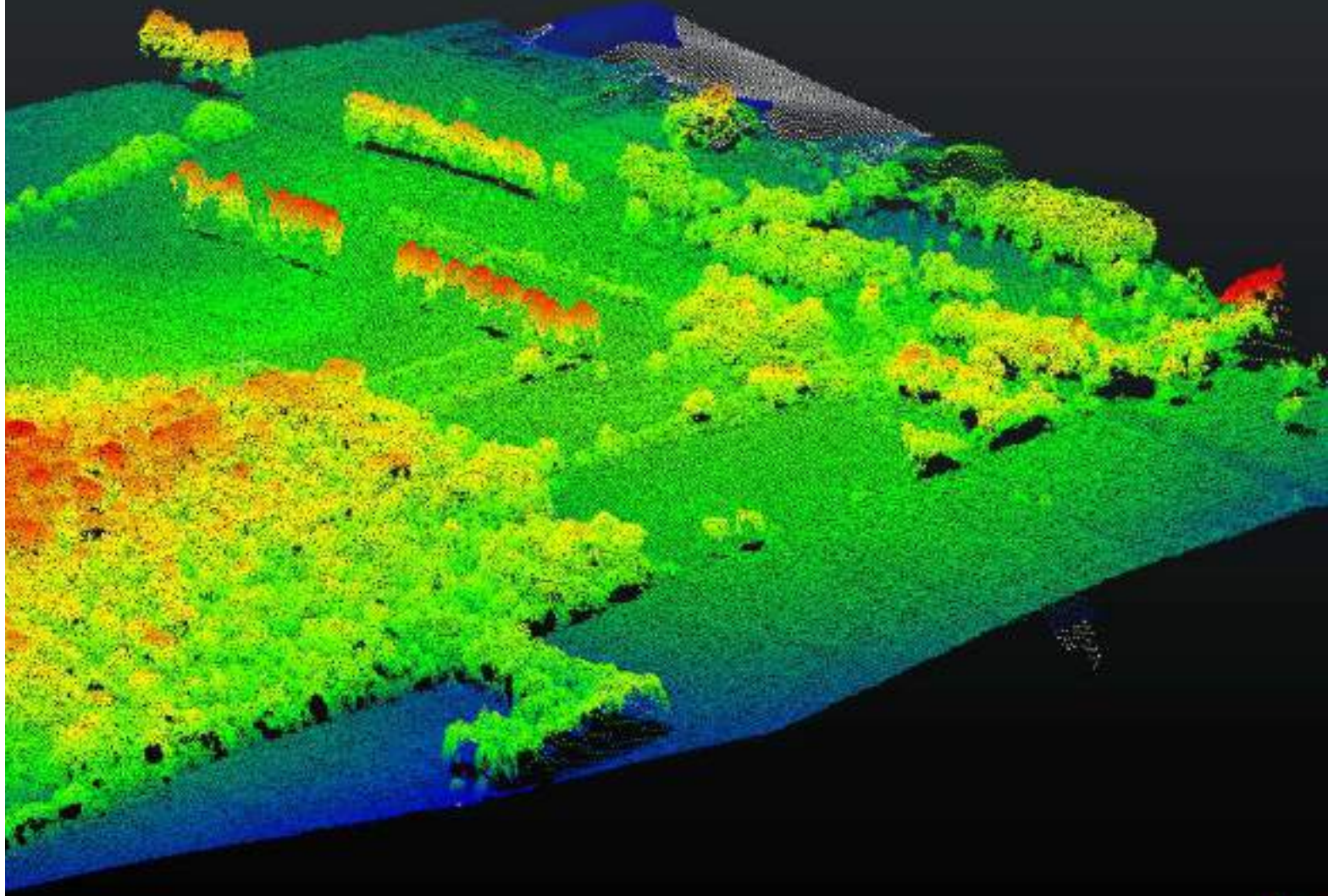
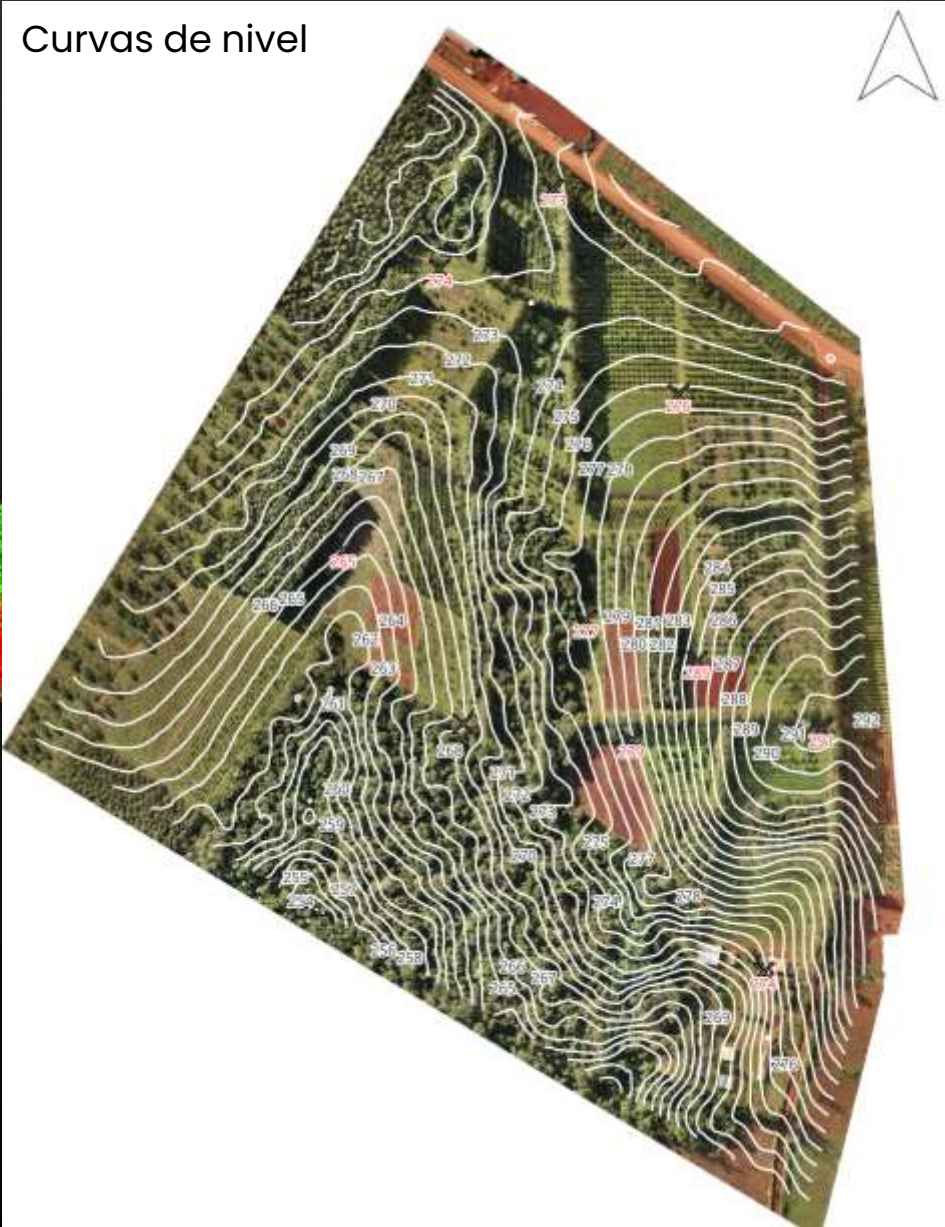
Productos de la fotogrametría: el ortomosaico



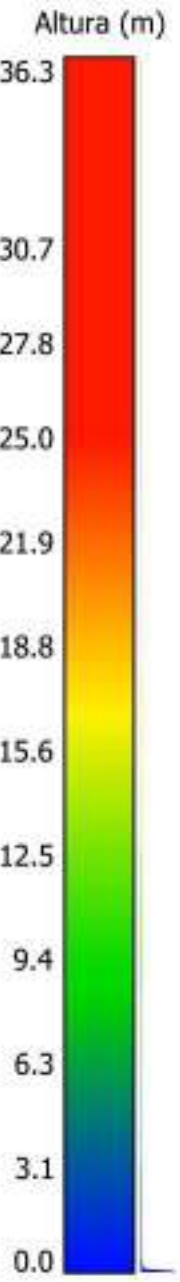
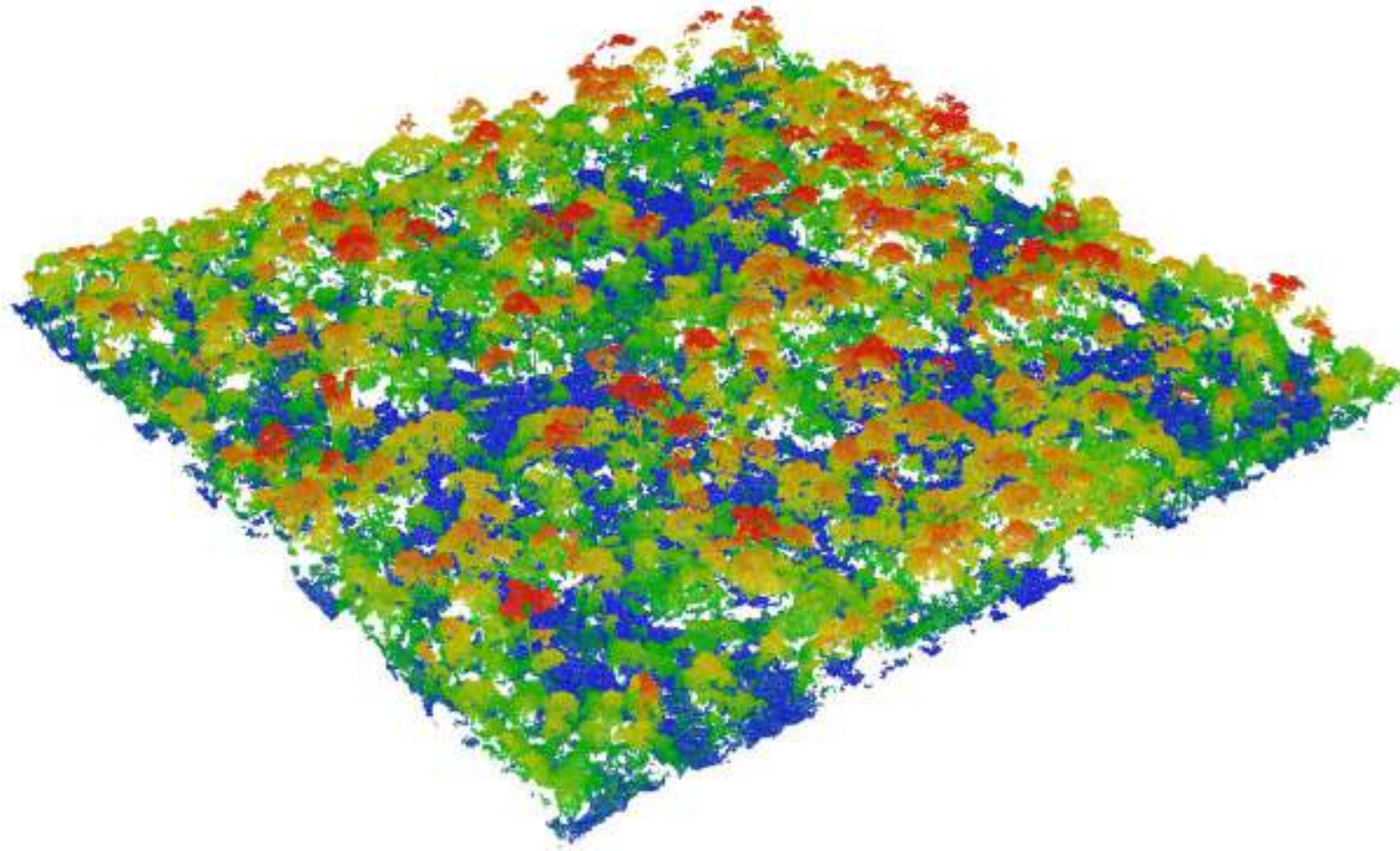
Resolución: 6,7 cm/px

Productos de la fotogrametría: nubes de puntos 3D

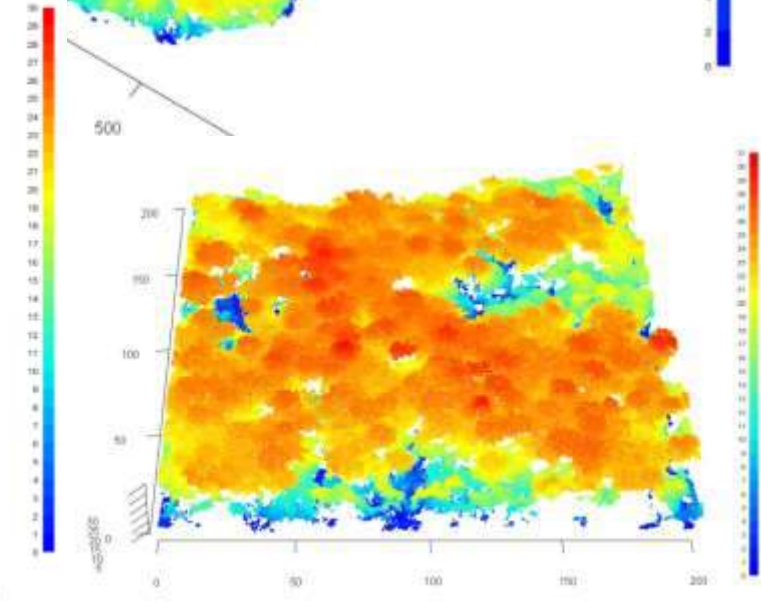
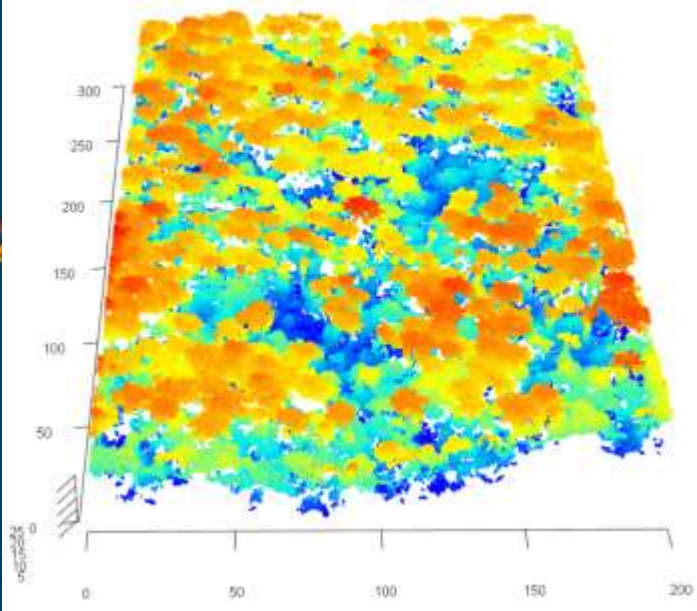
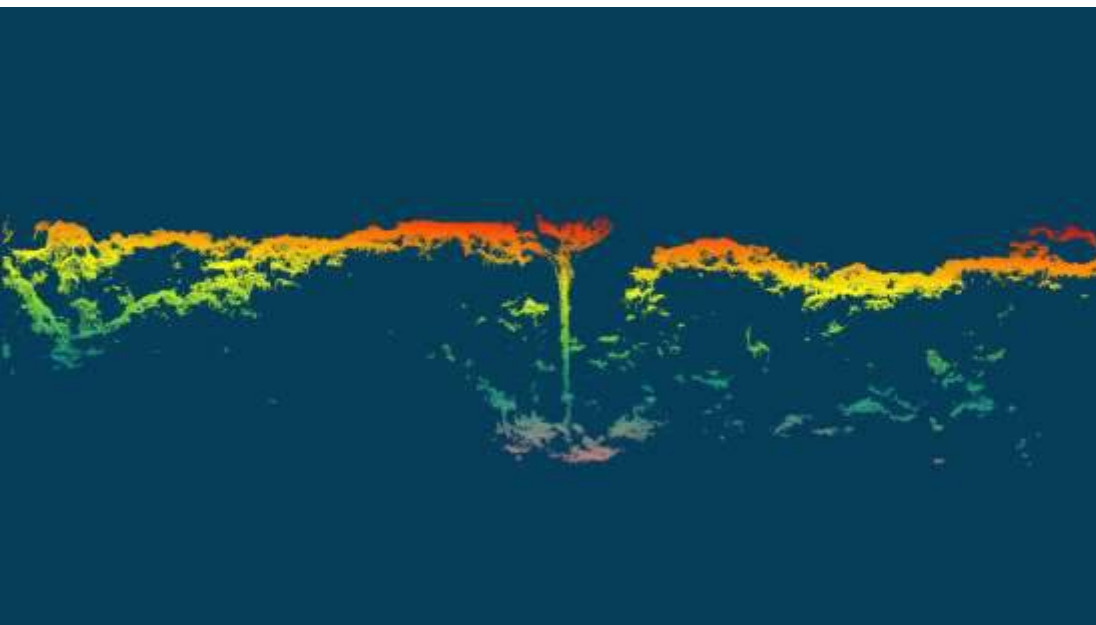
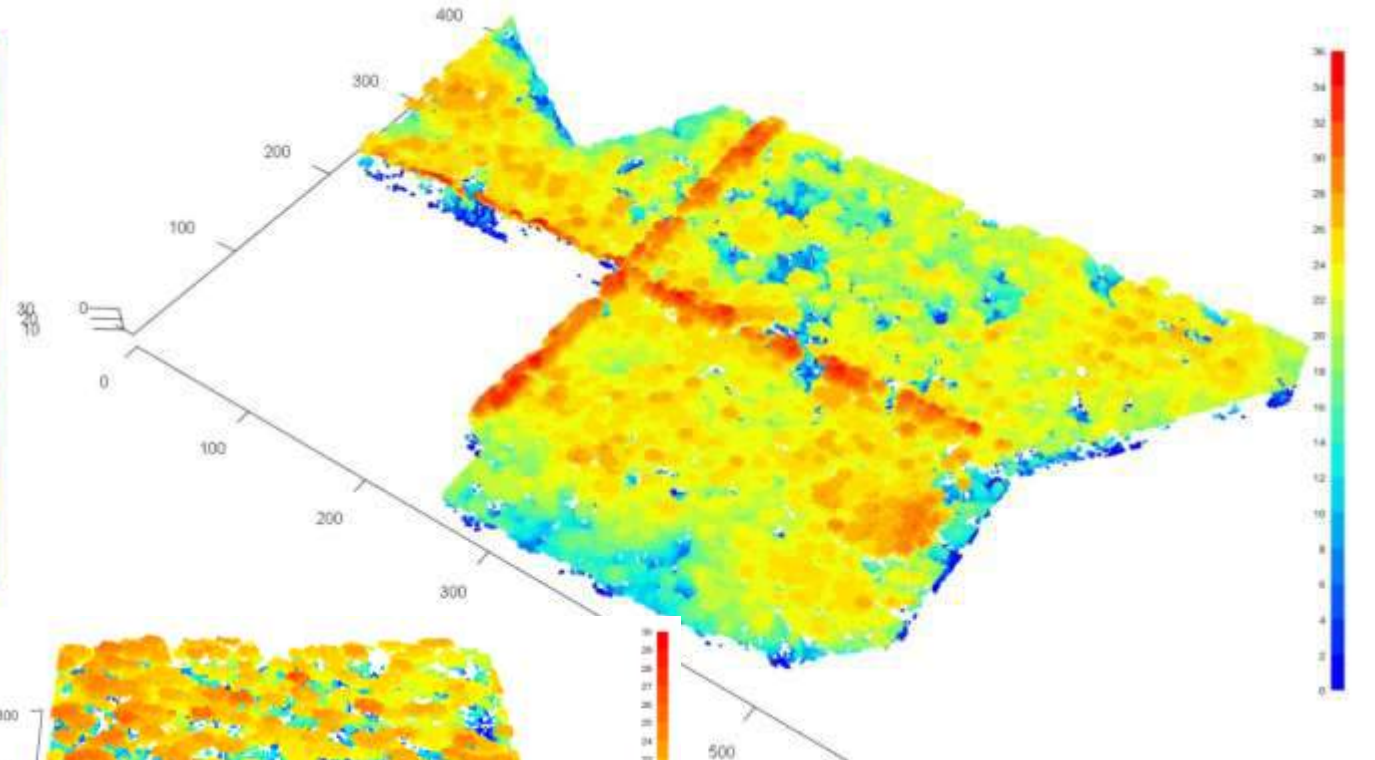
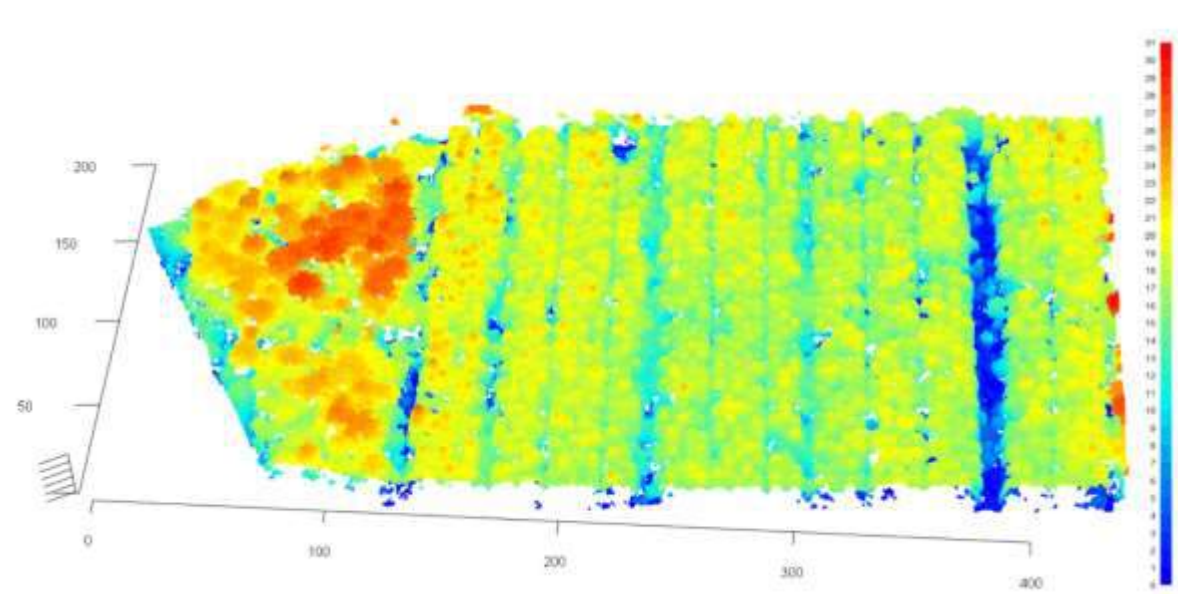
Curvas de nivel



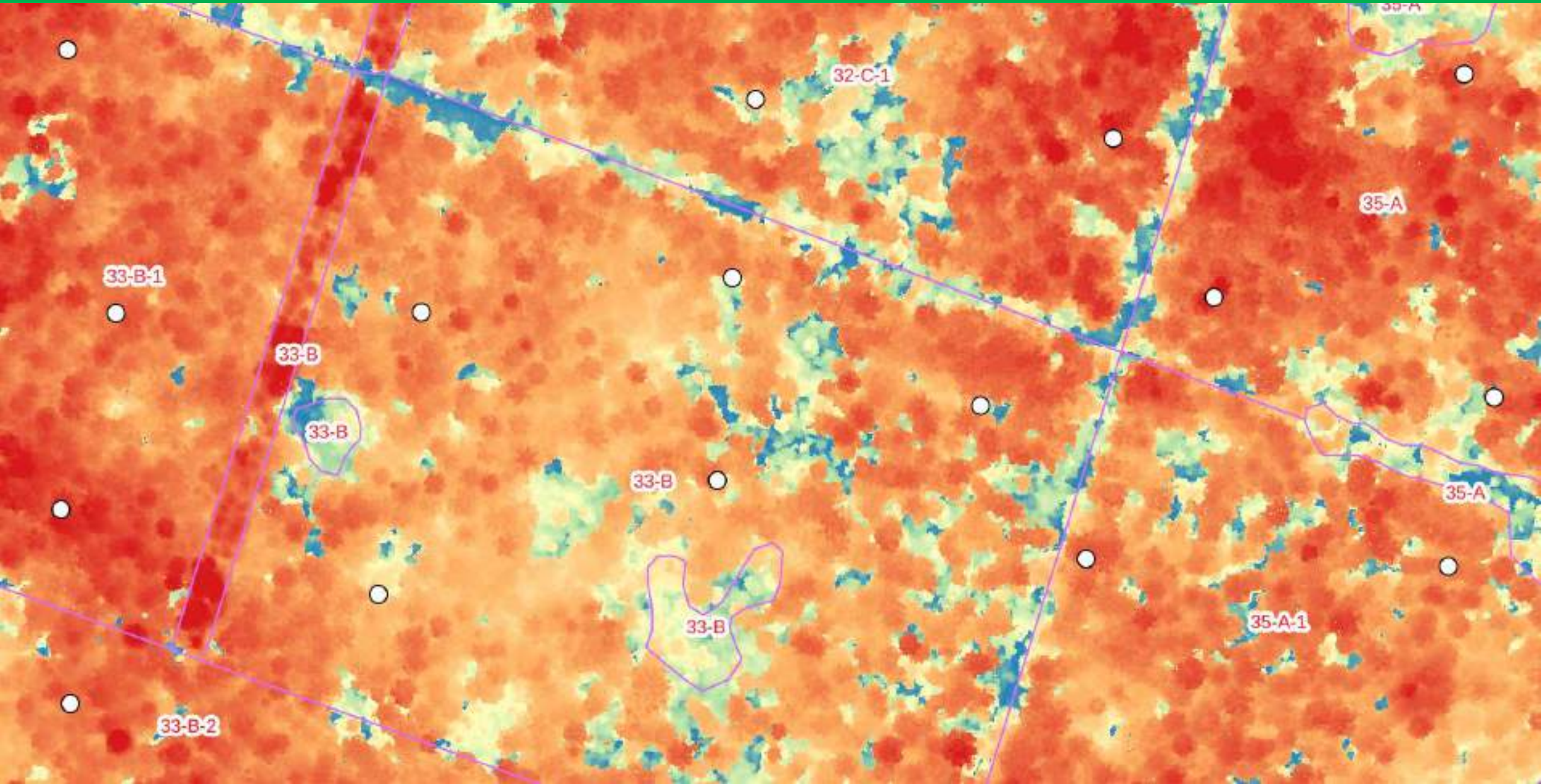
Productos de la fotogrametría: nubes de puntos 3D



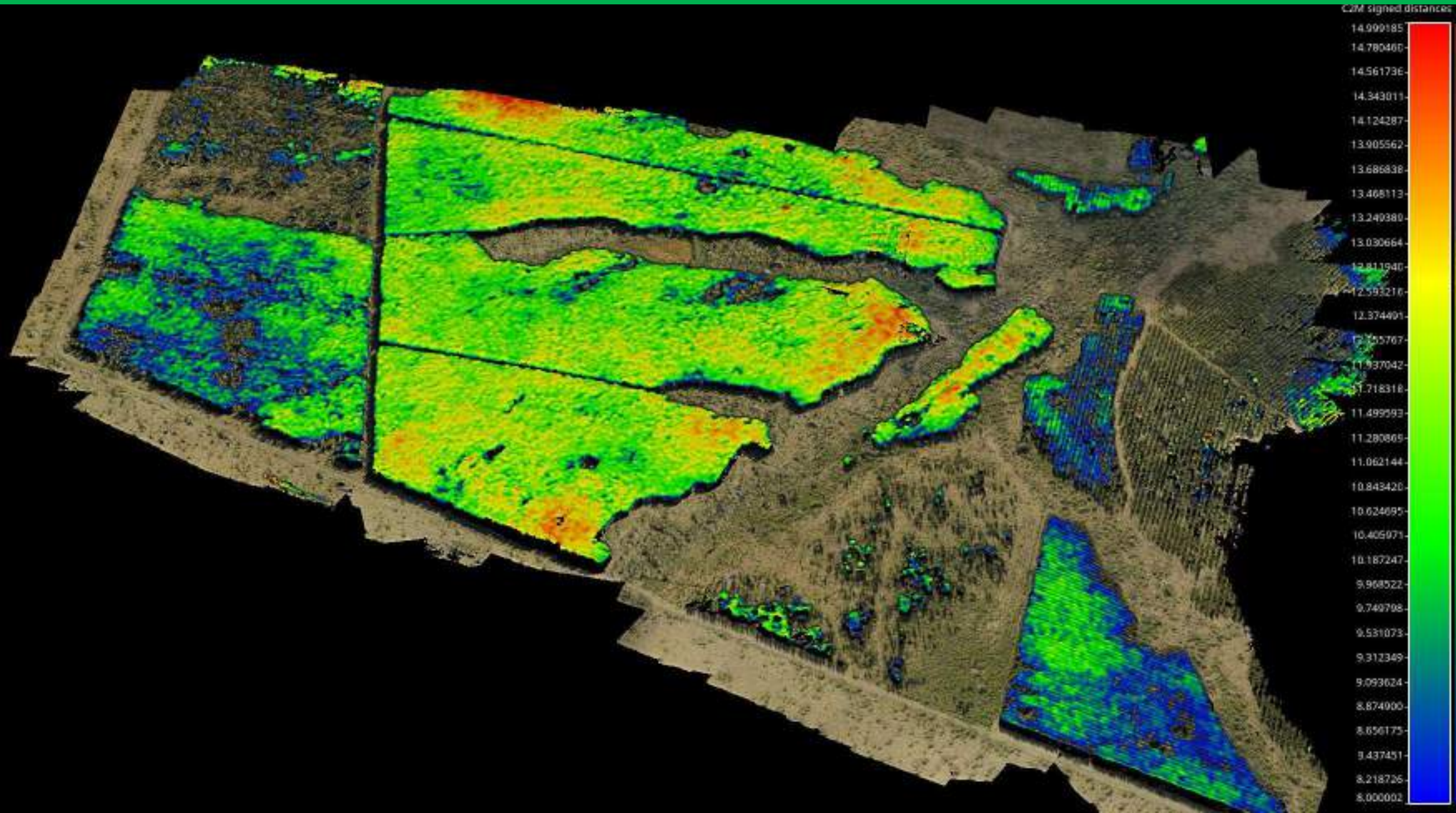
Una experiencia. Relevamiento de rodales de araucaria.



Mapa de alturas para la planificación del inventario



Mapa de alturas



Experiencia: Estimación de variables dasométricas con fotogrametría.

Pino híbrido (*Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*)

Superficie: 34,9 ha

Localidad: Esquina, Corrientes

Plantado: 2003 (18 años)

Relevamiento aéreo

DJI Air 2 - 12 Mpx

Altura de vuelo: 195 m

Distancia entre fotografías: 24 m

SF = 88%

Distancia entre líneas: 100 m

SL = 64%



DJI_0072.JPG
7,6 MiB



DJI_0073.JPG
7,5 MiB



DJI_0077.JPG
7,5 MiB



DJI_0078.JPG
7,5 MiB

Ortomosaico, el resultado clásico.

Pero además ...



EPSG:32721 - WGS 84 / UTM zone 21S

Gráfico de la nube de puntos coloreada según la elevación.

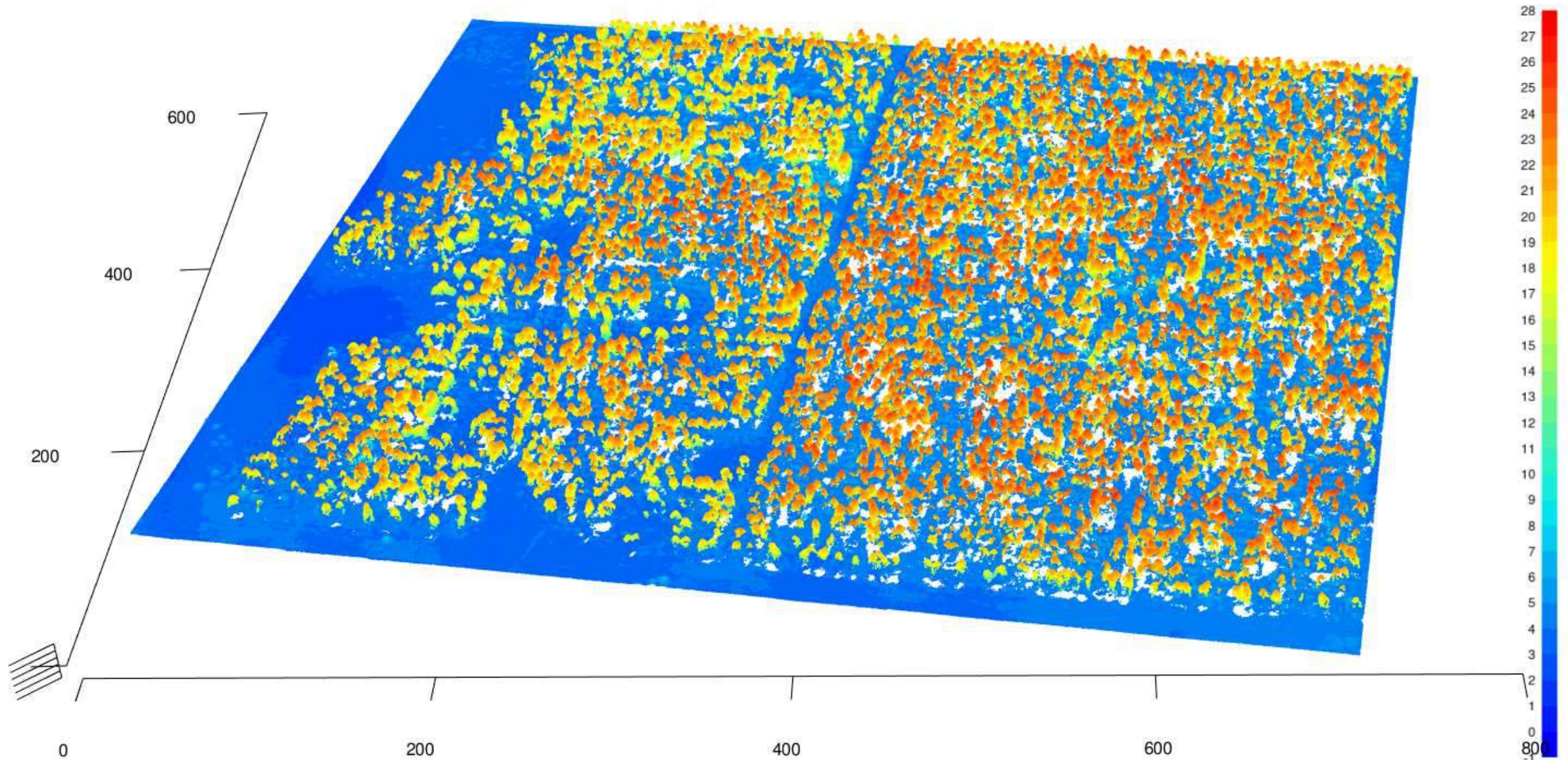
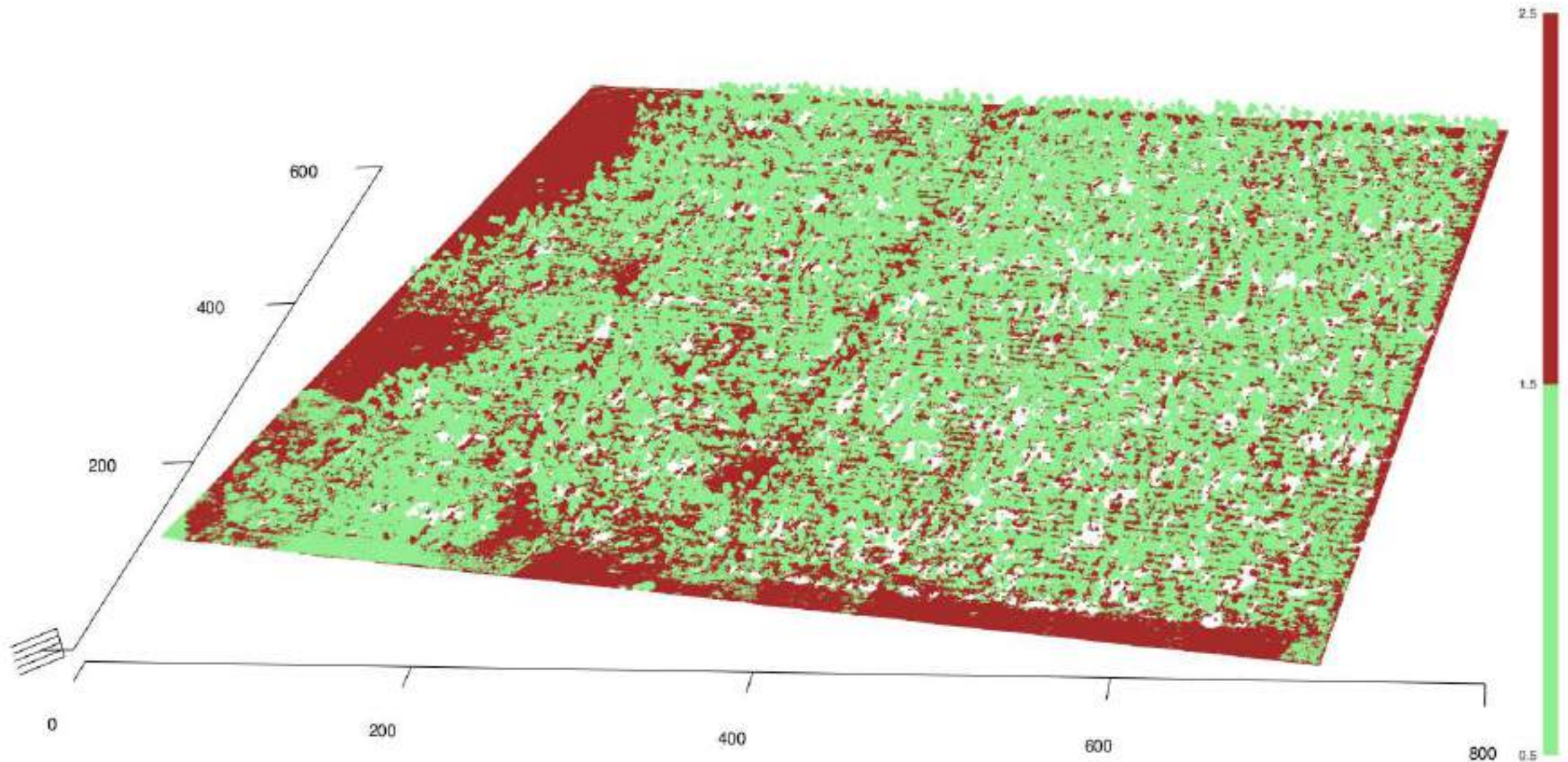
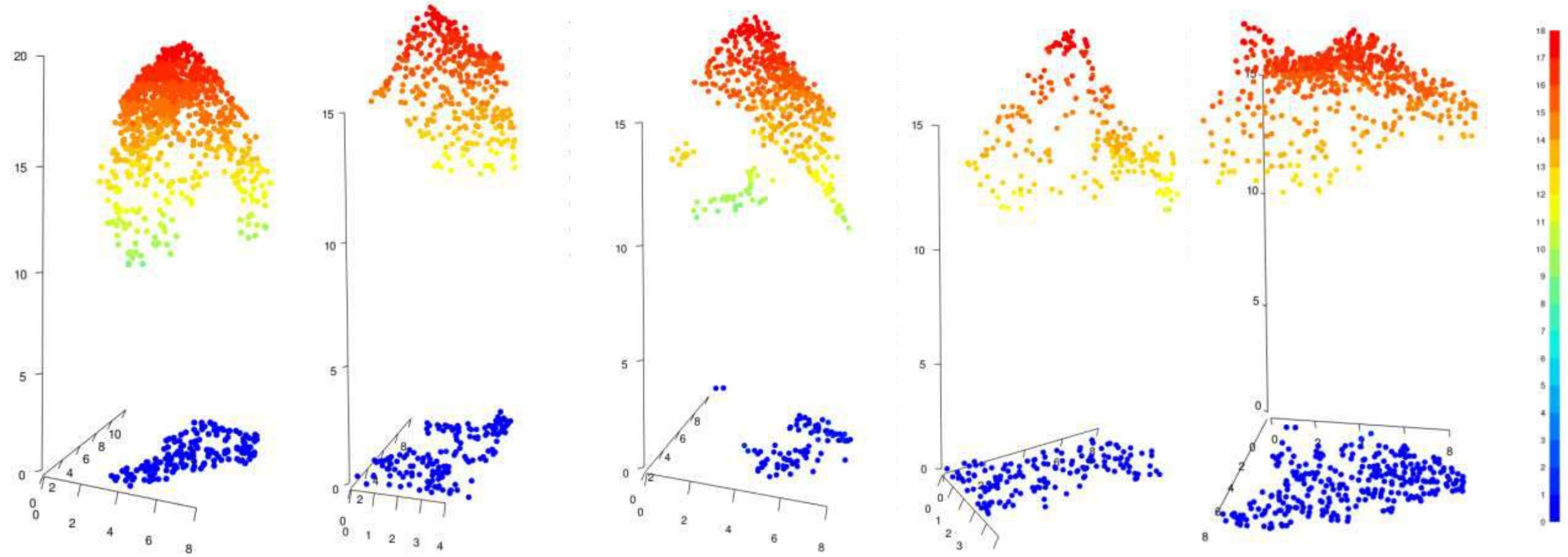


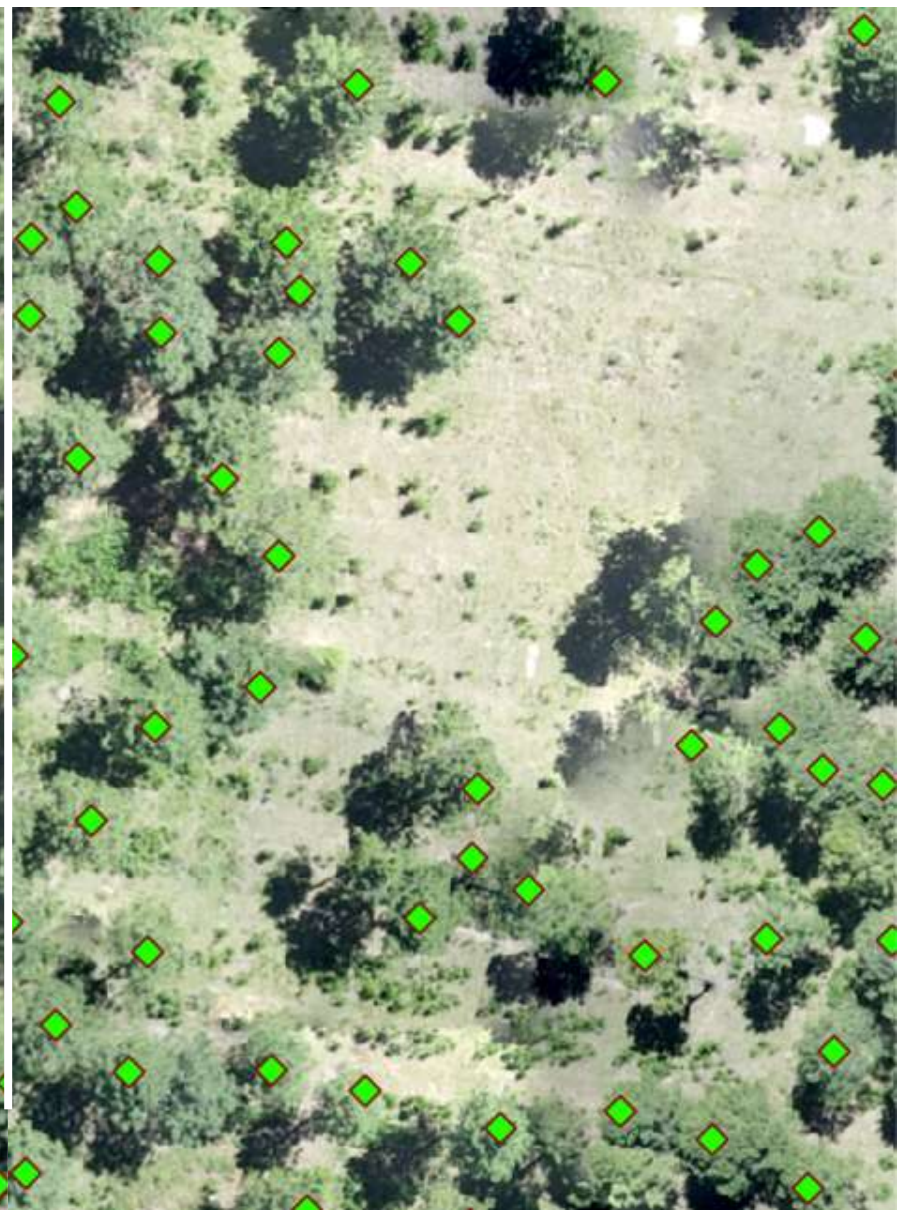
Gráfico de la nube de puntos coloreada para destacar el suelo.



Estructura de las copas

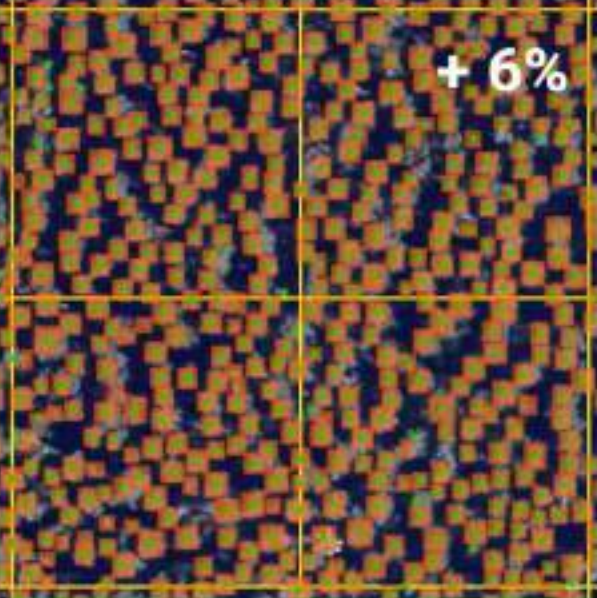
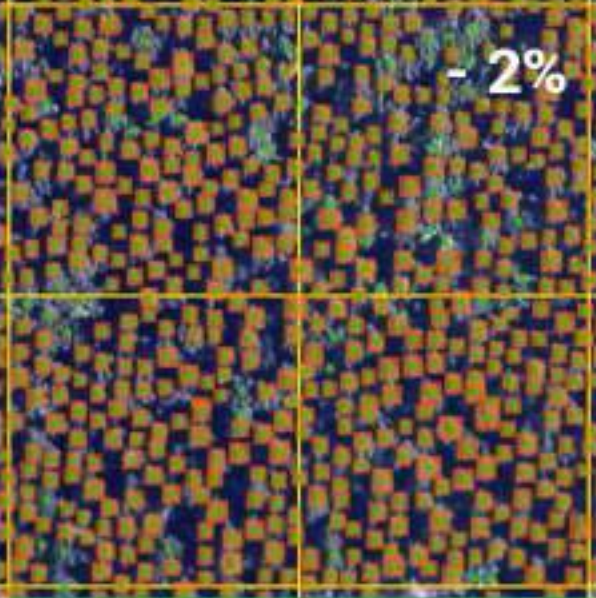
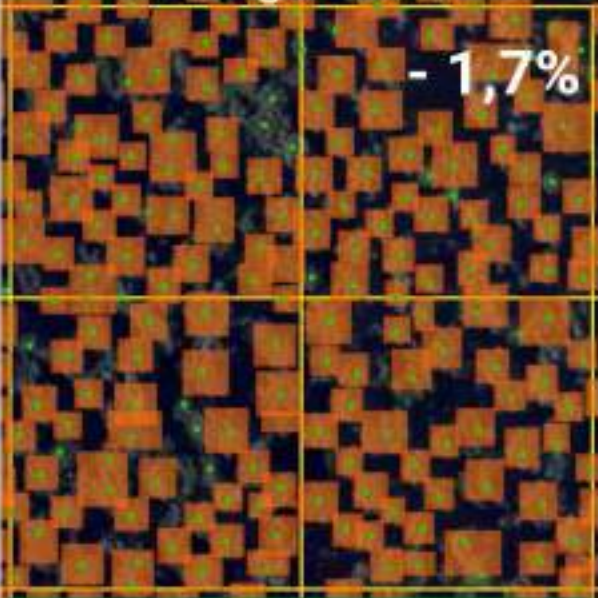
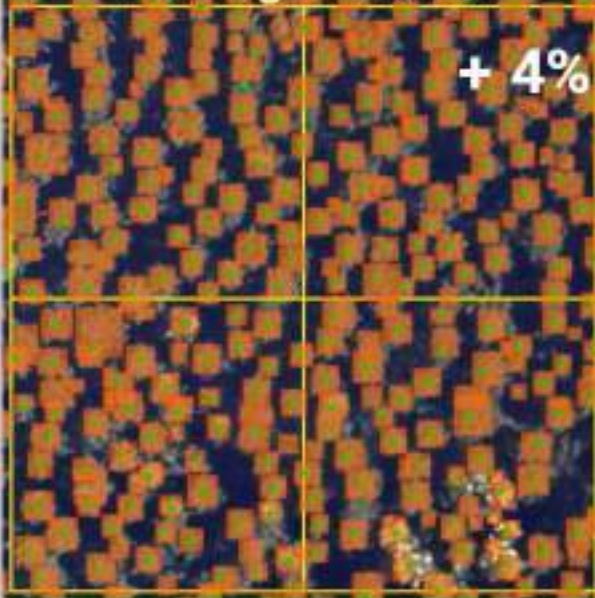


Identificación de los árboles.



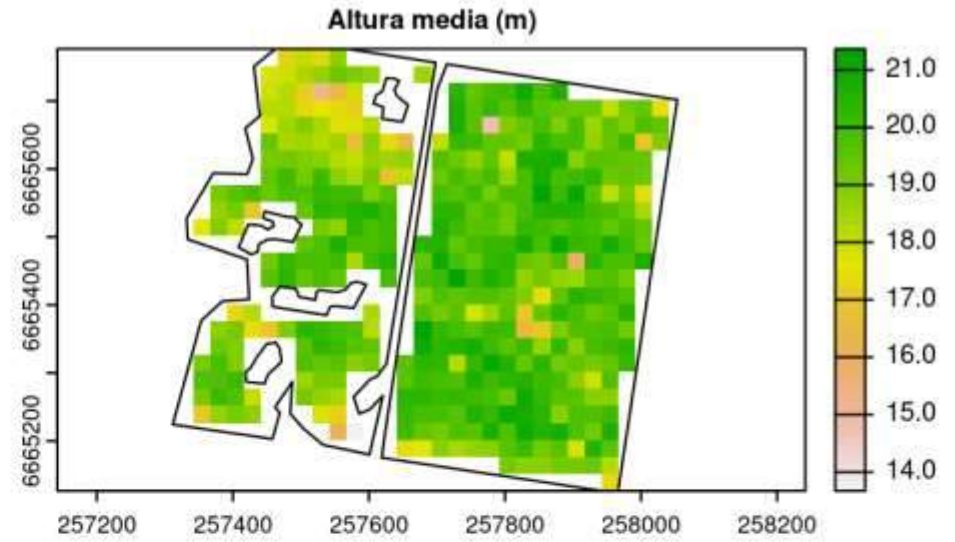
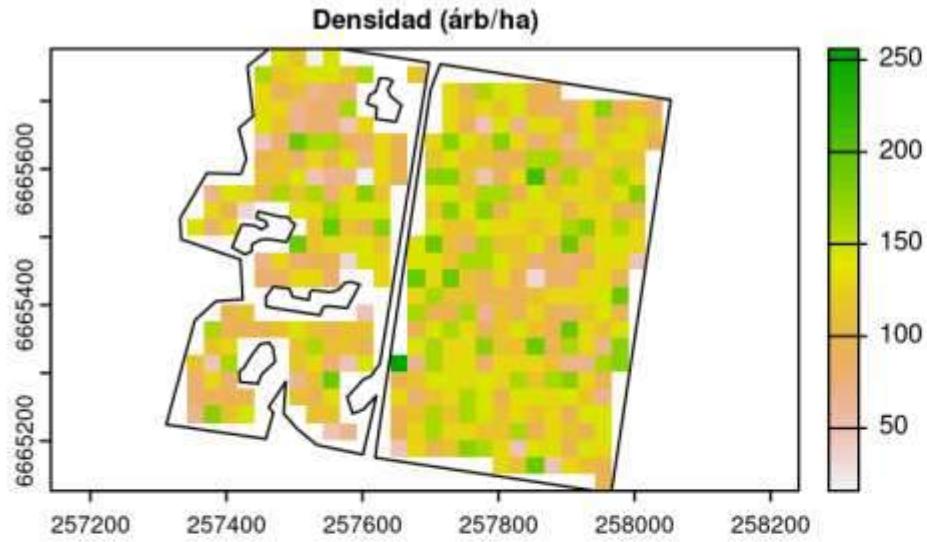
Otra opción: Detección de árboles con IA (*DeepForest*)



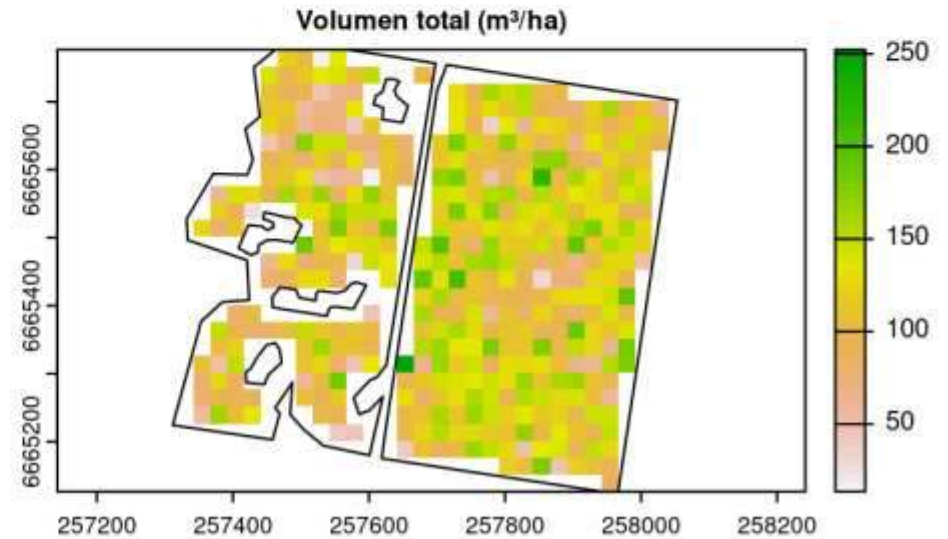
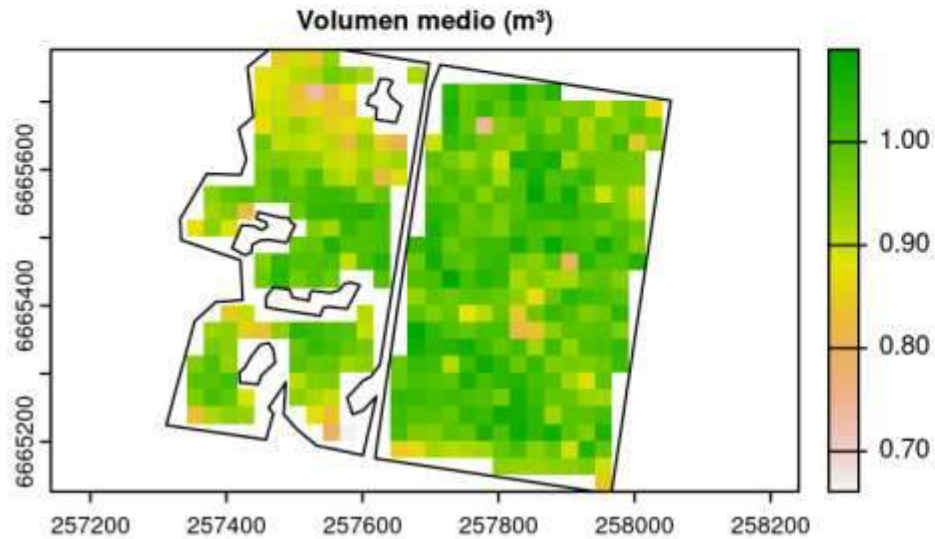
<i>Rodal A</i> <i>P. taeda</i>	<i>Rodal B</i> <i>P. taeda</i>	<i>Rodal C</i> <i>A. angustifolia</i>	<i>Rodal D</i> <i>A. angustifolia</i>
 <p>+ 6%</p>	 <p>- 2%</p>	 <p>- 1,7%</p>	 <p>+ 4%</p>
<p>Ventana: 300 × 300 U. IoU: 0,05 Densidad: 450 árb./ha</p>	<p>Ventana: 300 × 300 U. IoU: 0,25 Densidad: 479 árb./ha</p>	<p>Ventana: 500 × 500 U. IoU: 0,25 Densidad: 191 árb./ha</p>	<p>Ventana: 500 × 500 U. IoU: 0,25 Densidad: 215 árb./ha</p>



Obtención de estadísticas para variables dasométricas a nivel de rodal



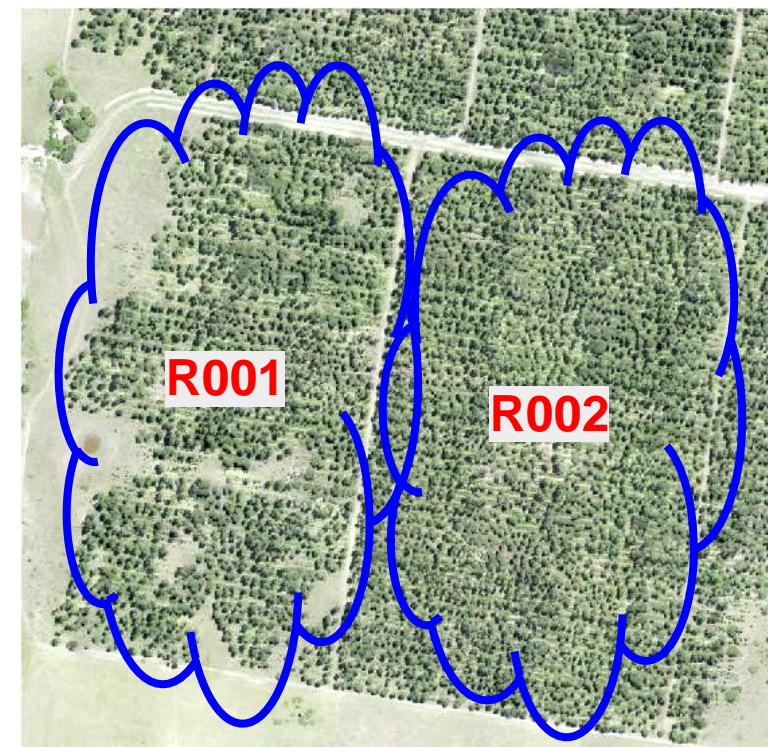
DAP medio del inventario: 38,4 cm



Resultados

Rodal R001	Densidad	DAP	Altura	Volumen medio	Volumen total
Media (3 parcelas)	139	38,4	20,4	1,07	145,1
Desvío estándar	54	2,3	0,2	0,12	38,6
Error de muestreo %	44 %	6,8 %	1,3 %	12,19 %	30,1 %
Lim. Inf. Intervalo 5%	78	35,8	20,1	0,94	101,4
Lim. Sup Intervalo 5%	119	41,0	20,6	1,20	188,8
Media (Rel. Remoto)	110	37,6	18,8	0,94	104,1
Desvío (Rel. Remoto)	35	–	1,1	0,06	34,8
Diferencia (obs - pred)	28	–	1,5	0,14	41,0

Rodal R002	Densidad	DAP	Altura	Volumen medio	Volumen total
Media (4 parcelas)	167	36,7	20,2	1,00	167,0
Desvío estándar	24	3,1	0,3	0,14	38,5
Error de muestreo %	14 %	8,2 %	1,6 %	14,18 %	22,6 %
Lim. Inf. Intervalo 5%	144	33,7	19,9	0,85	129,3
Lim. Sup Intervalo 5%	190	39,7	20,5	1,15	204,7
Media (Rel. Remoto)	124	37,2	19,6	0,98	122,9
Desvío (Rel. Remoto)	33	–	0,9	0,05	33,8
Diferencia (obs - pred)	42	–	0.6	0,01	44,1



¿Y en bosque nativo?

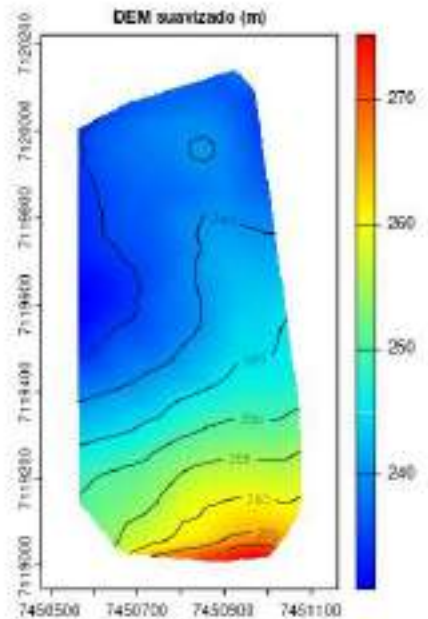
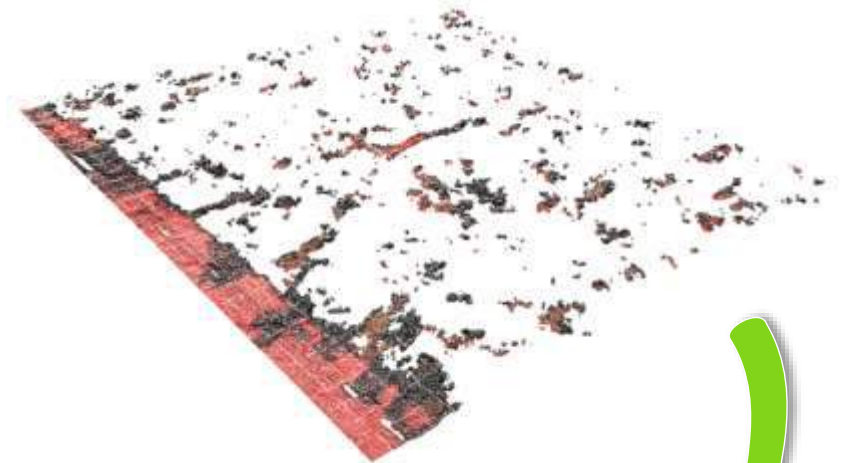


Metodología: Análisis de la nube de puntos

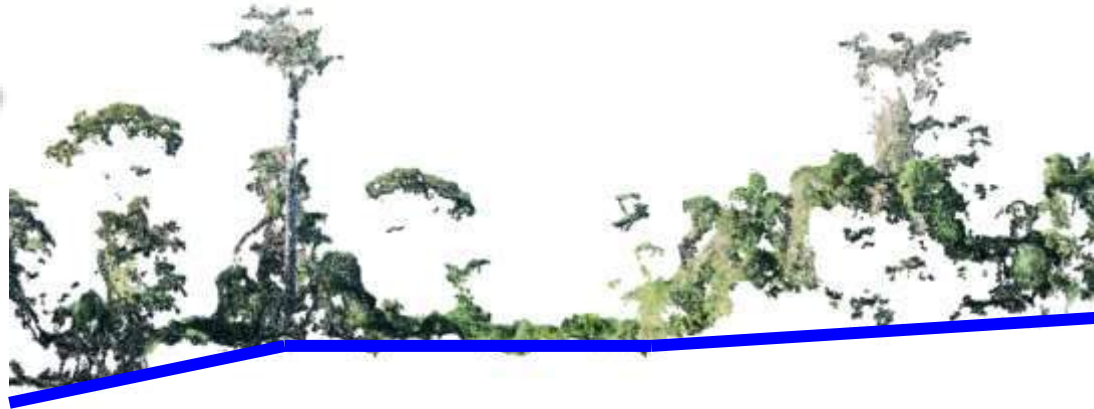
Nube de puntos



Clasificación del suelo

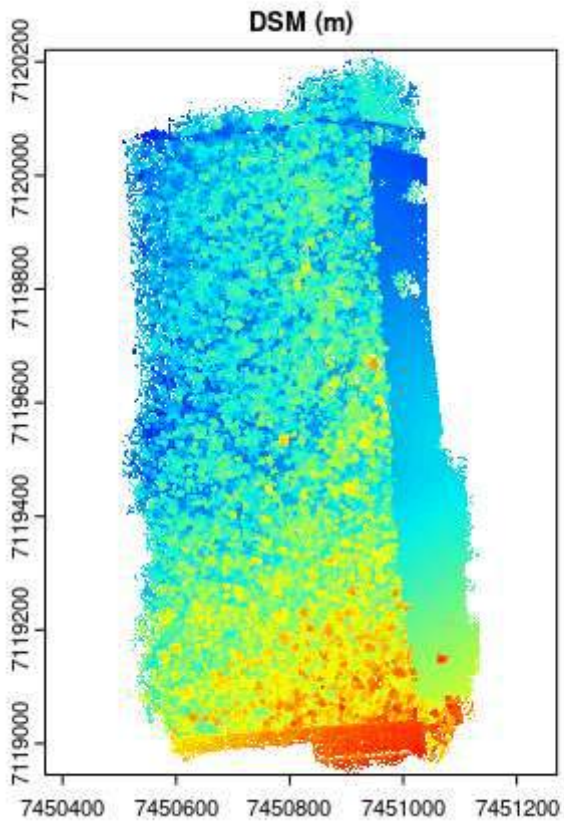


Cálculo de un DEM

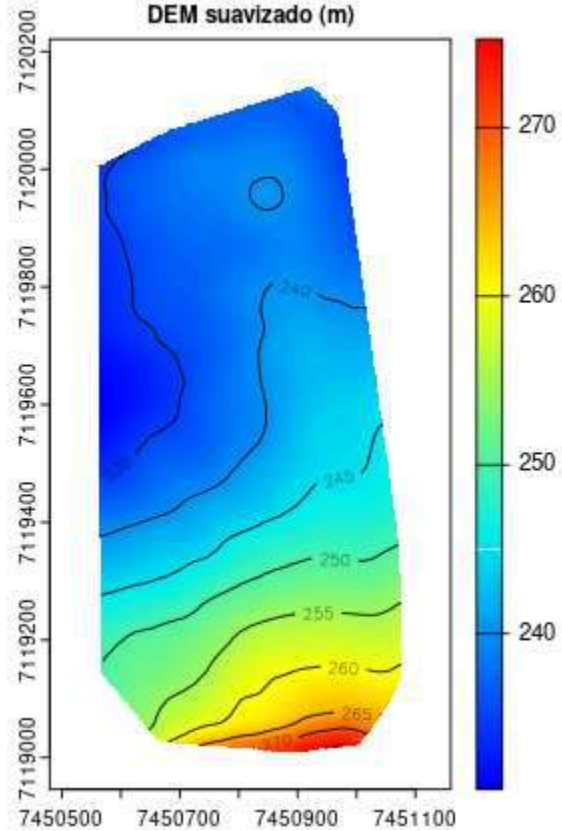


Modelado del terreno

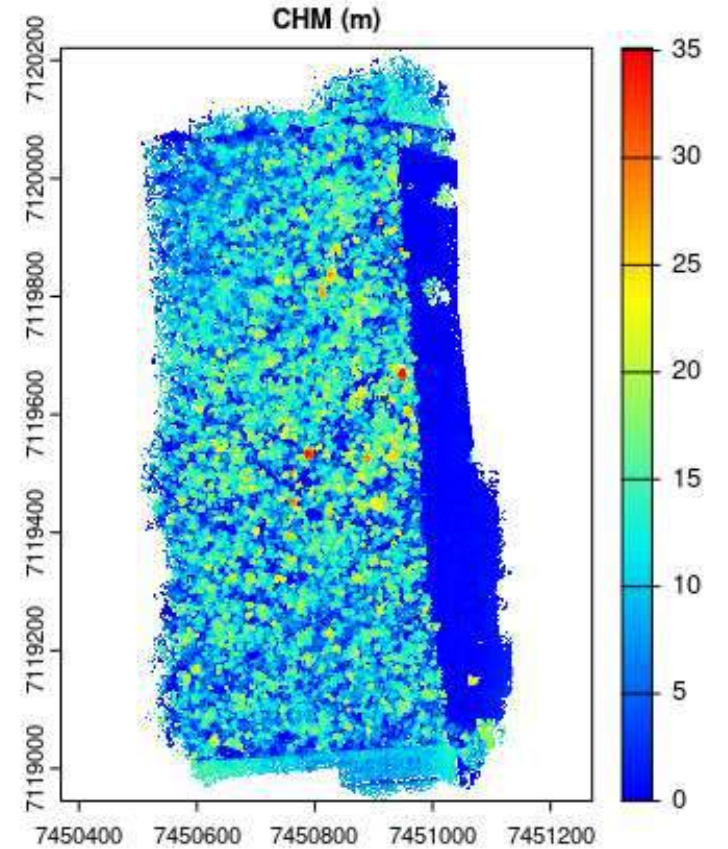
Metodología: Cálculo del Modelo de Altura de Copas (CHM)



Modelo Digital de Superficie (DSM)



Modelo Digital de Elevación (DEM)



Modelo de Altura de Copas (CHM)

Resultado de la identificación de áreas abiertas

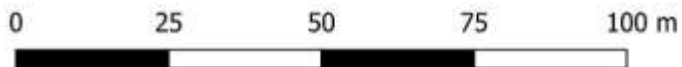
Figura 1: Detalle de la carta elaborada mostrando la distribución de los claros dominados por bambúes.



Leyenda

- Arboles (Simbología para AvenzaMap)
- 1 mag
 - 2 mag
 - 3 mag
 - 4 mag
- Bambuseas
- ▲ Palmeras Lo

Escala 1:1000



Planificación de intervenciones



**Experiencia
de aplicación
a campo**

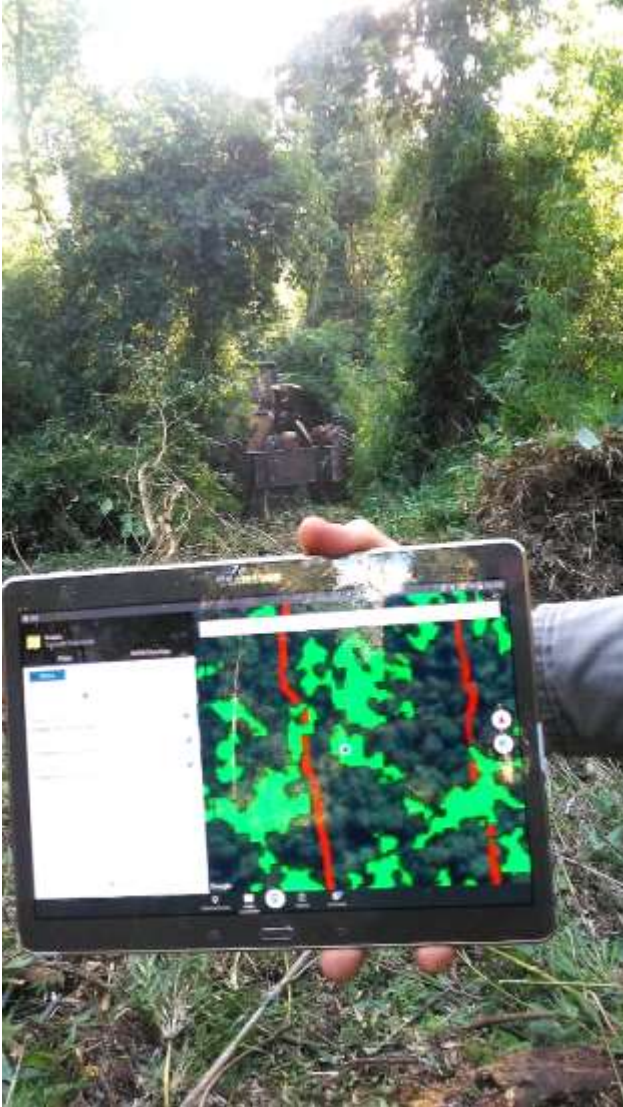
Área intervenida



Área sin intervenir

Experiencia de aplicación a campo

Intervención guiada por cartografía



Resultado del despeje en los claros



Enriquecimiento con especies de importancia ecológica



¿Qué es lo siguiente?

Relevamientos LiDAR

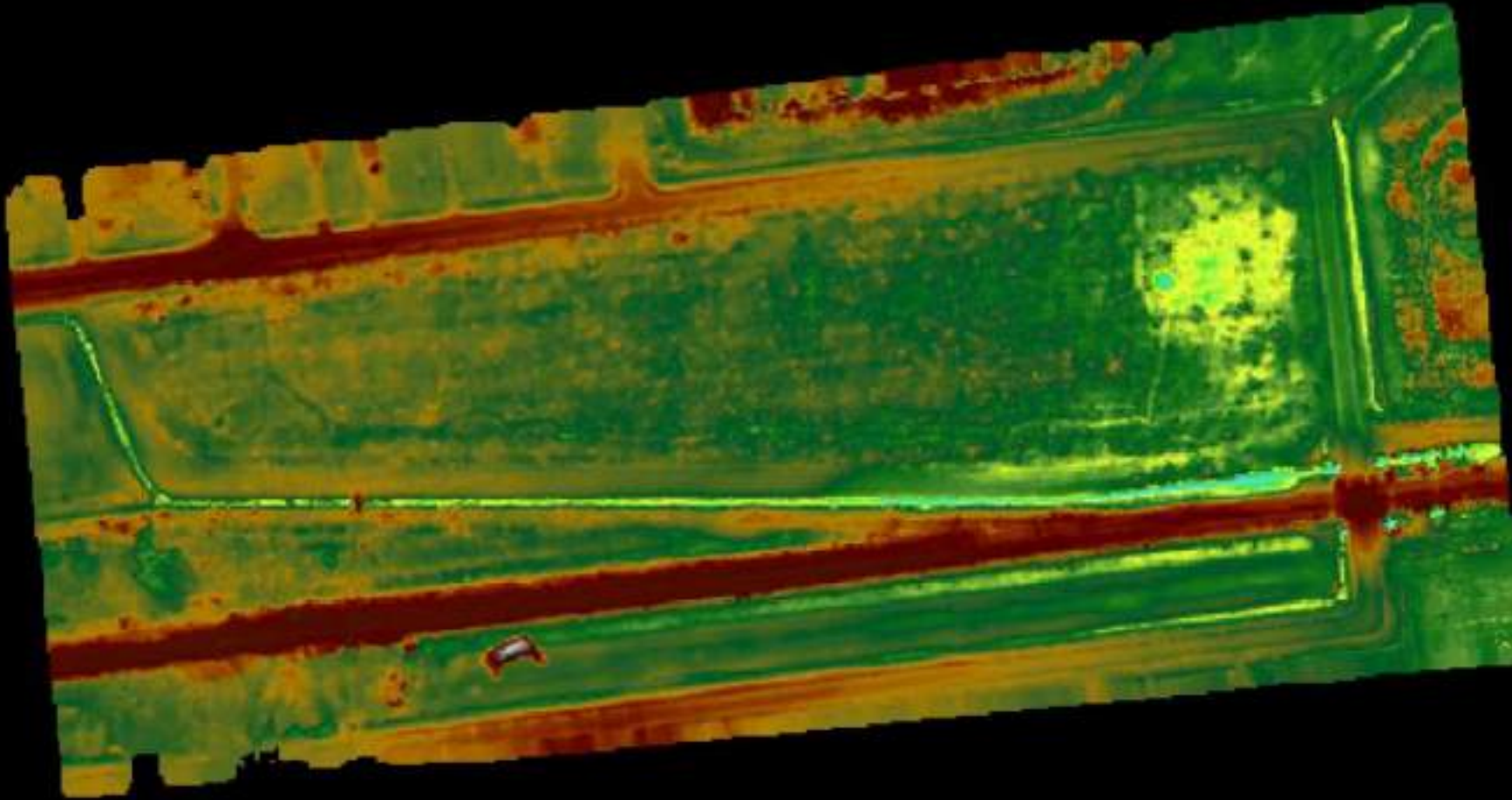
Sensor LiDAR aéreo
Yellowscan Mapper +



Sensor LiDAR aéreo Yellowscan Mapper +



DEM



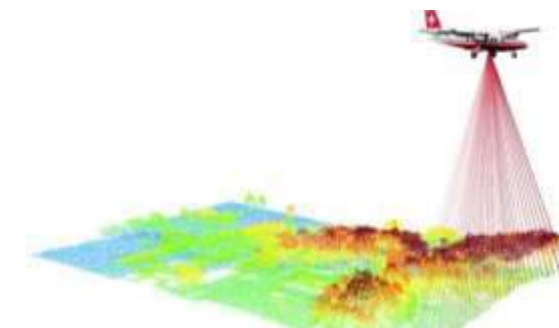
Topografía detallada

Descripción de la
altura del rodal

Correlación con
datos de inventario

Generación de
modelos predictivos

Extrapolación a
grandes superficies

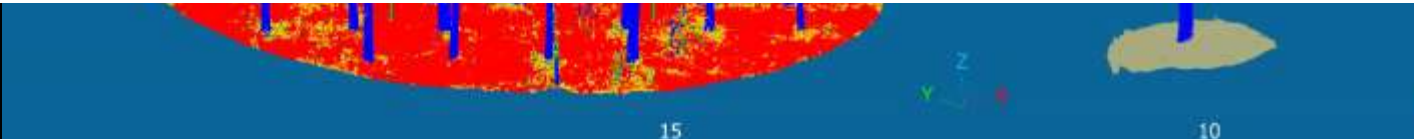
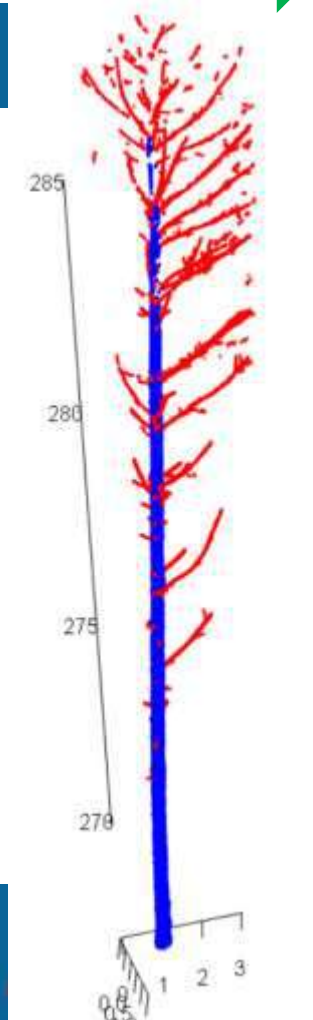
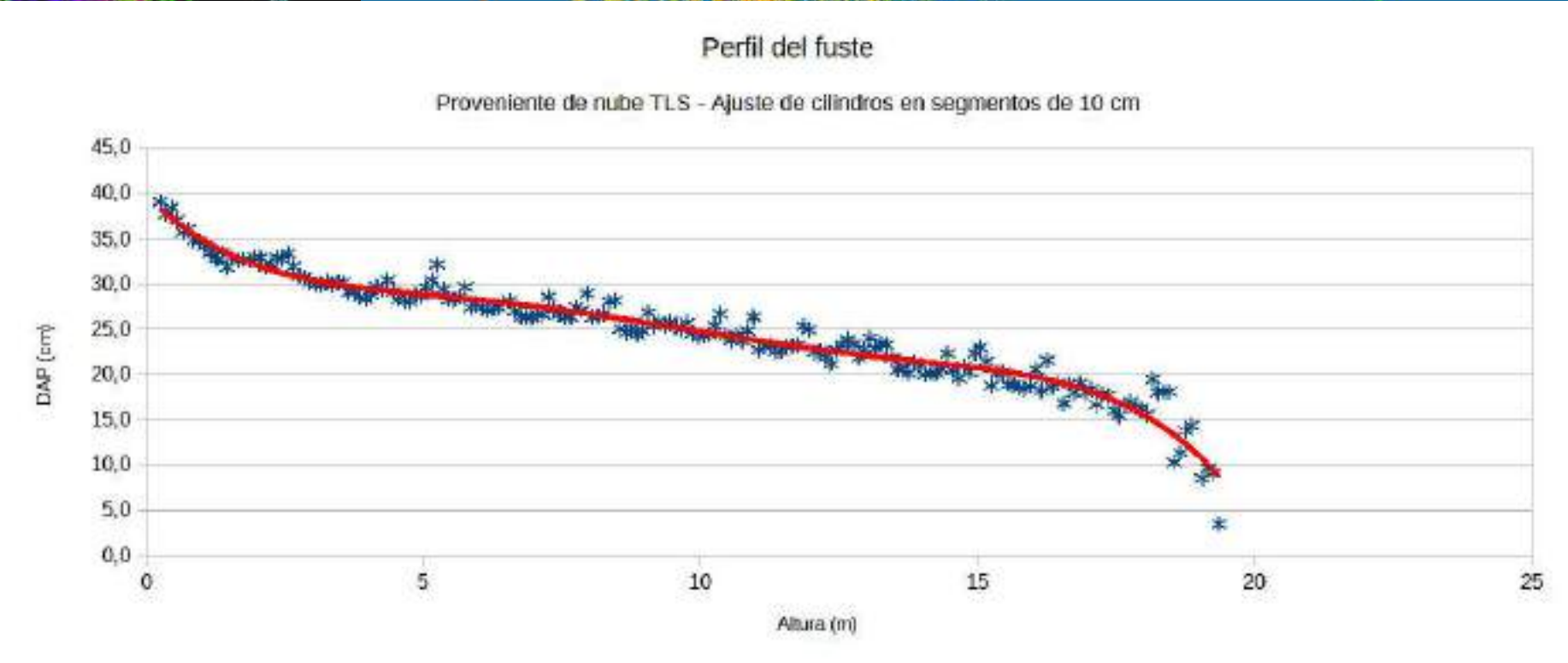
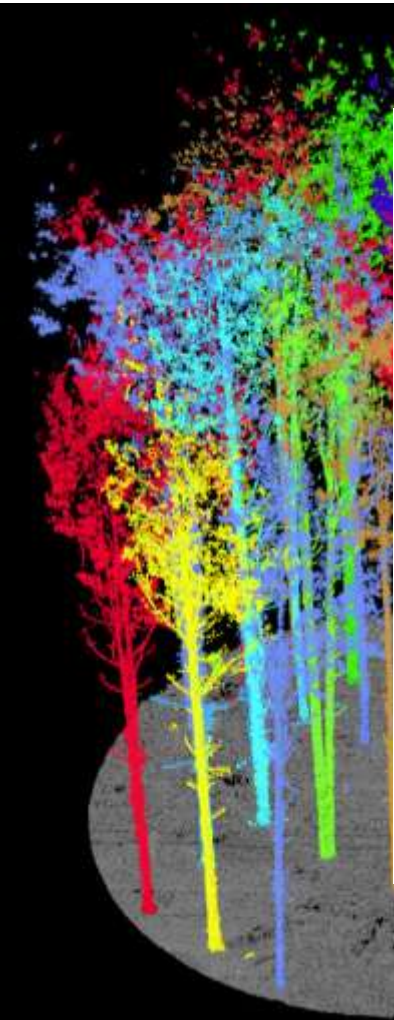


Sensor LiDAR terrestre

FARO



Segmentación de la nube de puntos con IA





¿Cómo gestionamos la información?



Sistemas de gestión basados en bases de datos espaciales

ID:Codigo_Rodal
Inventarios forestales: De existencias Pre comerciales
Informes de plantación Informes de raleo Informes de poda Informes post-cosecha

Información de campo y reportes de producción

Plataforma web con interface de consulta



ID:Codigo_Rodal



Capas Ráster y Vectoriales del SIG



Software de visualización y edición



Sistemas de gestión basados en bases de datos espaciales

PINDO S.A Pindo Pindo


690
Rodales Registrados [Ver Detalles](#)

12
EMSEFOR Registradas [Ver Detalles](#)

19
Maquinas Registradas [Ver Detalles](#)

16
Procedencias Registradas [Ver Detalles](#)

84
Sagpyas Registradas [Ver Detalles](#)



Identificación del Rodal

- OpenStreetMap
- Google
- Topologico
- Rodales
- Rodales Clasificado
- Rodales SAP
- Rodales Uso
- Rodales Sagpyas
- Rodales Campo
- Nombre
- Rodal Cerrado
- Etiquetas Parcelas

ACCIONES

- Inicio
- Empresas
- Rodales
- Emsefor
- Maquinas
- Sagpya
- Procedencias

RELEVAMIENTOS

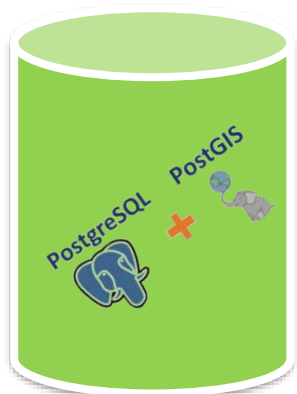
- Relevamientos

SIMULADORES

- Flor-Excel
- SIMNEA

CONFIG. GENERALES

- Laboral
- Categorías de Operarios

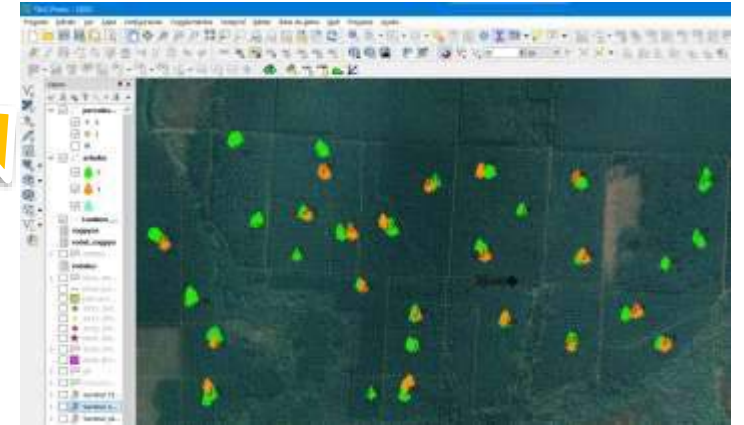


Base de datos



PINDO
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Software Integral de Gestión Forestal



SIG



Cálculo de costos



App de inventarios



Lista de contratistas



Base de máquinas

¿Qué factores limitan una mayor adopción de estas tecnologías?

Adopción limitada de los Sistemas de Información Geográfica

Empleo irregular de los sensores remotos en el diagnóstico y la planificación

Integración parcial de la información generada en las operaciones forestales

Diferentes sistemas de gestión poco compatibles y desconectados



Profesionales calificados para el trabajo con datos espaciales

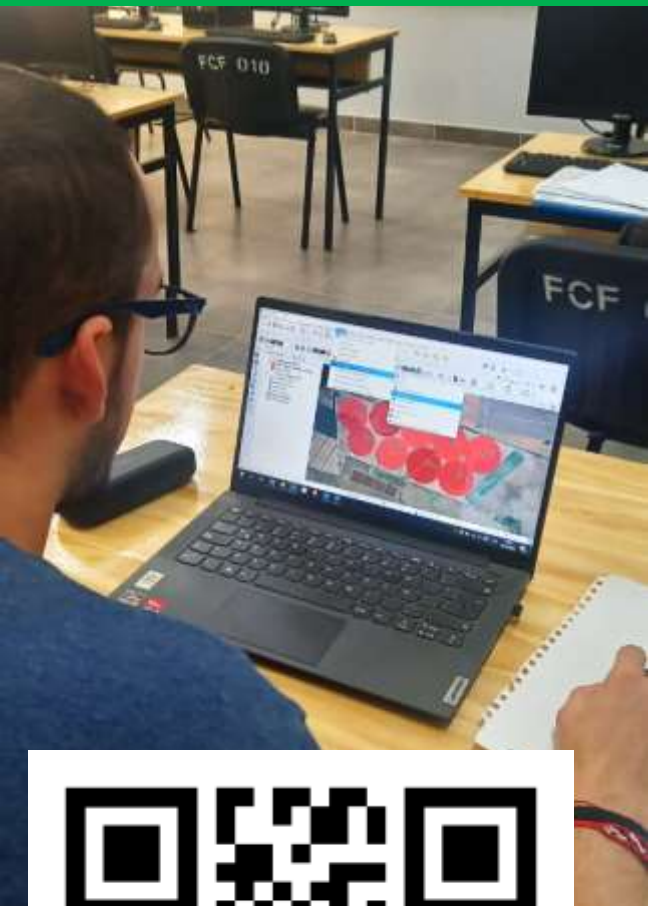
Manejo de bases de datos espaciales

Teledetección aplicada a problemas agronómicos

Conocimientos de programación para el desarrollo de soluciones

Orientación a los **Recursos Naturales**

TUSIGyT: Tecnicatura Universitaria en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección



An aerial photograph of a dirt road winding through a dense, lush green forest. A small white car is visible on the road, positioned in the lower-middle section of the frame. The text is overlaid on the image.

Siempre ayuda tener otro punto de vista

¡Gracias!

hildt.eduardo@inta.gob.ar