

Determinación de la mortalidad post-incendio de frailejones usando imágenes captadas por dron y modelos de inteligencia artificial

Paula Uzcátegui León, Björn Reu, Hoover Rueda-Chacón
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia



Universidad
Industrial de
Santander



Determinación de la mortalidad post-incendio de frailejones usando imágenes captadas por dron y modelos de inteligencia artificial



Björn Reu

Reu, Björn Reu, Hoover Rueda-Chacón
de Santander, Bucaramanga, Colombia

Universidad
Industrial de
Santander

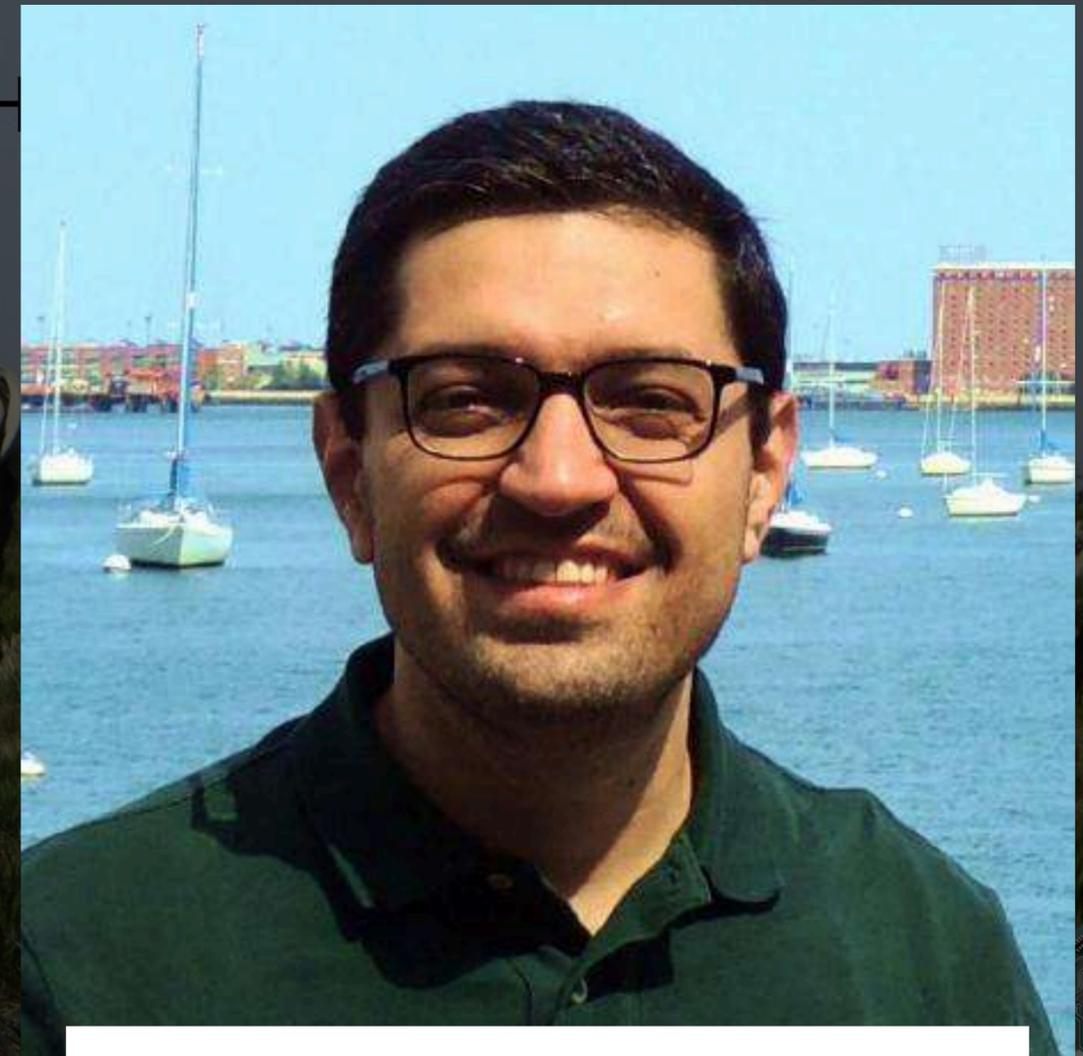


Determinación de la mortalidad post-incendio de frailejones usando imágenes captadas por dron y modelos de inteligencia artificial



Björn Reu

n, Björn Reu, H
e Santander,



Hoover Rueda-Chacón



Objetivo general

Implementar un flujo de procesamiento de imágenes multispectrales VNIR captadas por dron basado en inteligencia artificial para detectar, segmentar y clasificar frailejones y su estado de salud post-incendio con el fin de determinar su tasa de mortalidad y monitorear su recuperación.

Los páramos andinos son ecosistemas biodiversos de alta montaña



La vegetación en los paramos está adaptada a condiciones extremas



Los frailejones son especies clave en estos ecosistemas



Espeletia spp. & Espeletiopsis spp.

Los páramos están amenazados por la actividad humana



Ganadería



Agricultura



Cambio climático



Minería 8

Su respuesta al fuego ha sido poco estudiada en Colombia



En enero de 2024 se quemaron más de 300 hectáreas de páramo





Berlin Páramo
San Turbán



Caminos de Berlín 



Enero 2024



Abril 2024



Agosto 2024



Enero 2025

Un año después, muchas de las plantas que se recuperaron muestran señales de deterioro y muerte



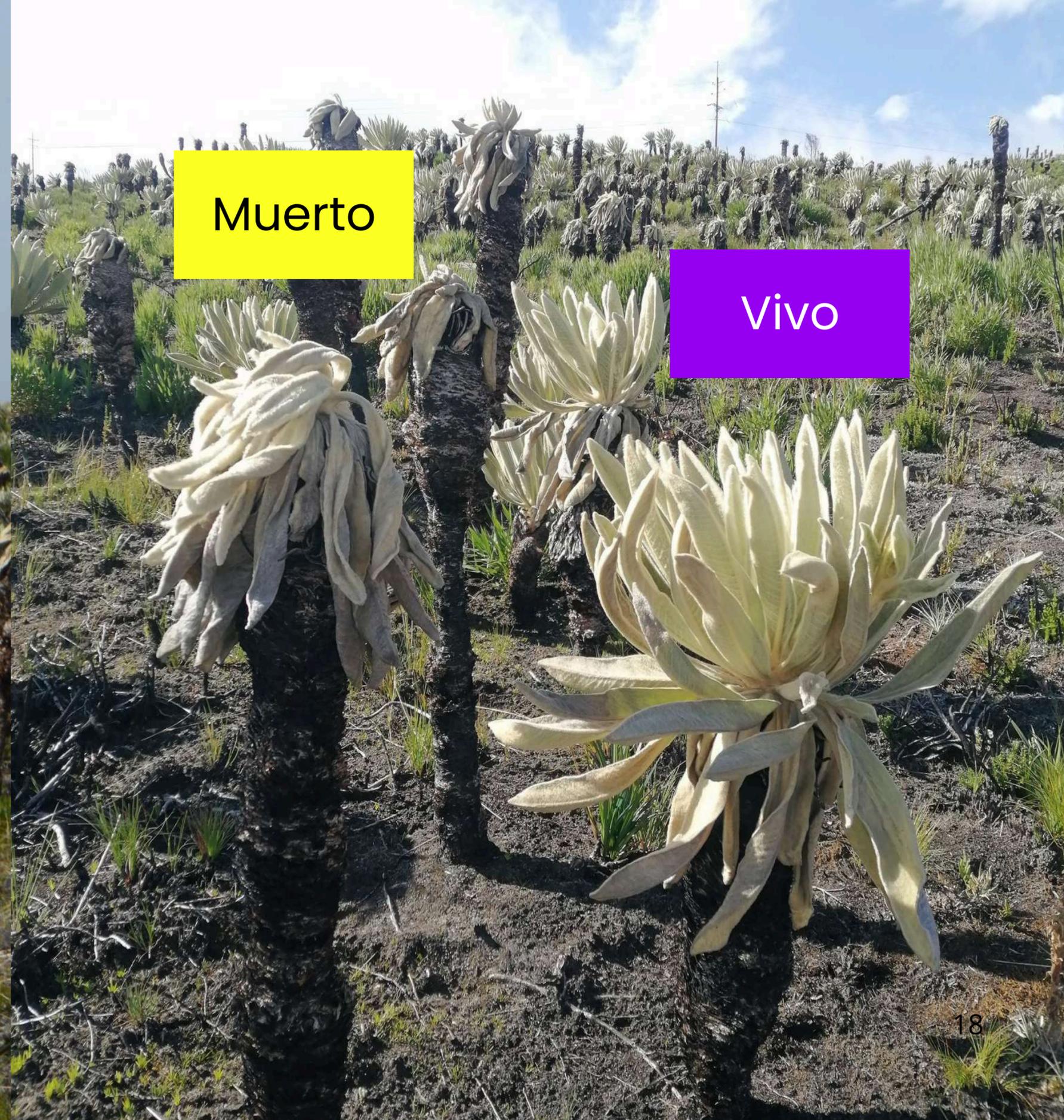
Enero 2025



Un año después, muchas de las plantas que se recuperaron muestran señales de deterioro y muerte



Enero 2025



Muerto

Vivo

P. Verweij y K. Kok. «Effects of fire and grazing on Espeletia hartwegiana populations (1992)

En Colombia:

- Alta mortalidad inmediata en individuos juveniles
- Aumento en tasas de crecimiento y reclutamiento después de la quema
- **Correlación positiva entre mortalidad post-incendio y altura de los individuos**



Ramsay, P. Giant rosette plant morphology as an indicator of recent fire history in Andean páramo grasslands (2014)

En Ecuador:

- Mortalidad inmediata entre el 8 - 56% dependiendo en la intensidad del fuego.
- **Mortalidad post-incendio de hasta el 20% hasta dos años después del incendio en las zonas de alta intensidad del fuego y en individuos más altos**



Las hojas marcescentes protegen el reservorio de agua interno del frío



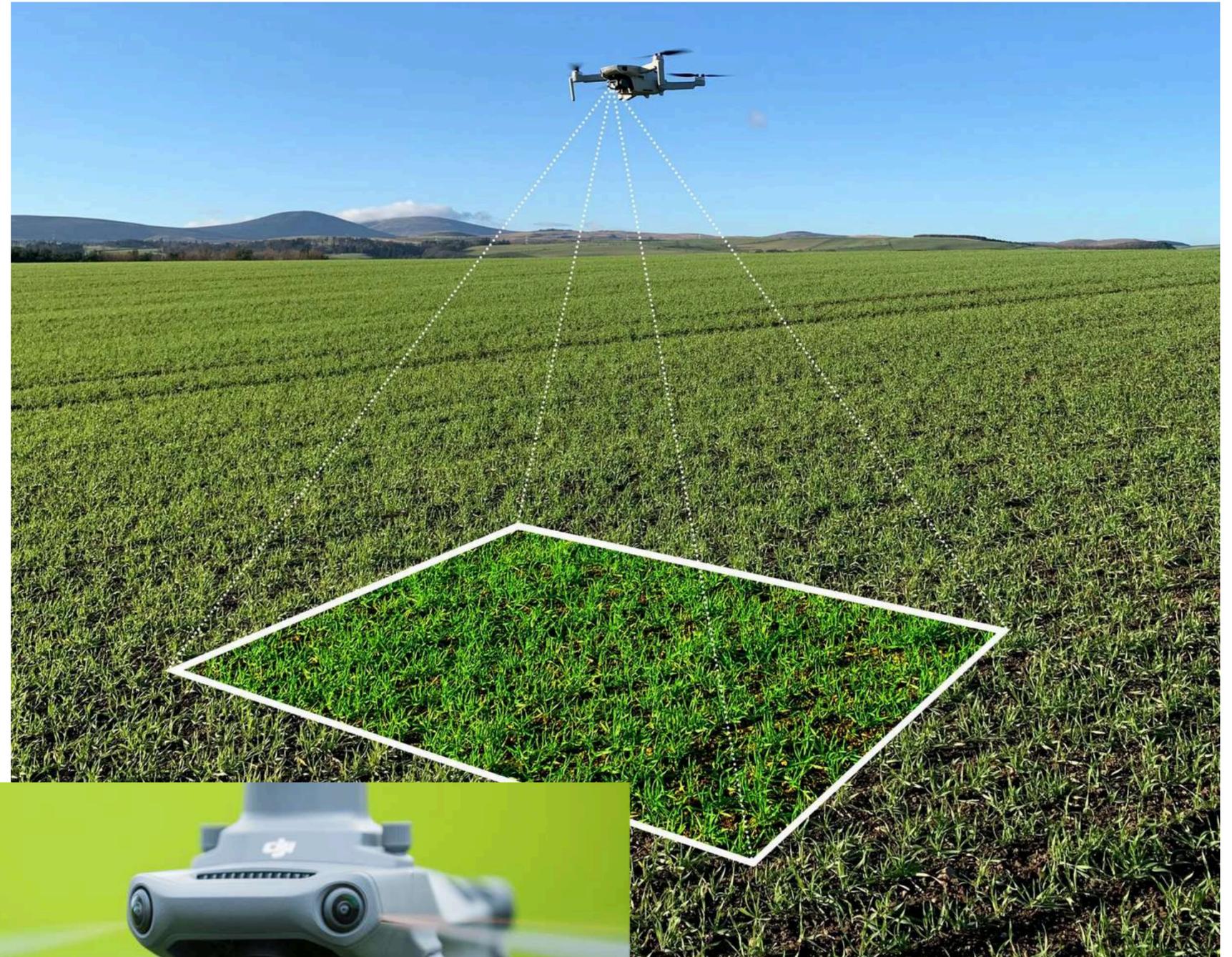
Smith, A. Function of dead leaves in *Espeletia schultzii* (Compositae), and Andean caulescent rosette species. (1979)

Goldstein y F. Meinzer. Influence of insulating dead leaves and low temperatures on water balance in an Andean giant rosette plant. (1983)

Los drones son en una excelente herramienta para monitoreo remoto de precisión



- Relativo bajo costo
- Flexibilidad operativa
- Imágenes con alta resolución espacial y temporal
- Pueden integrar múltiples sensores



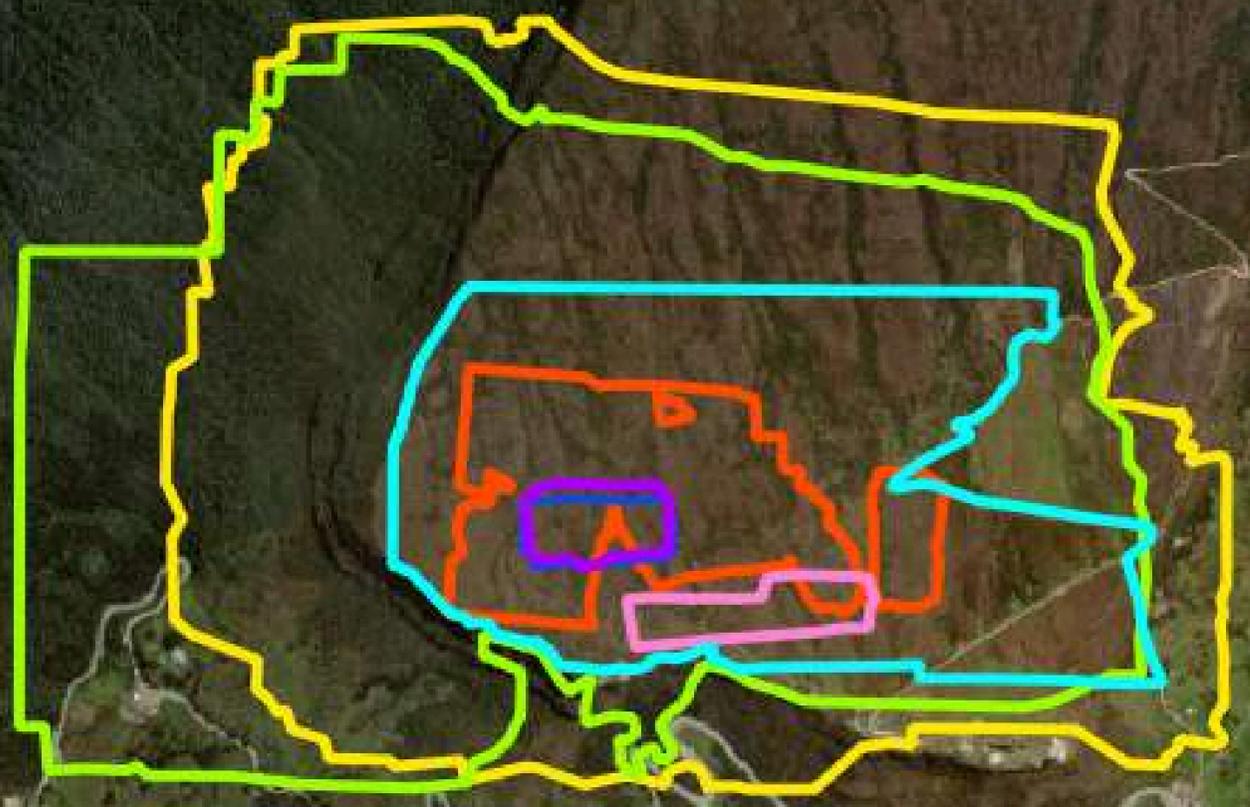





Agisoft
Metashape



		Fecha	Área (ha)	GSD (cm)
●	1	31/01/2024	27	1.17
●	2	30/08/2024	3.8	1.55
●	3	10/09/2024	228	6.33
●	4	12/12/2024	219	6.20
●	5	19/12/2024	83	3.60
●	6	19/12/2024	3.2	1.36
●	7	12/06/2025	3.5	1.1



19 de Diciembre 2024



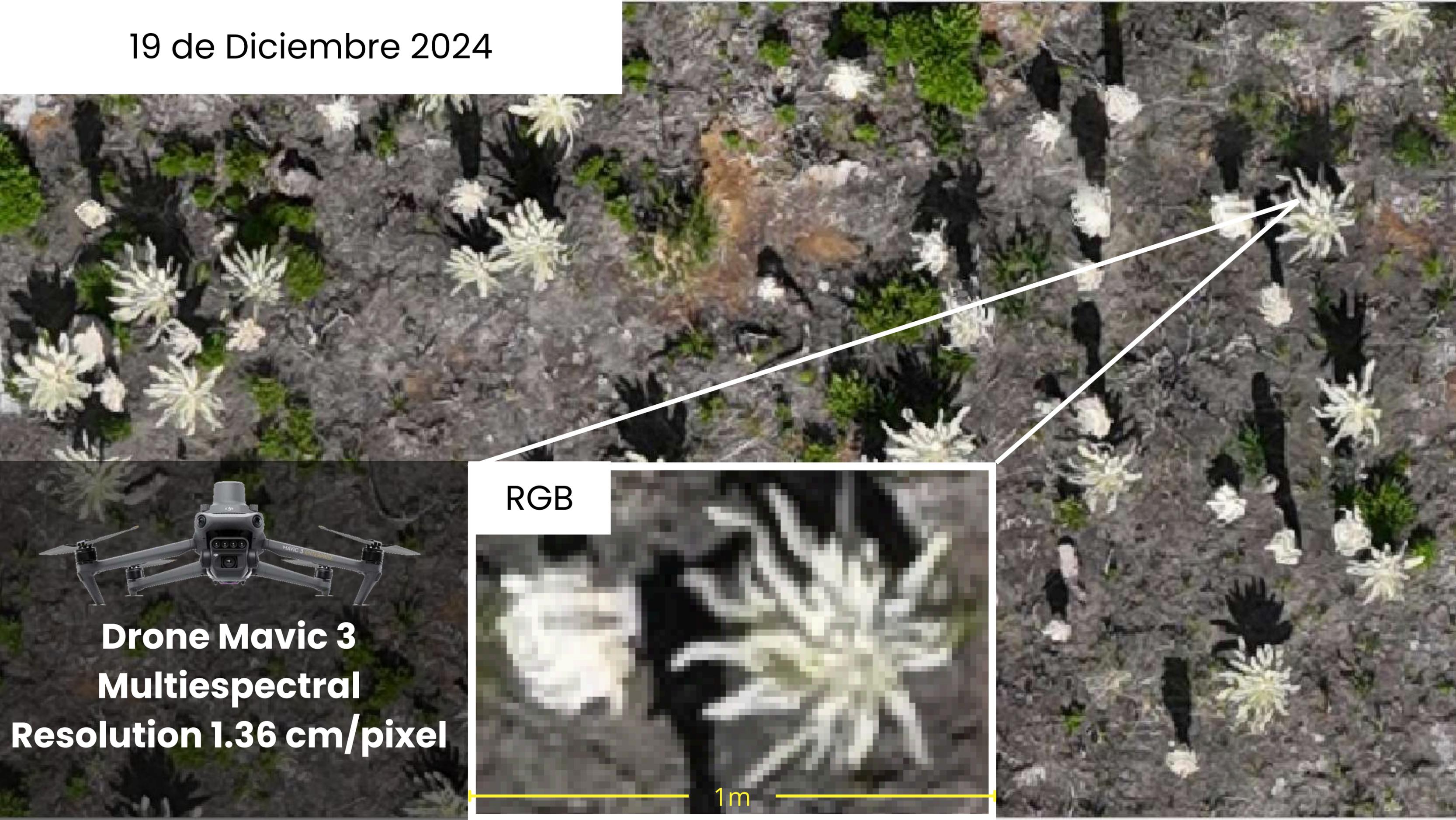
**Drone Mavic 3
Multispectral**

Resolución 1.36 cm/pixel

9m

6m

19 de Diciembre 2024

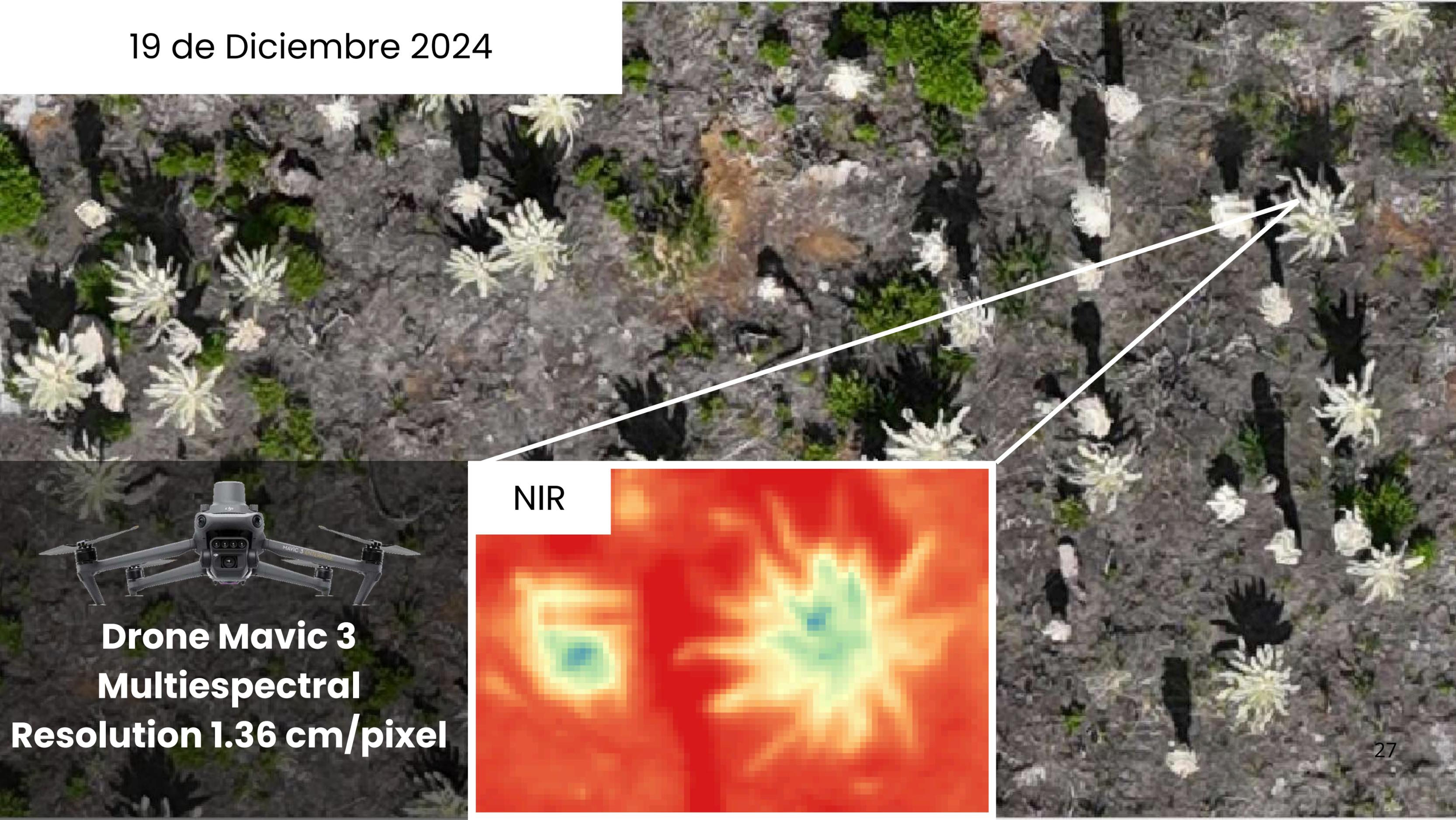


RGB

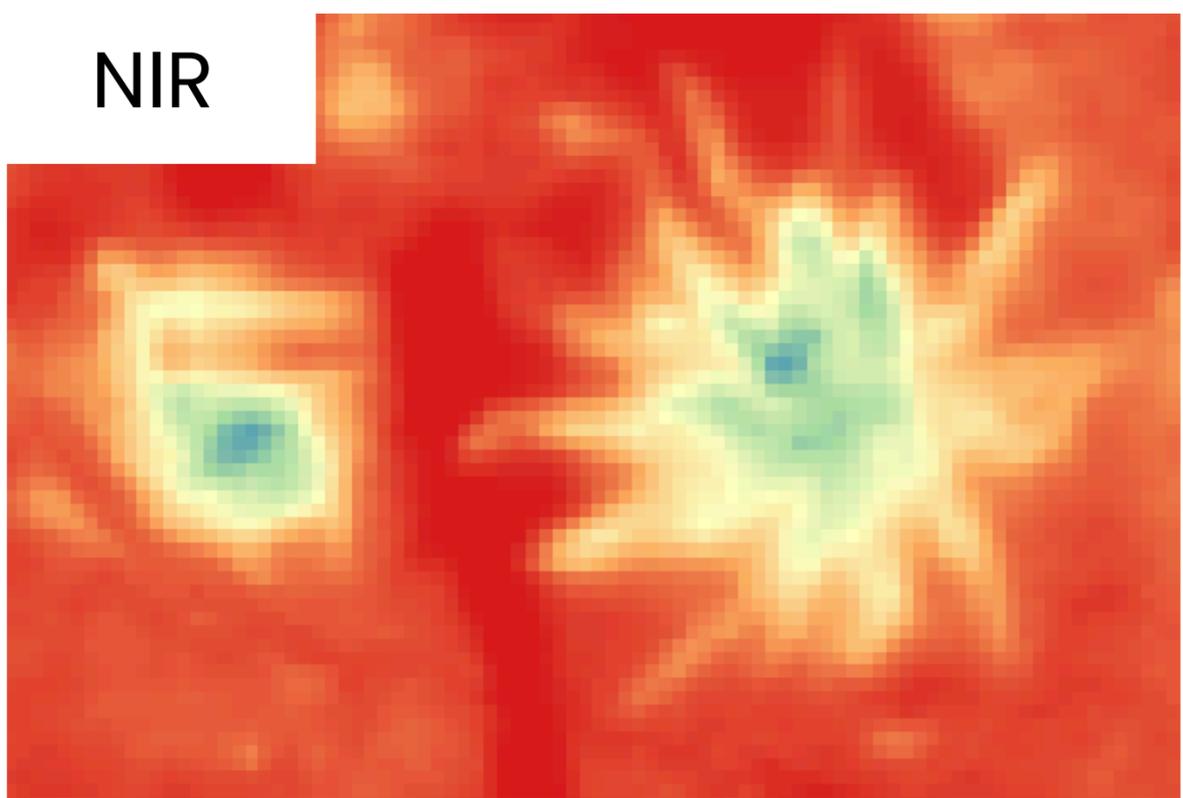
1m

Drone Mavic 3
Multispectral
Resolution 1.36 cm/pixel

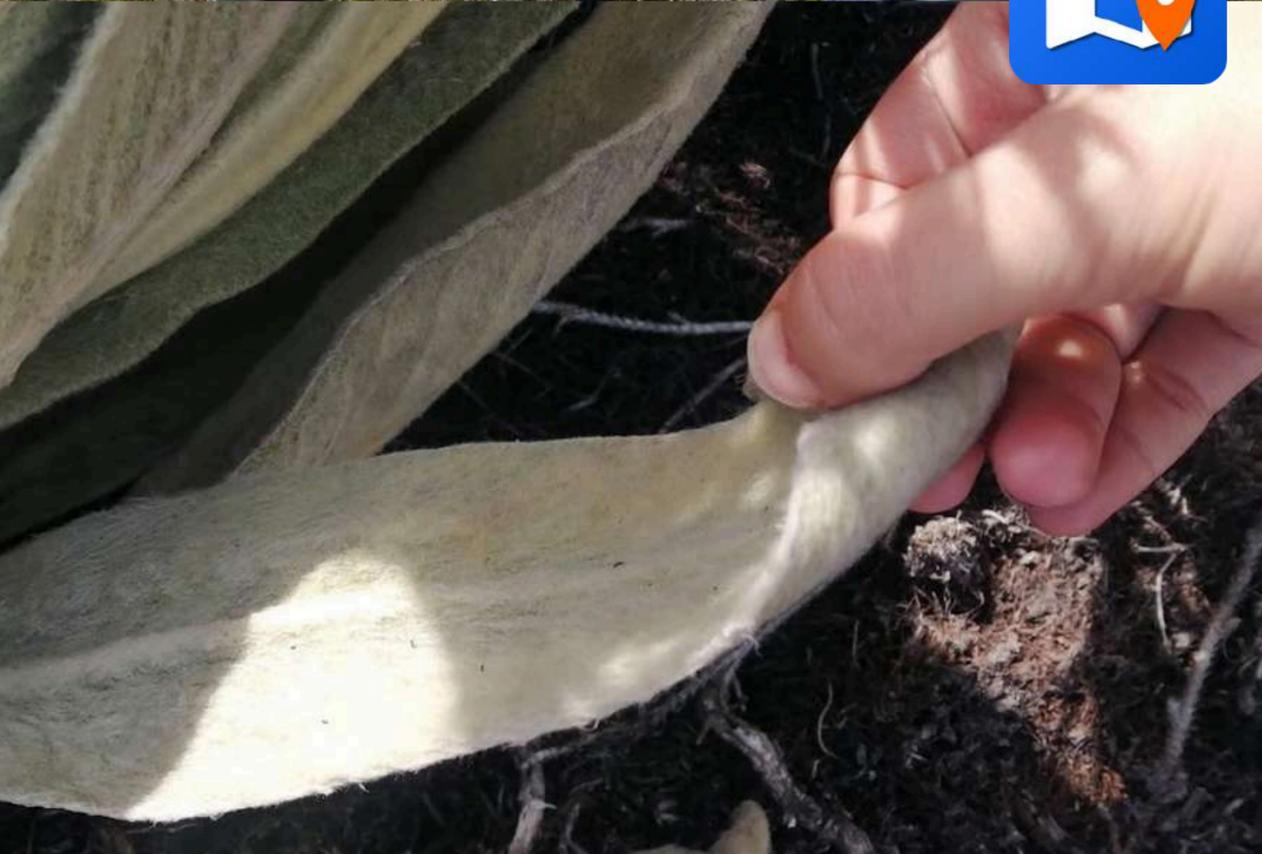
19 de Diciembre 2024



Drone Mavic 3
Multispectral
Resolution 1.36 cm/pixel

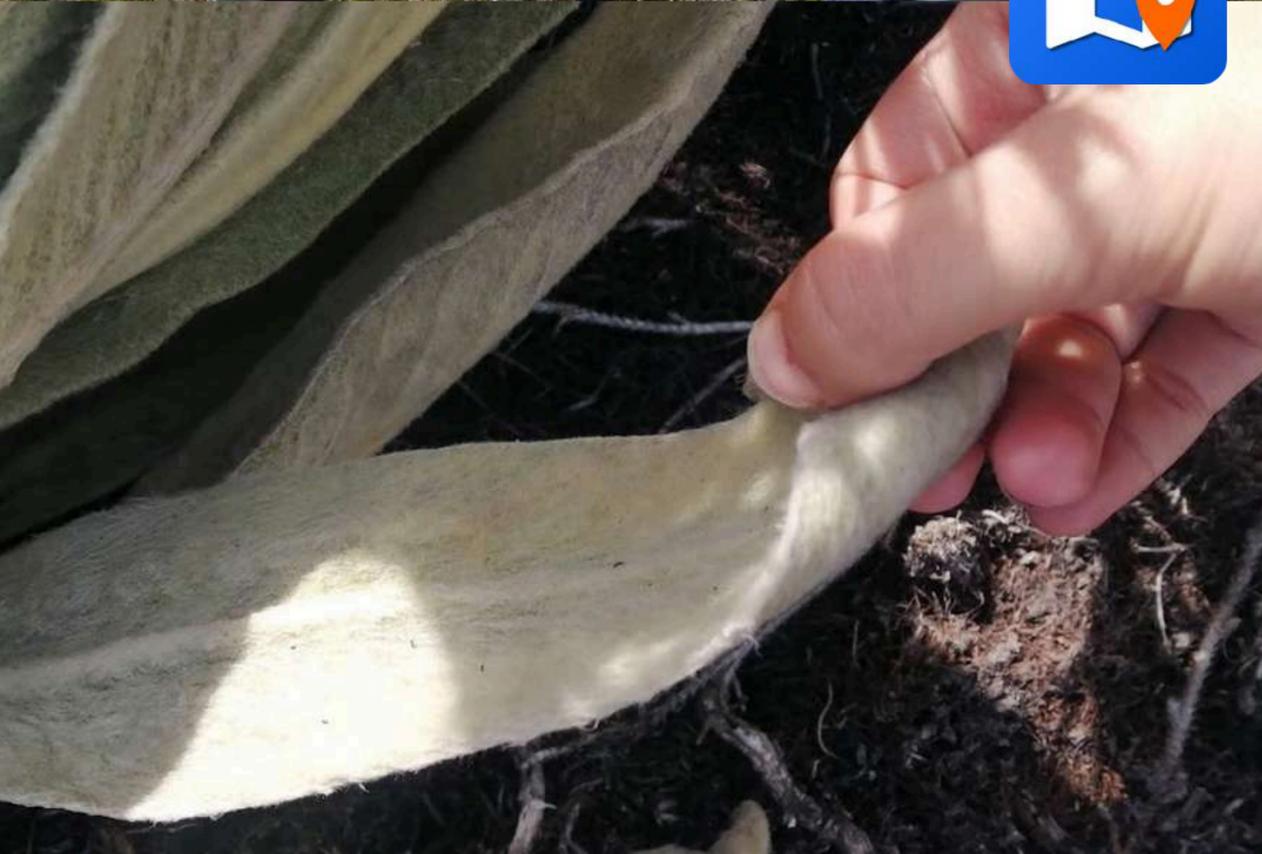


Campo, Enero 25 2025



Vivo

Campo, Enero 25 2025



Vivo

Muerto



112 individuos etiquetados
59 muertos (53%) **Muerto**
53 vivos (47%) **Vivo**

¿Podemos automatizar la detección de frailejones vivos y muertos?

Dead

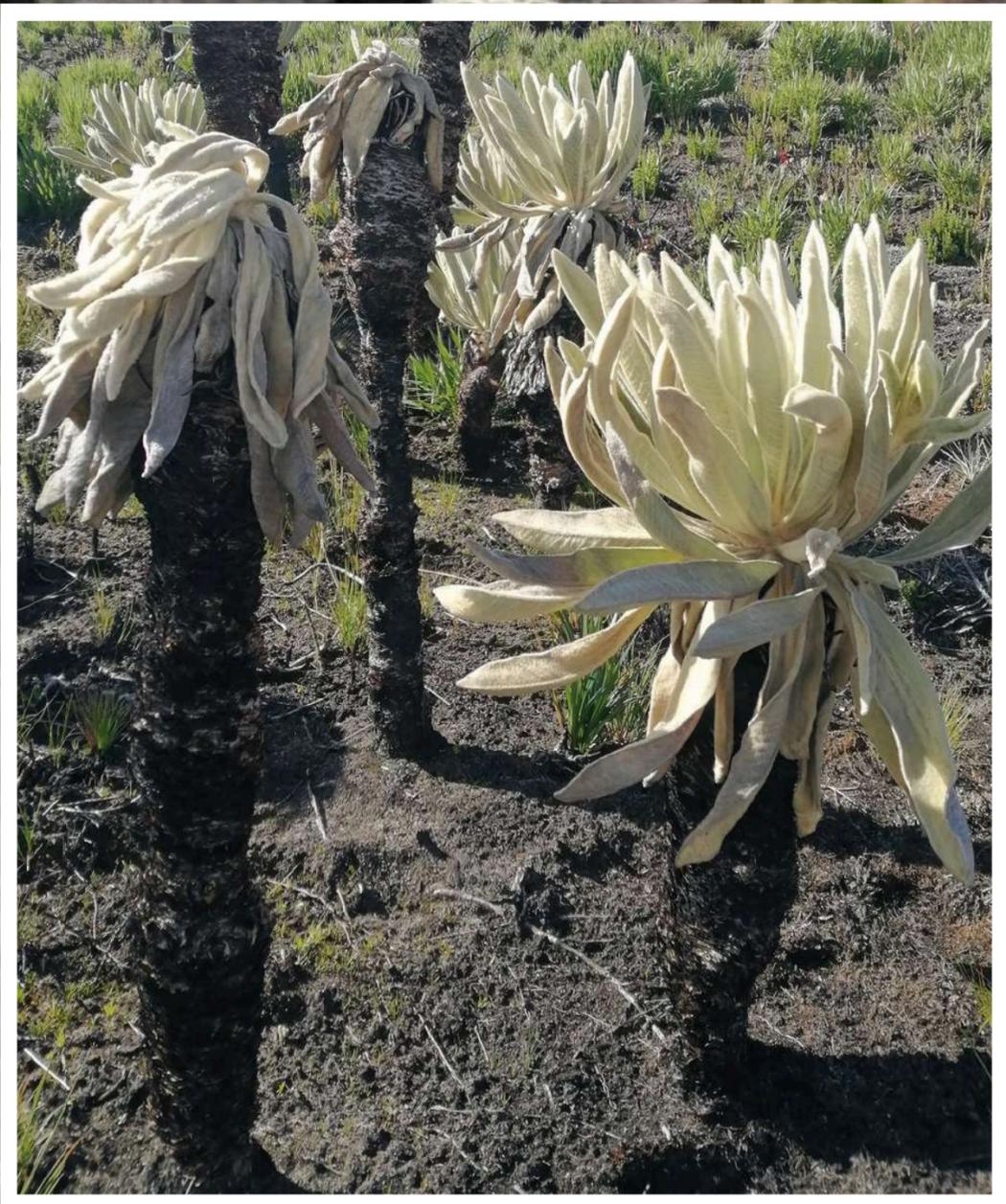
Alive



¿Podemos automatizar la detección de frailejones vivos y muertos?

Dead

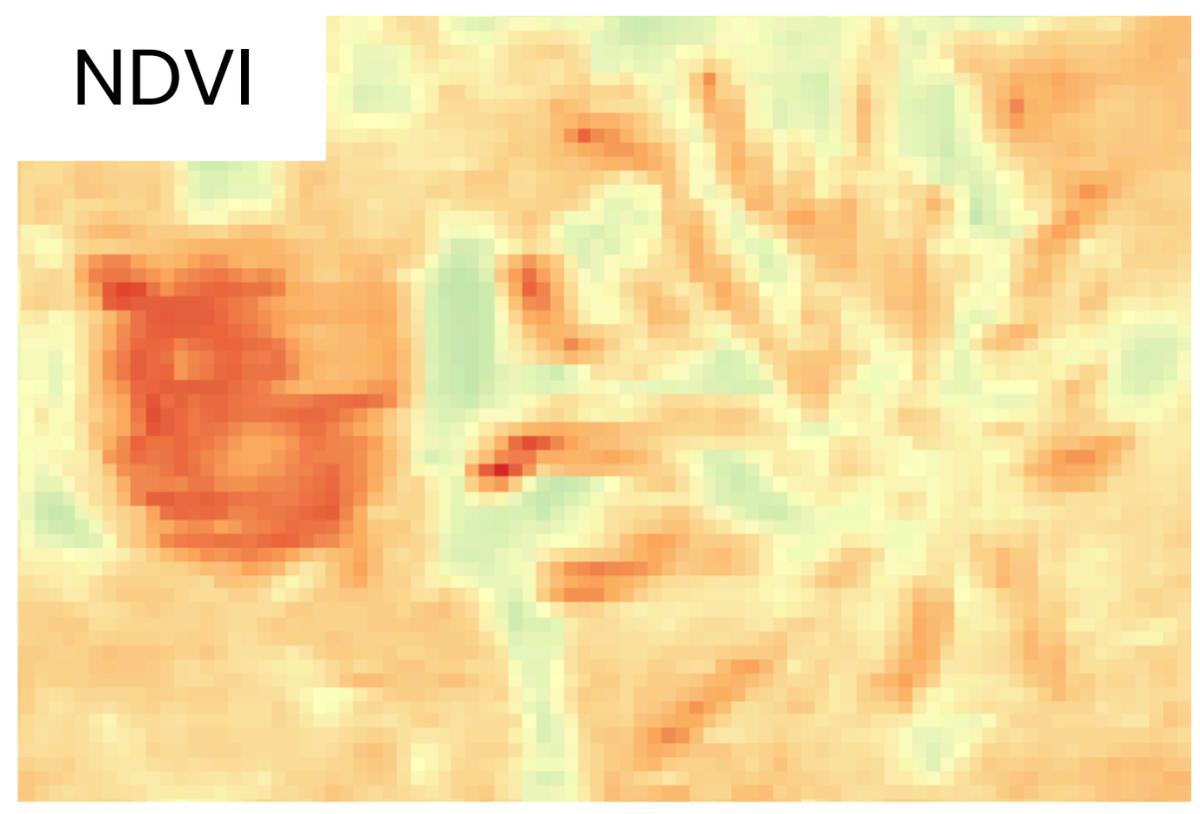
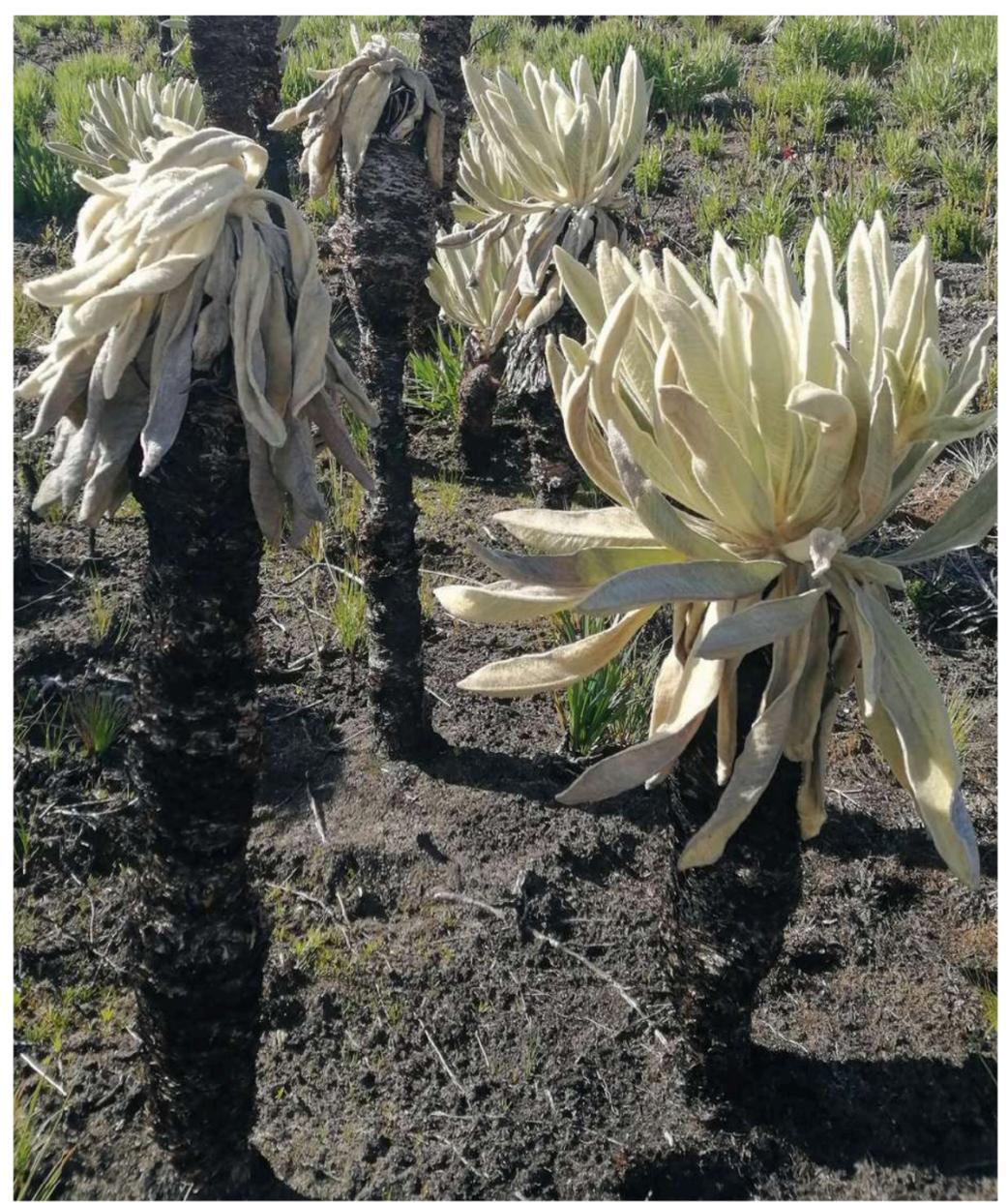
Alive



¿Podemos automatizar la detección de frailejones vivos y muertos?

Dead

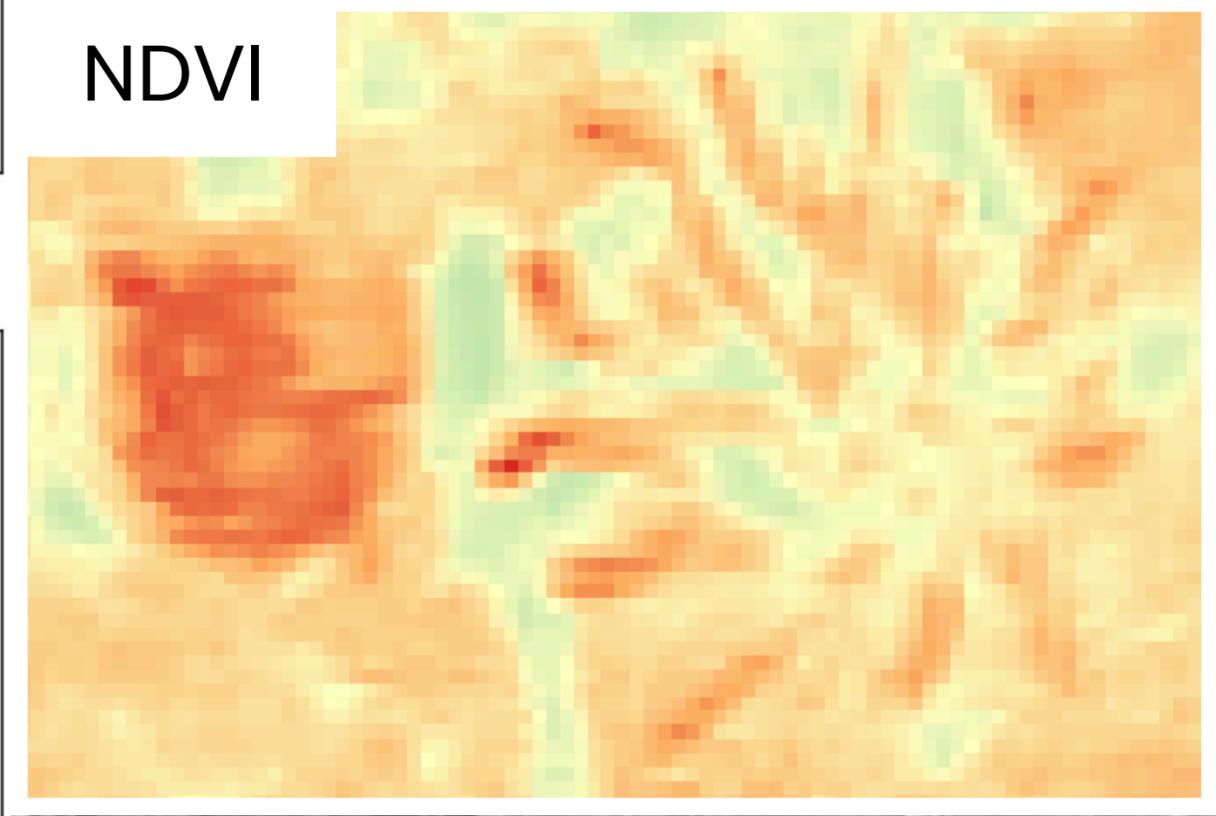
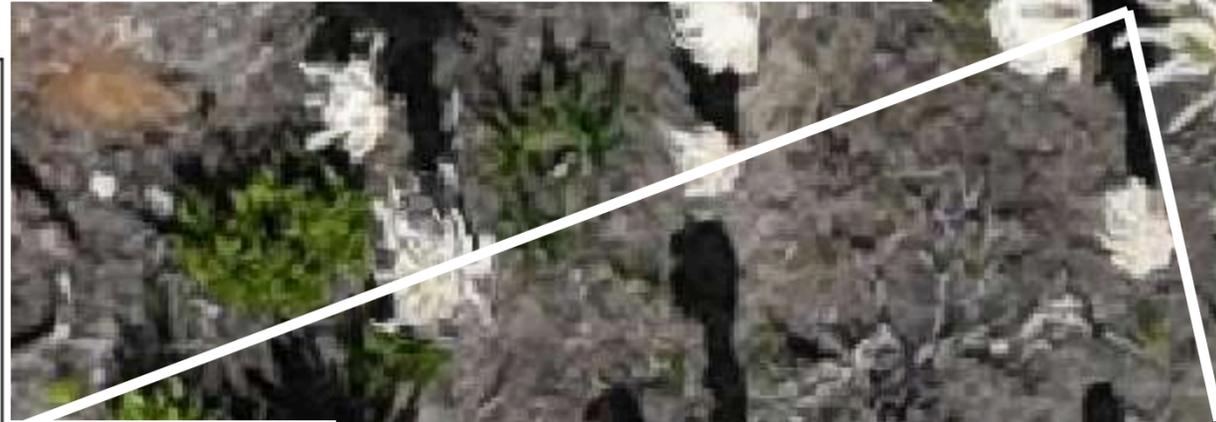
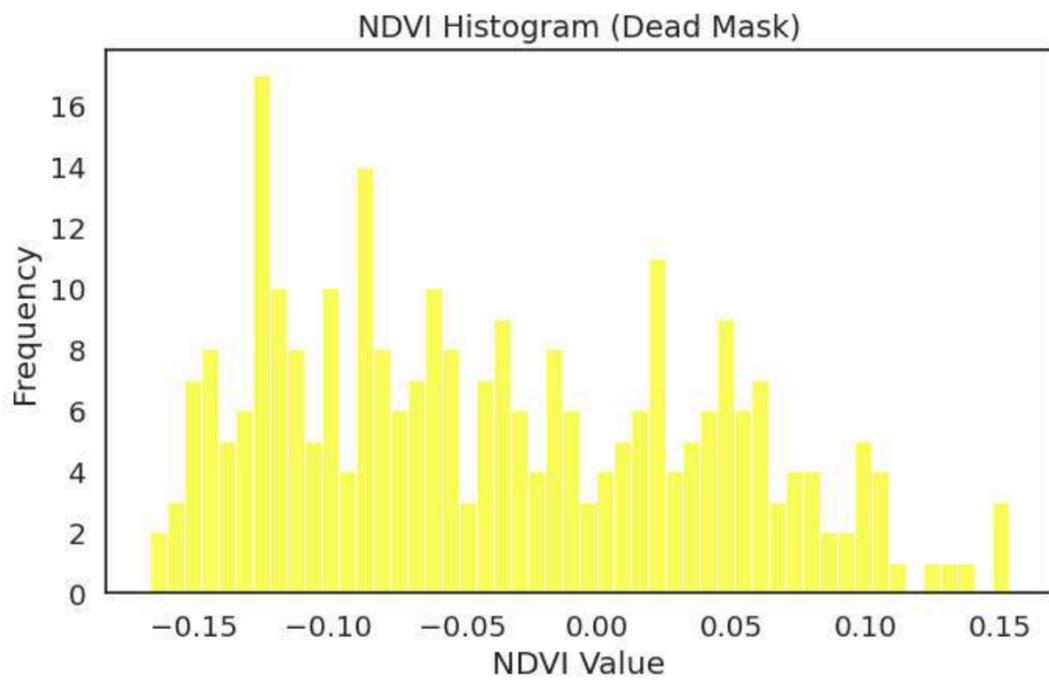
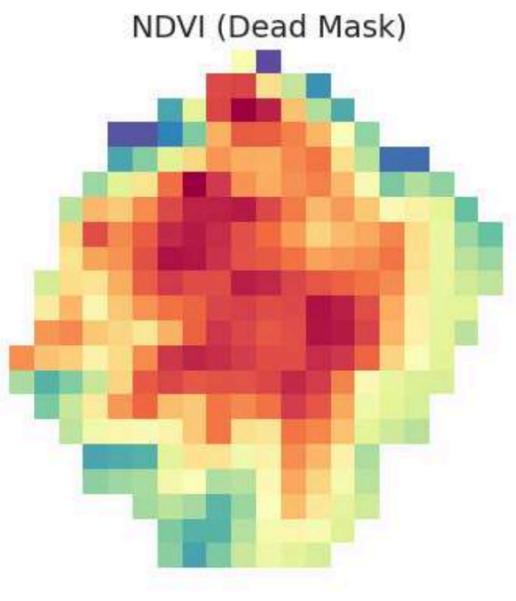
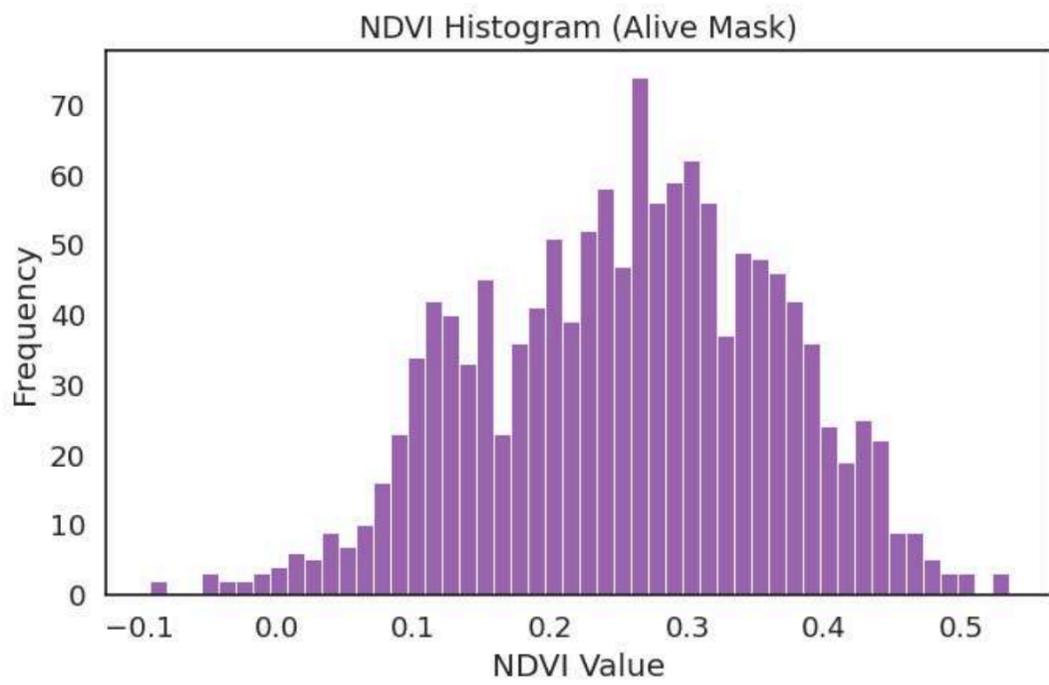
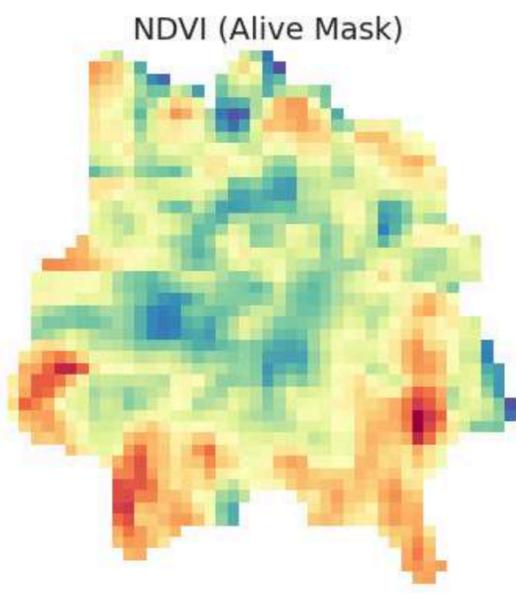
Alive



Normalized Difference Vegetation Index

¿Podemos automatizar la detección de frailejones vivos y muertos?

Dead Alive



Normalized Difference Vegetation Index

An aerial photograph of a rocky, mountainous landscape. The terrain is covered with patches of green vegetation and numerous white, star-shaped flowers, likely frailejones, scattered across the grey and brown rocks. The overall scene is a natural, high-altitude environment.

¿Podemos automatizar la detección de frailejones vivos y muertos?

Si podemos!
Implementamos un método de procesamiento de imágenes con inteligencia artificial

Hay una diferencia entre imágenes de alta y baja resolución



GSD 1.3 cm



GSD 3.6 cm

GSD 1.3 cm

GSD 3.6 cm



GSD 3.6 cm
83 hectáreas



GSD 1.3 cm
3.2 hectáreas





1-Entrenamos modelos de detección de objetos Yolov11 y RT-DETR



GSD 1.3 cm



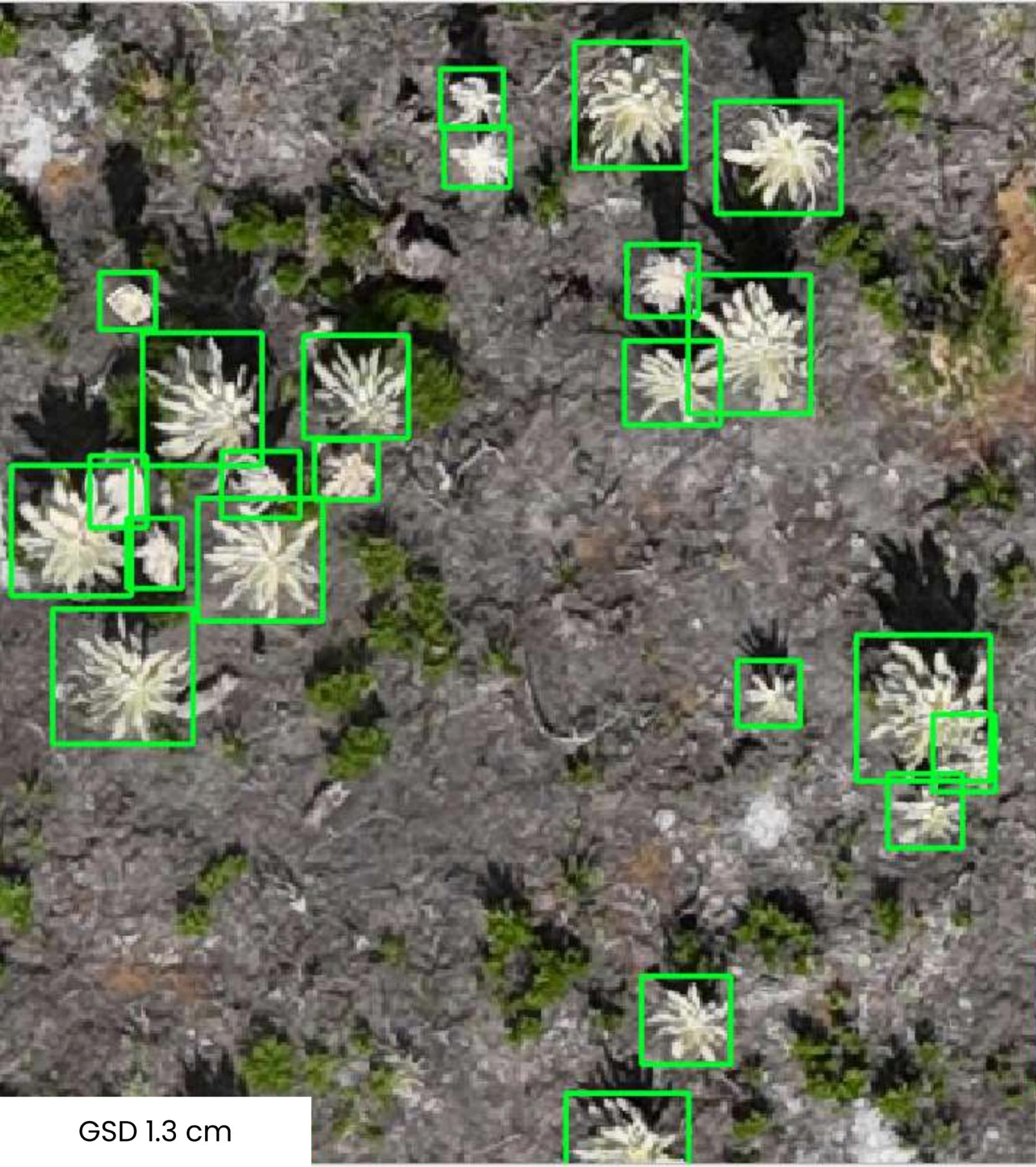
GSD 3.6 cm



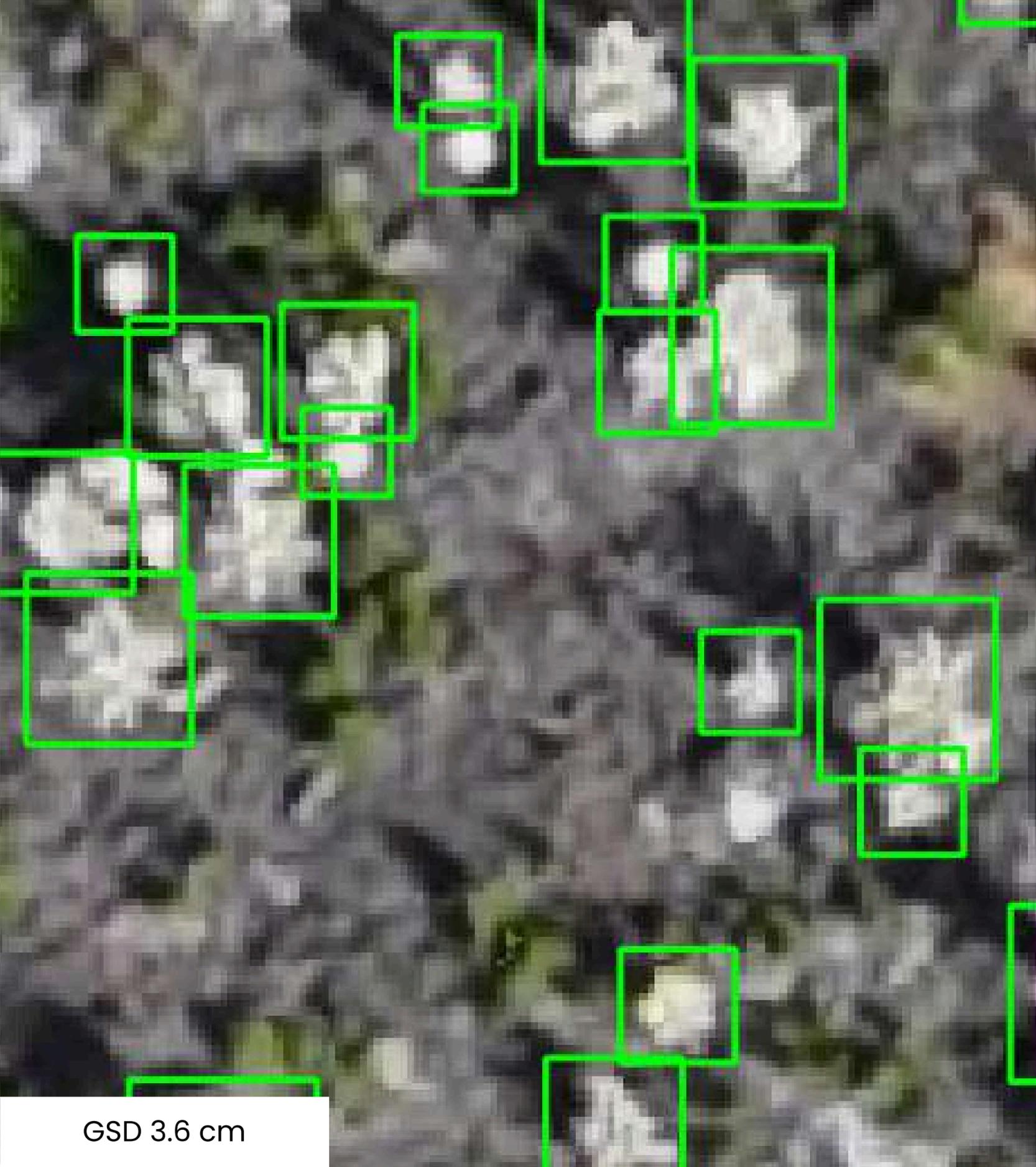
GSD 1.3 cm



GSD 3.6 cm

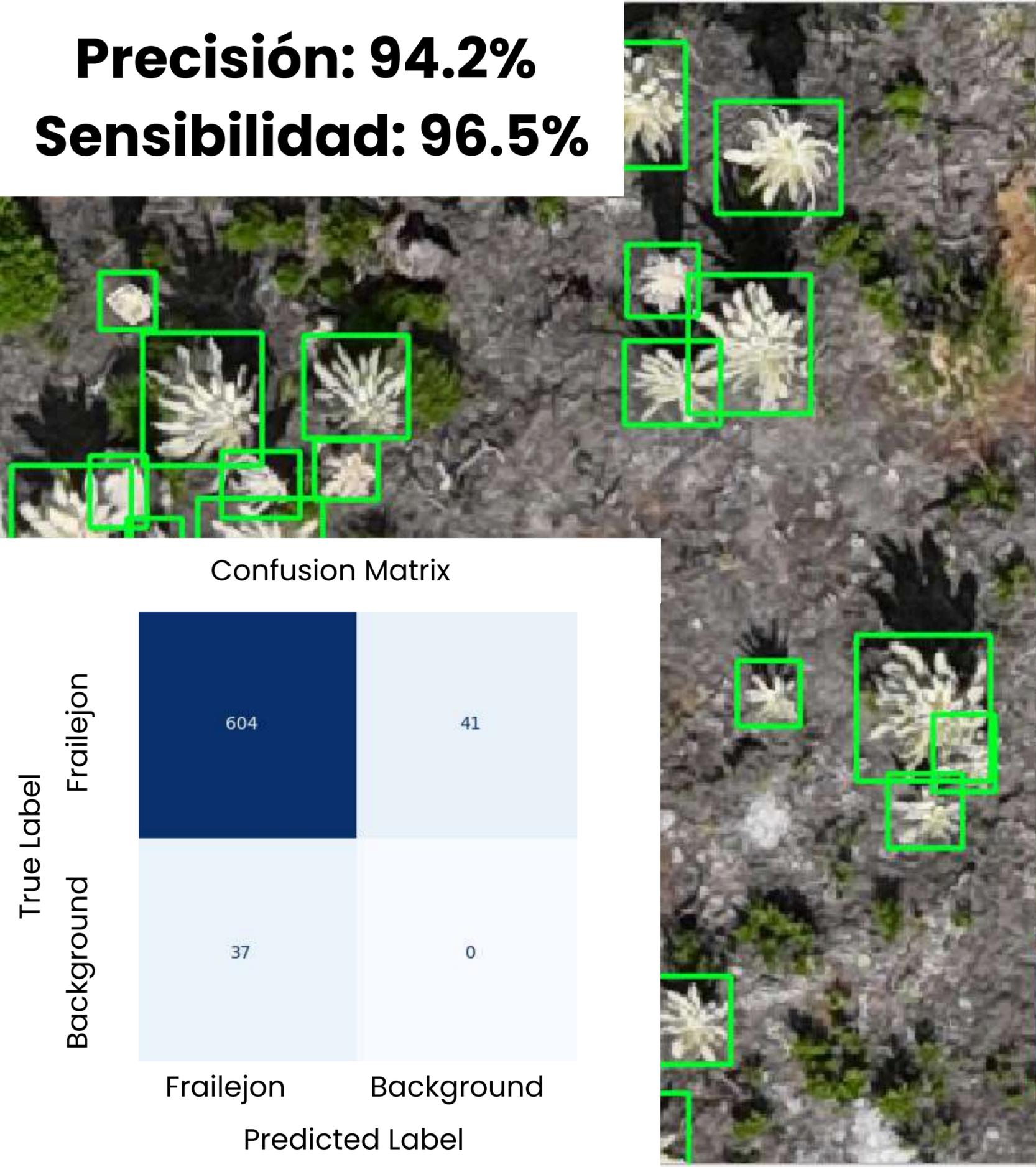


GSD 1.3 cm

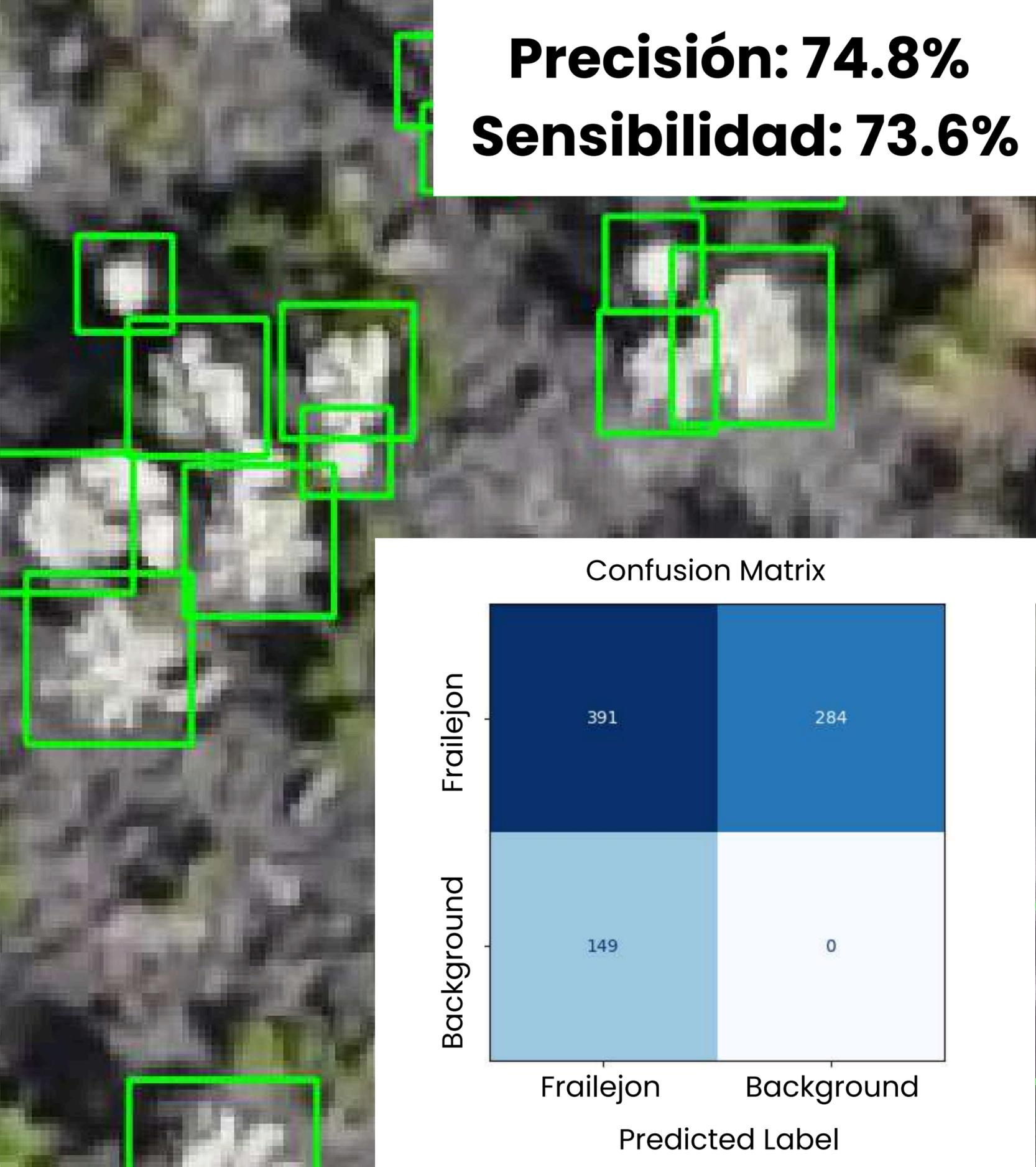


GSD 3.6 cm

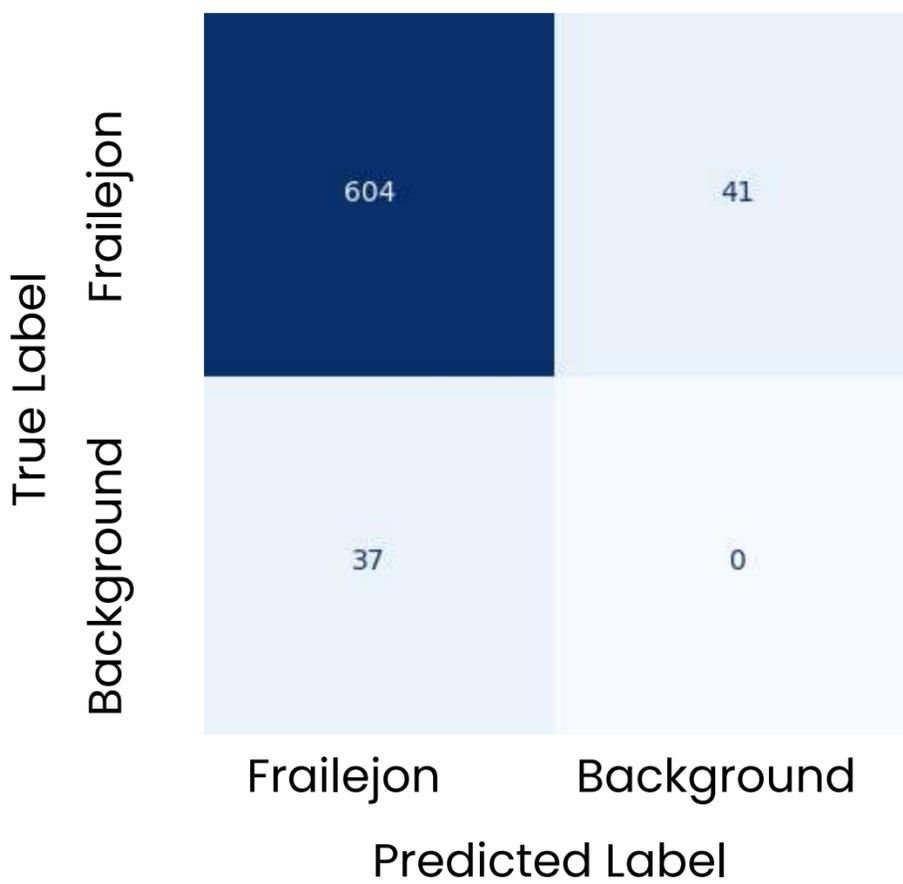
Precisión: 94.2%
Sensibilidad: 96.5%



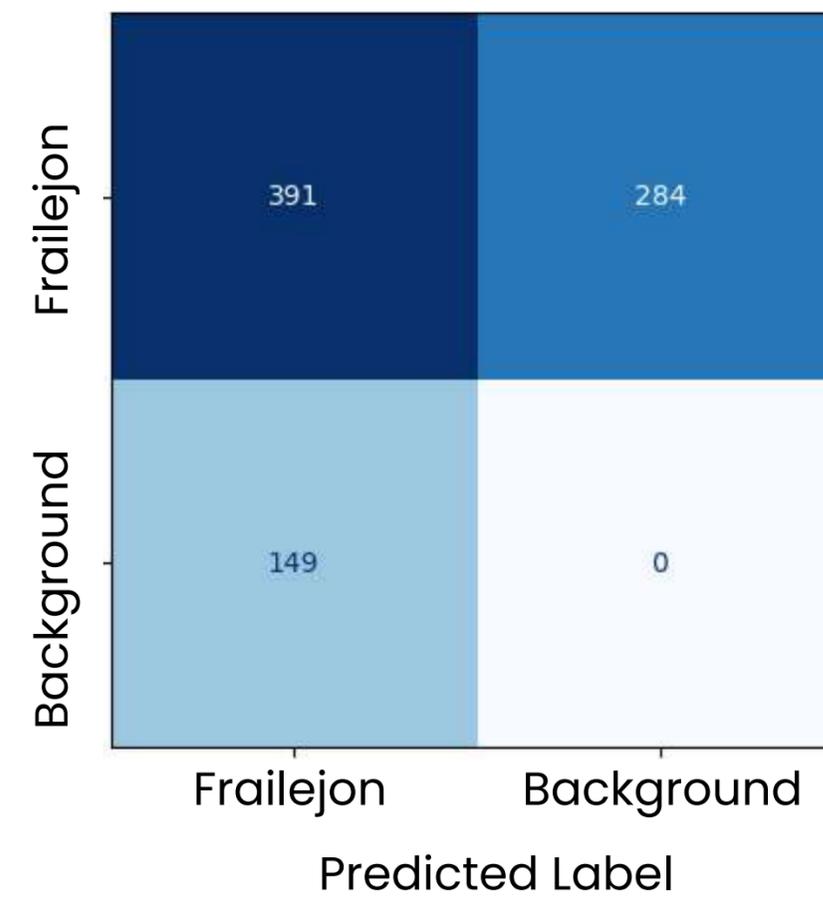
Precisión: 74.8%
Sensibilidad: 73.6%

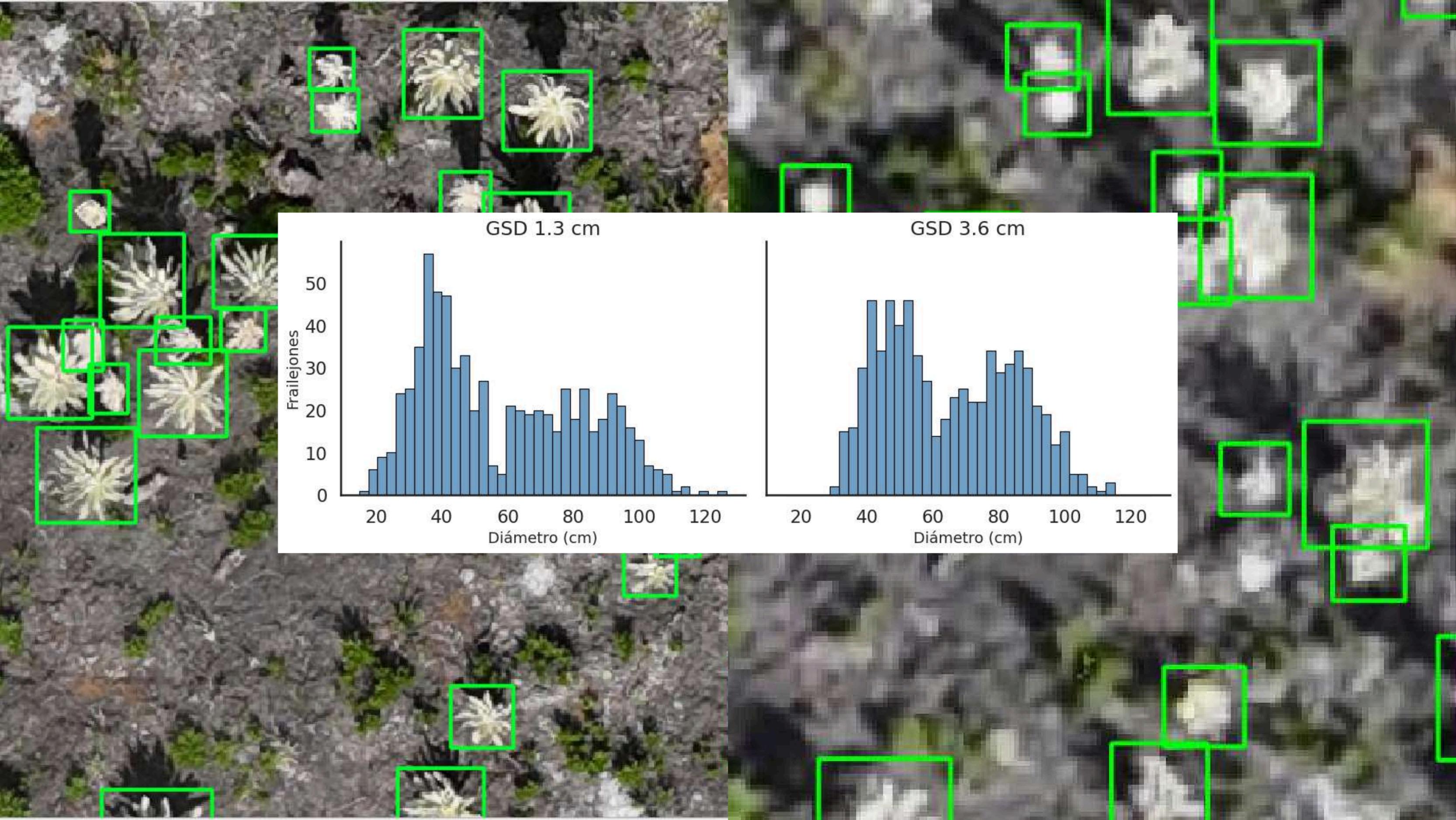


Confusion Matrix

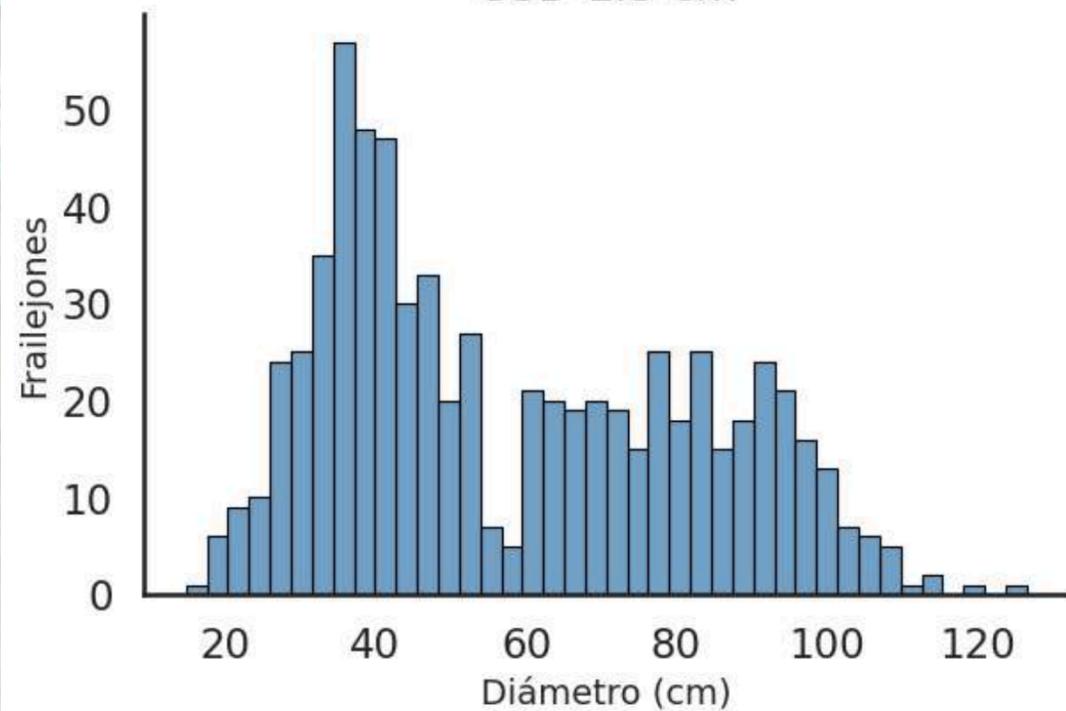


Confusion Matrix

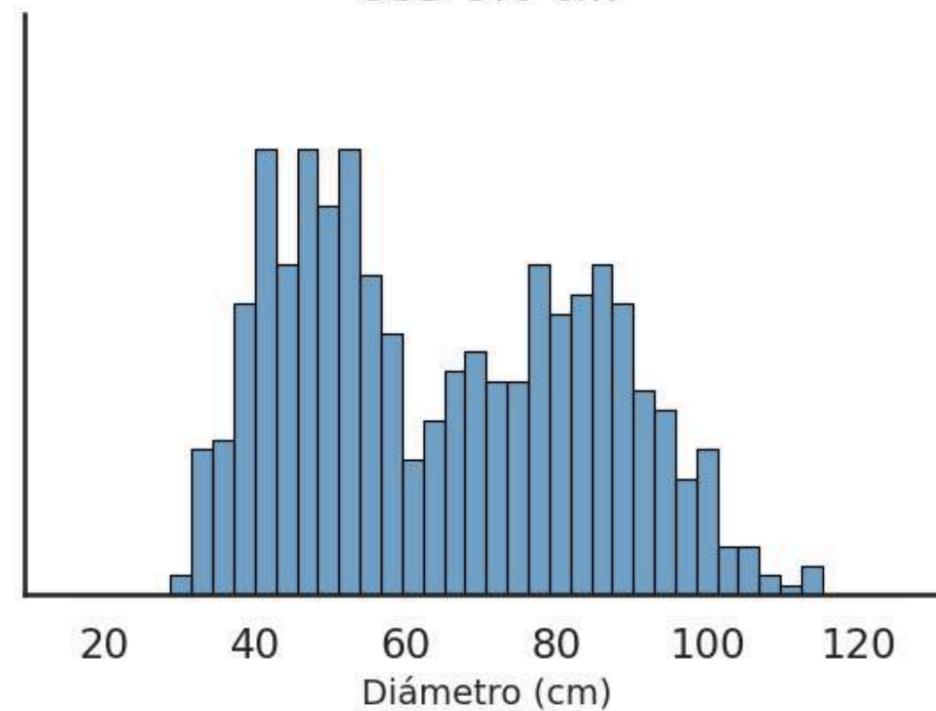




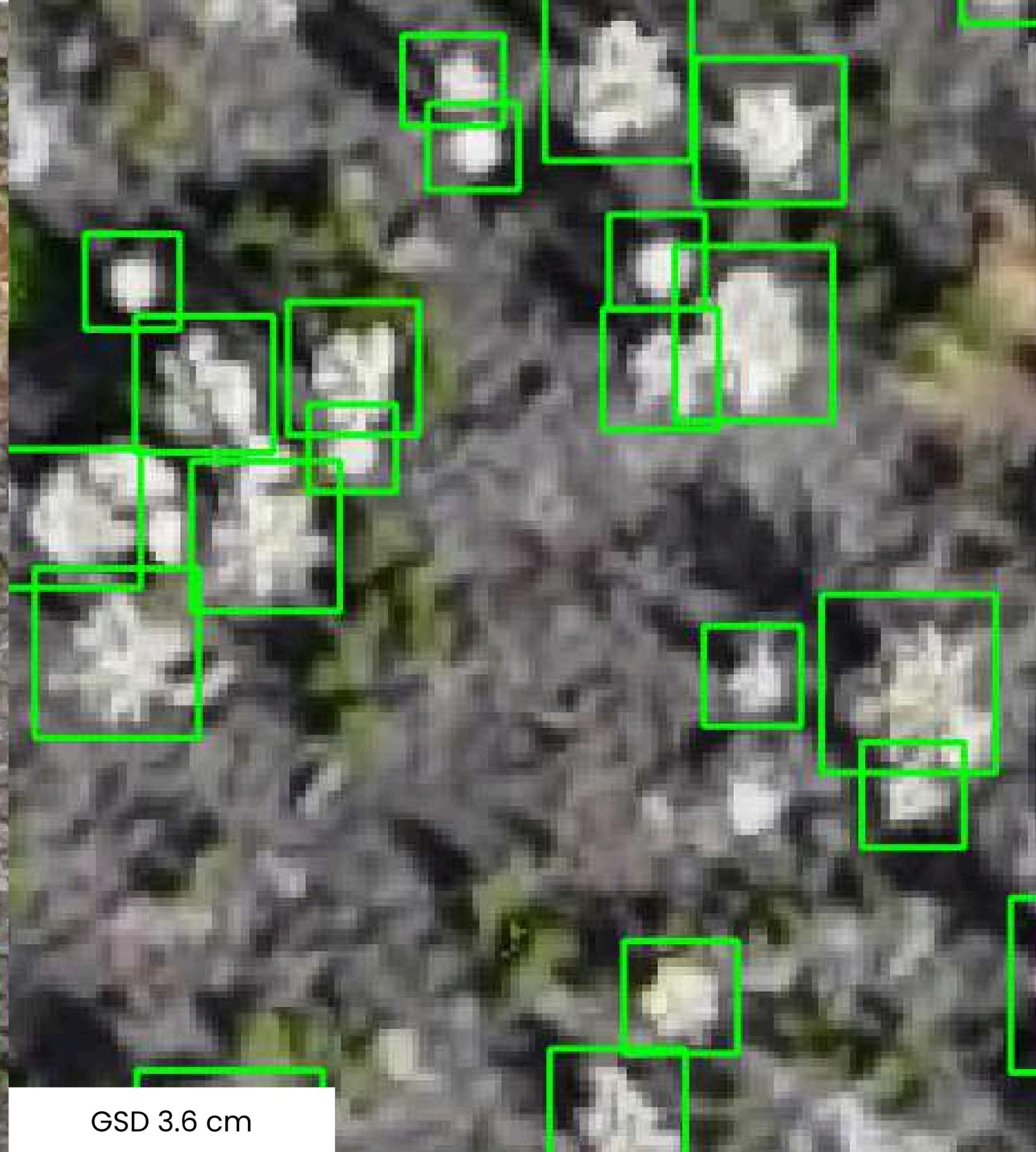
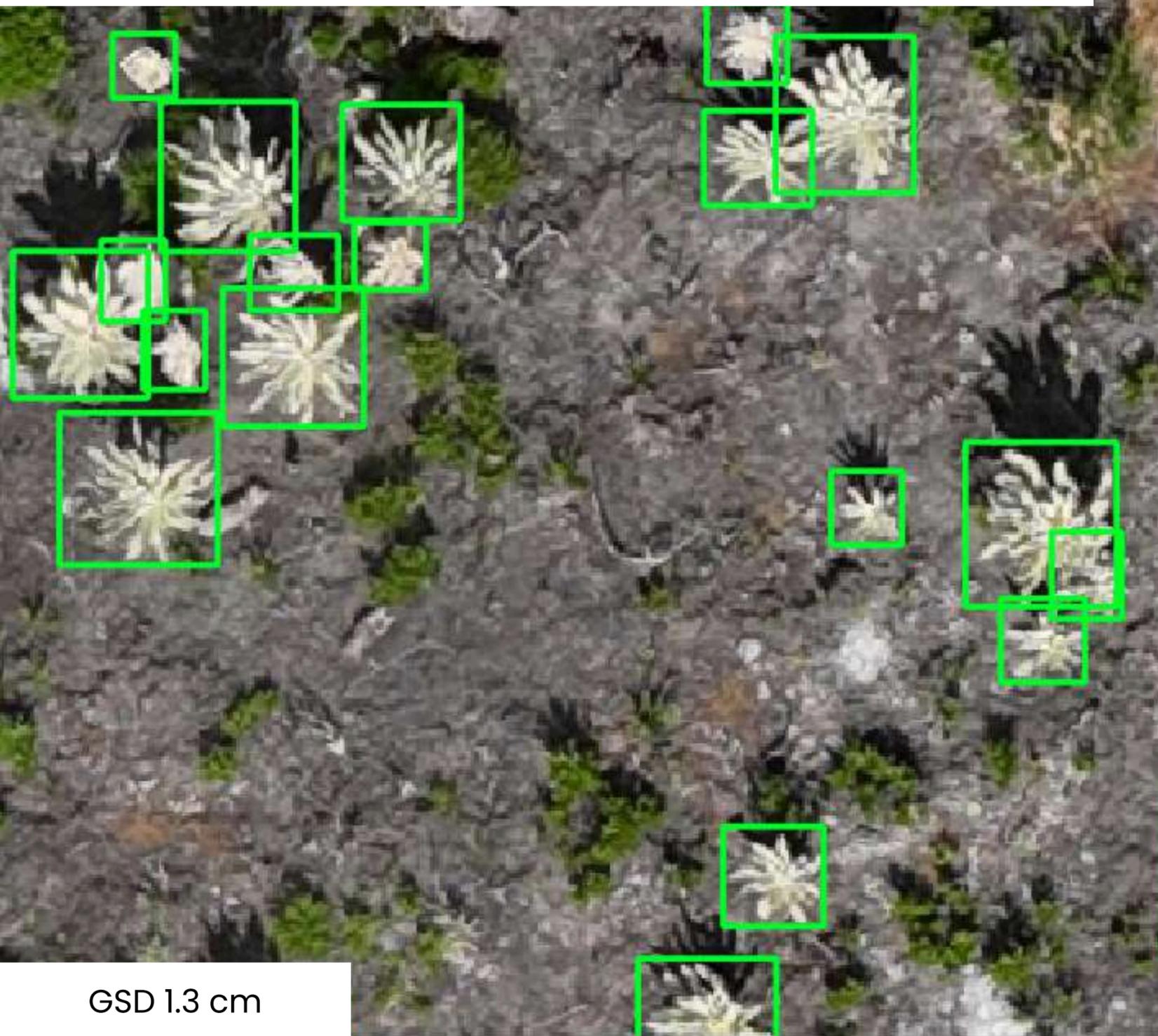
GSD 1.3 cm

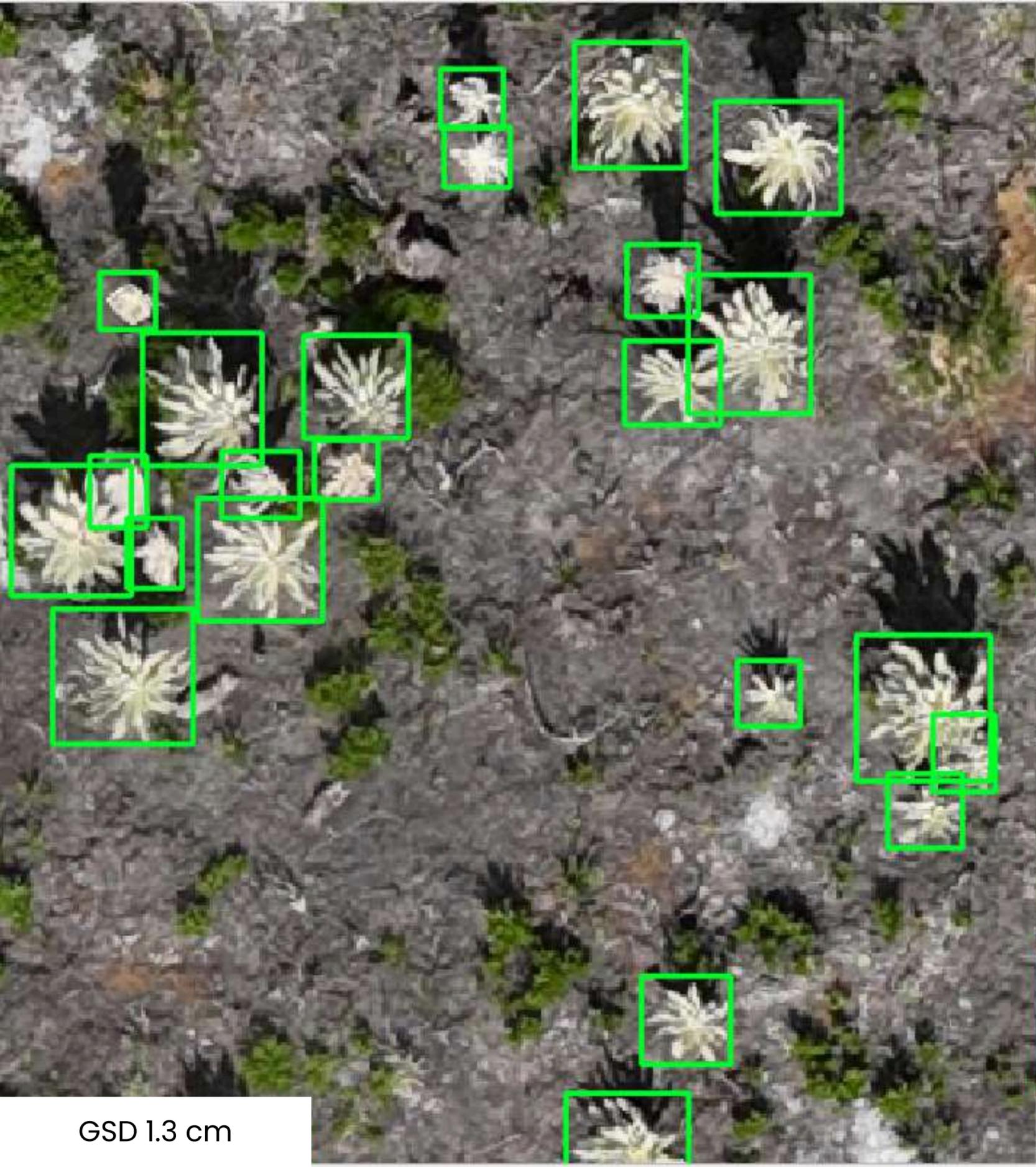


GSD 3.6 cm

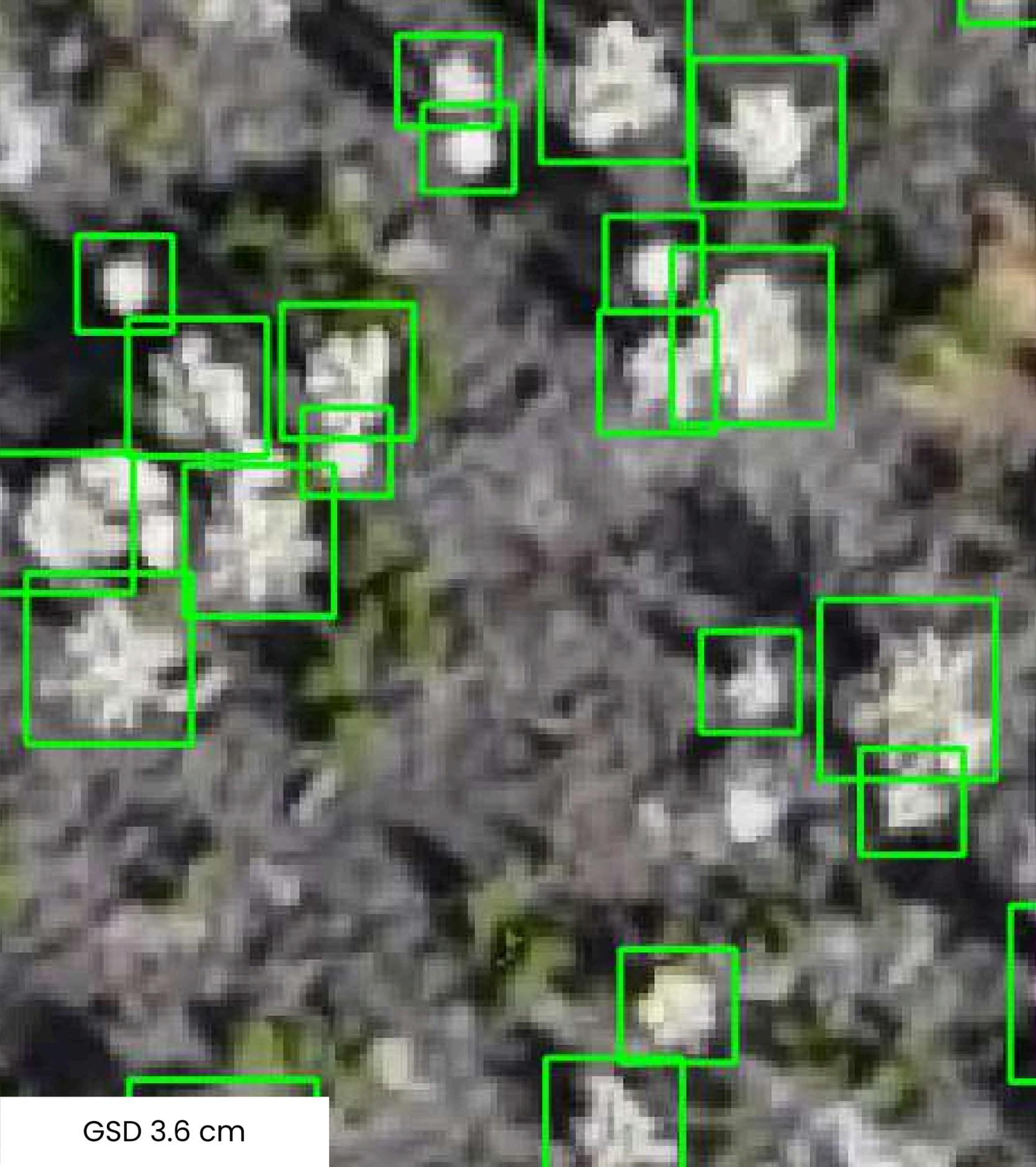


2- Usamos SAM2 un modelo de segmentación que no requiere entrenamiento

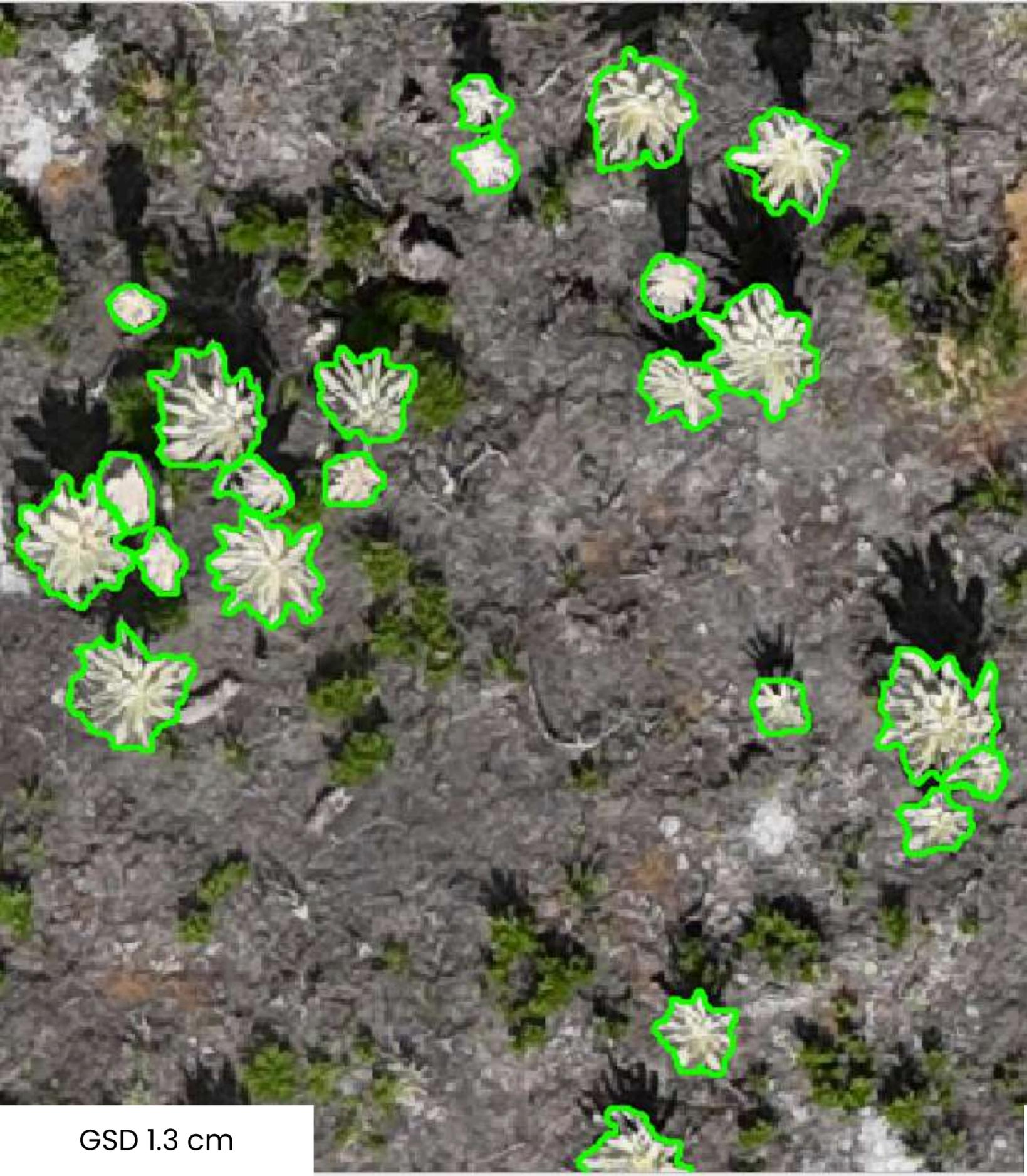




GSD 1.3 cm



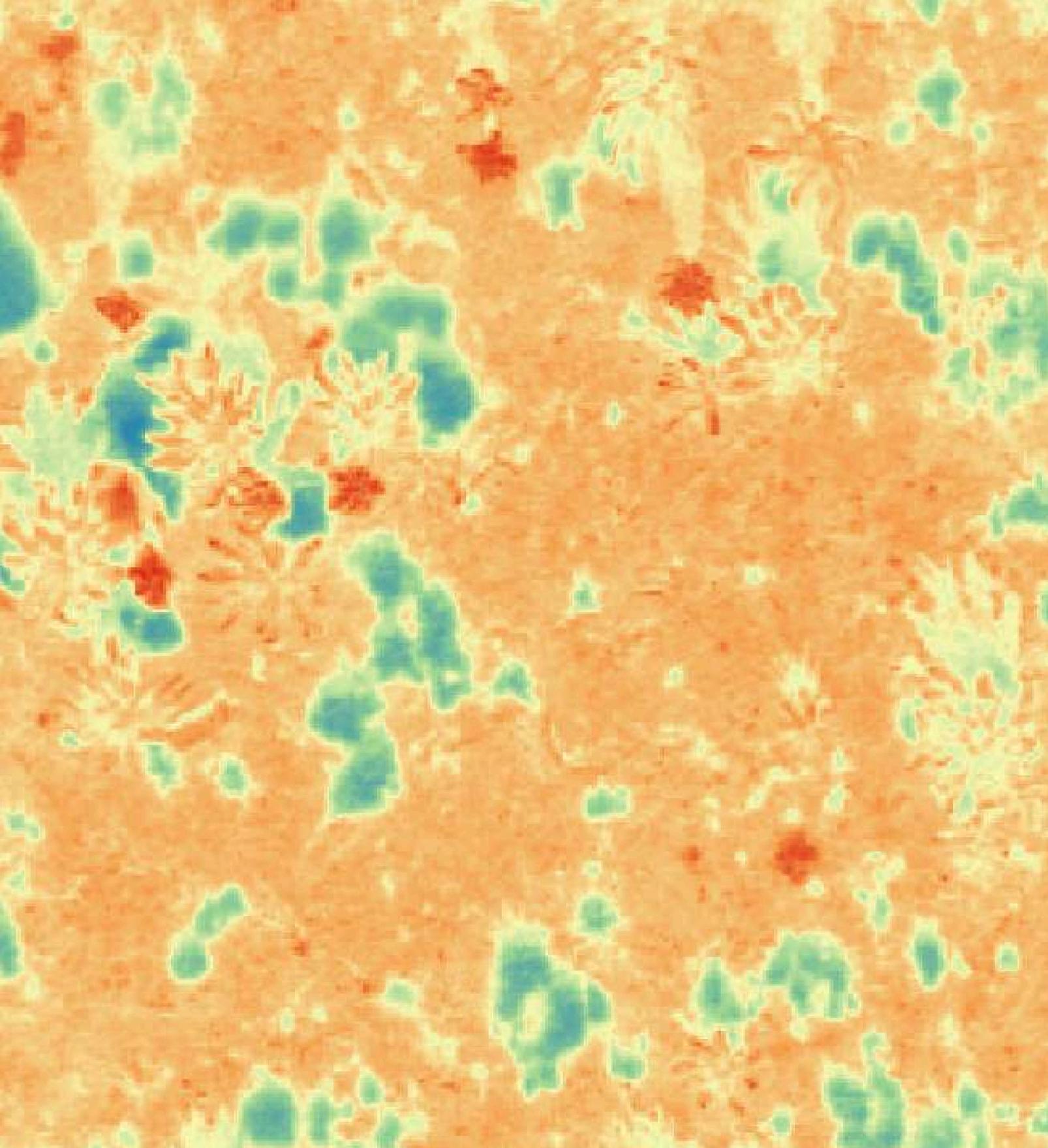
GSD 3.6 cm



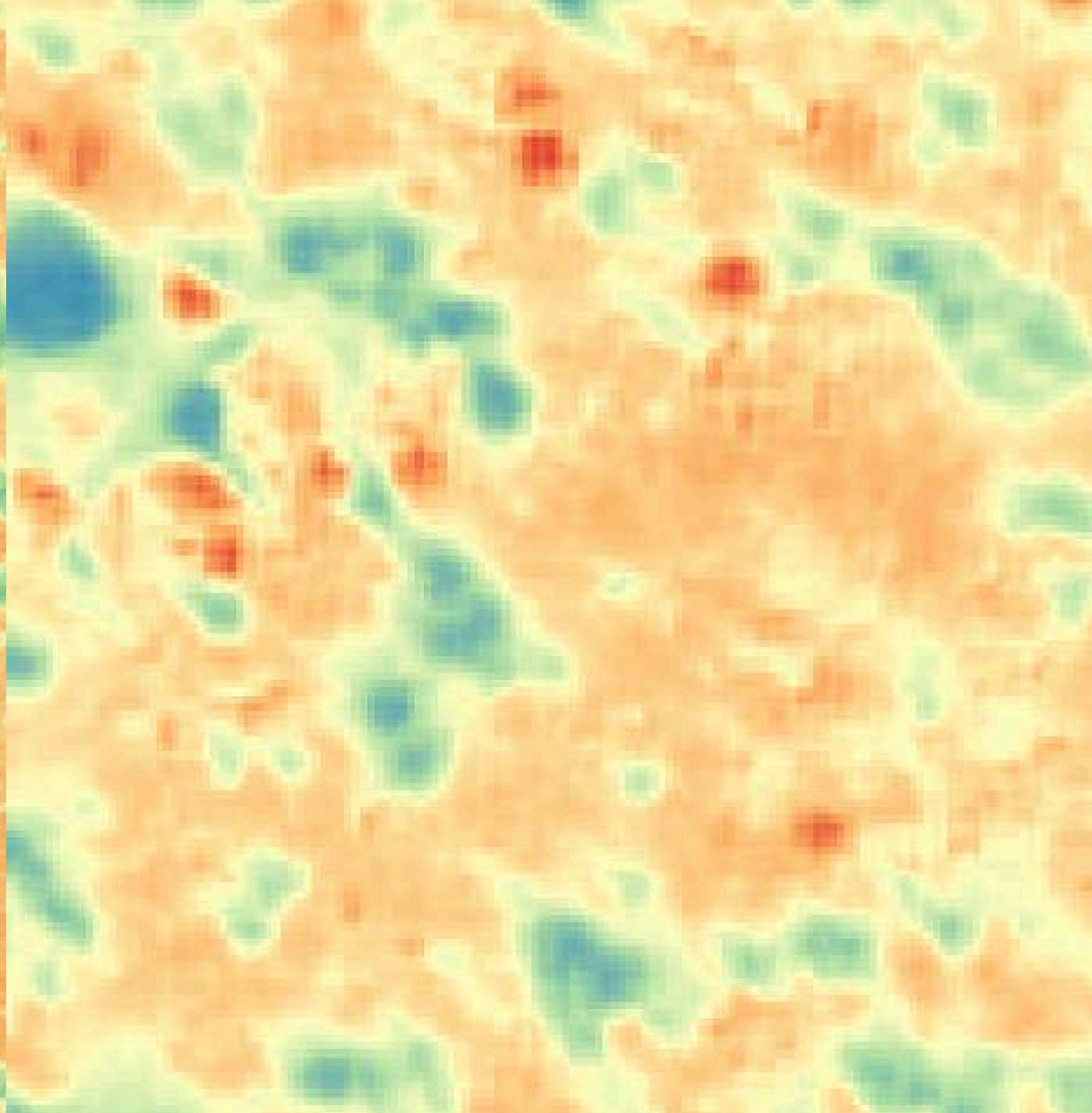
GSD 1.3 cm



GSD 3.6 cm

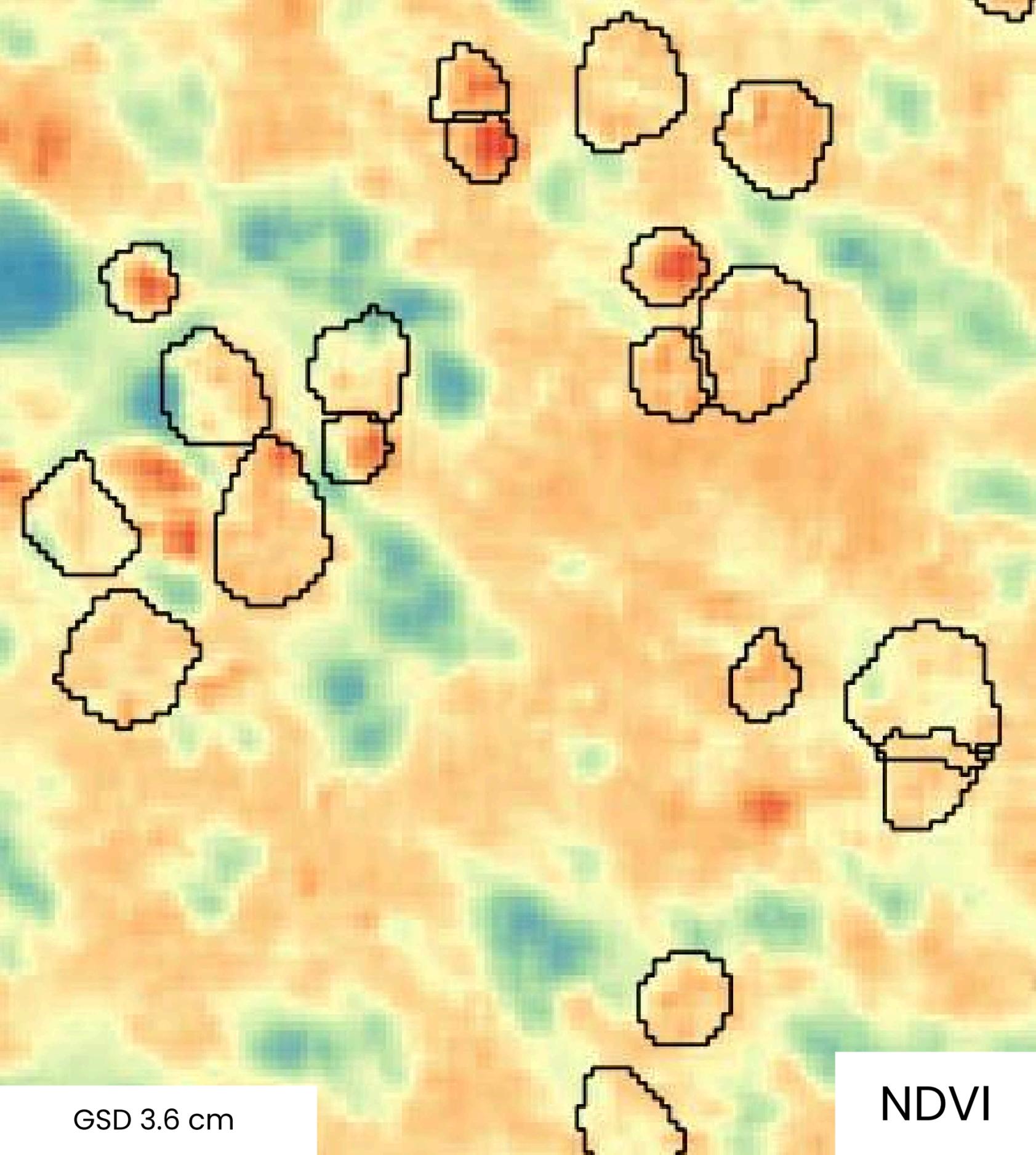
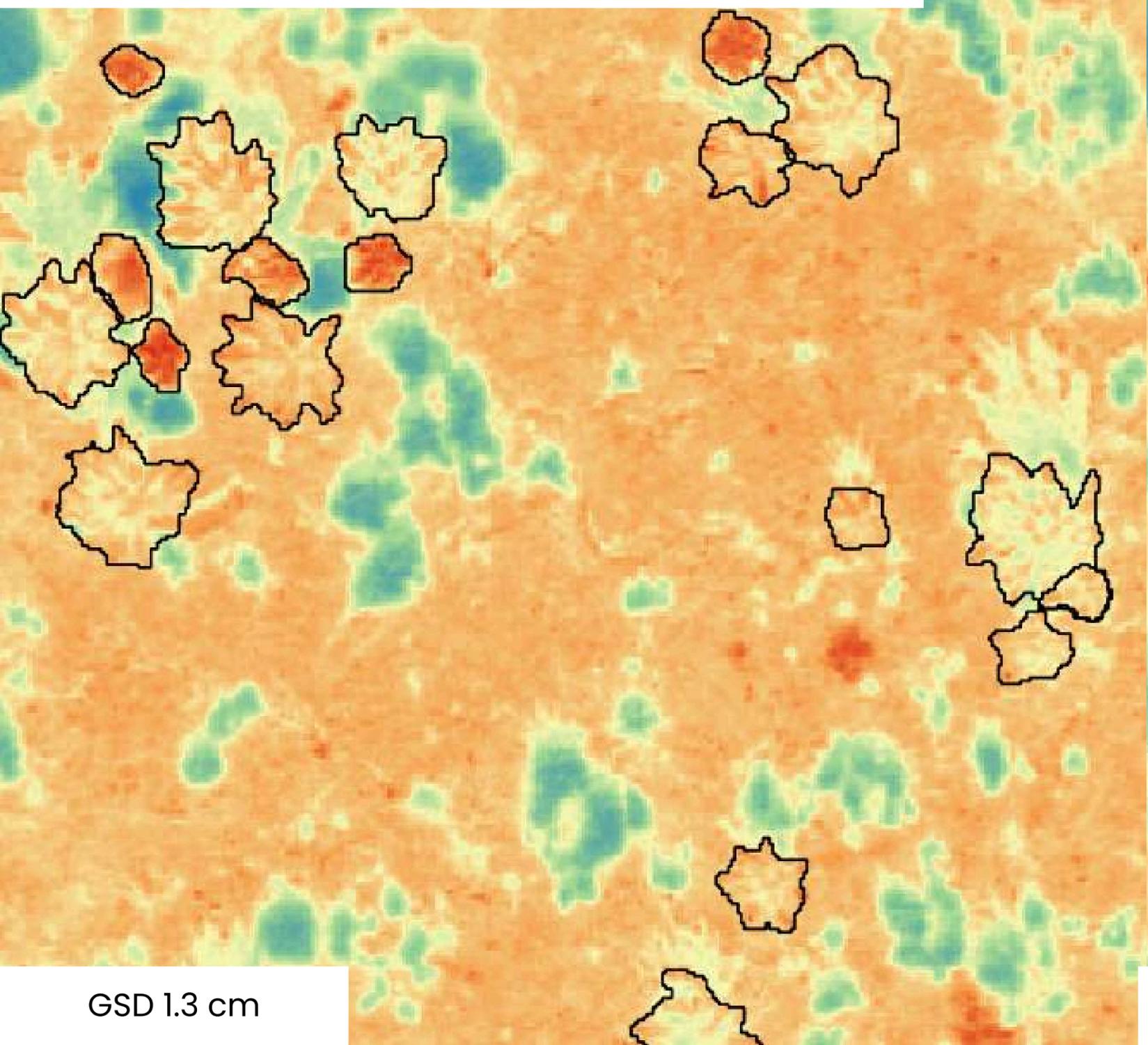


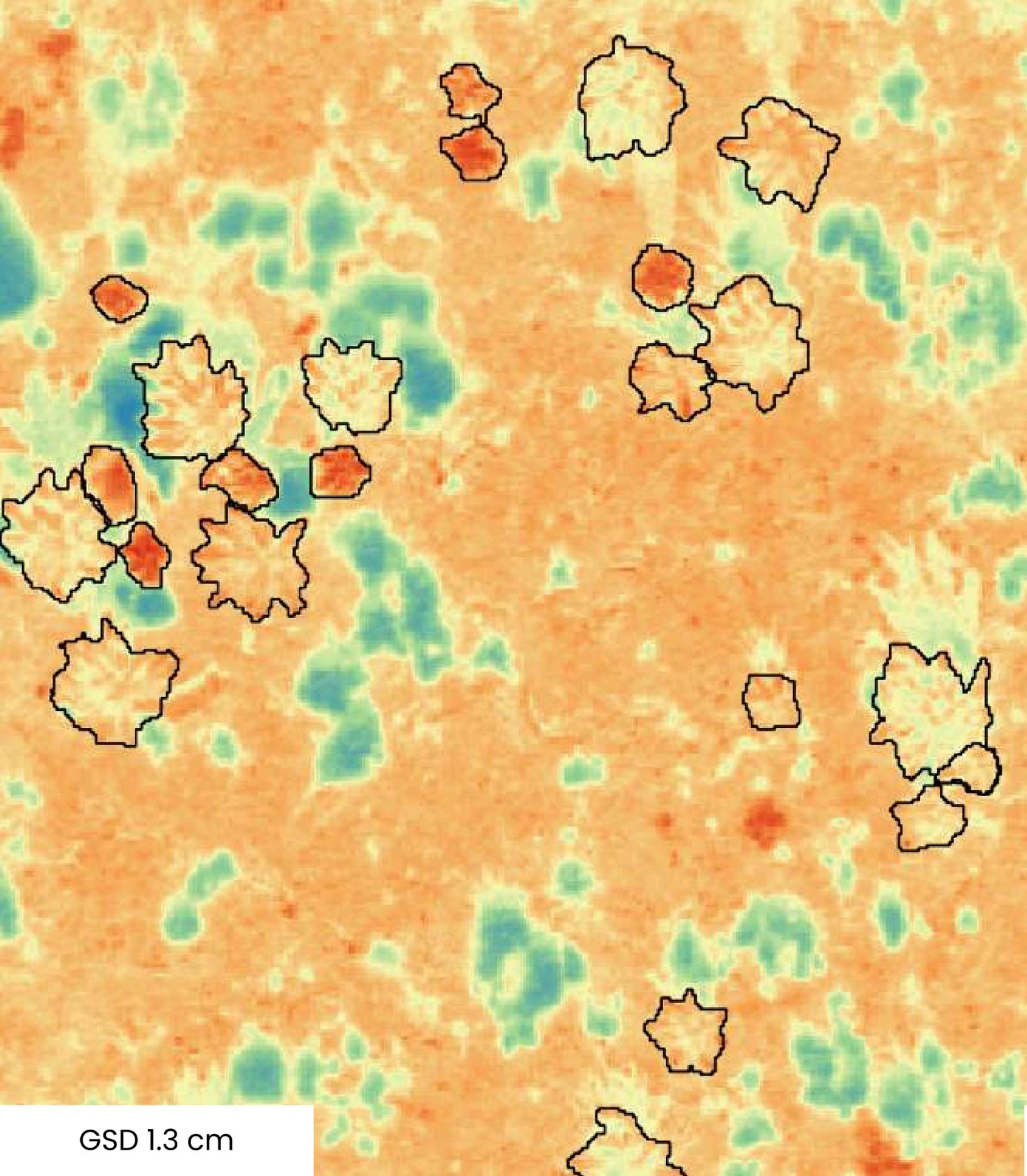
GSD 1.3 cm



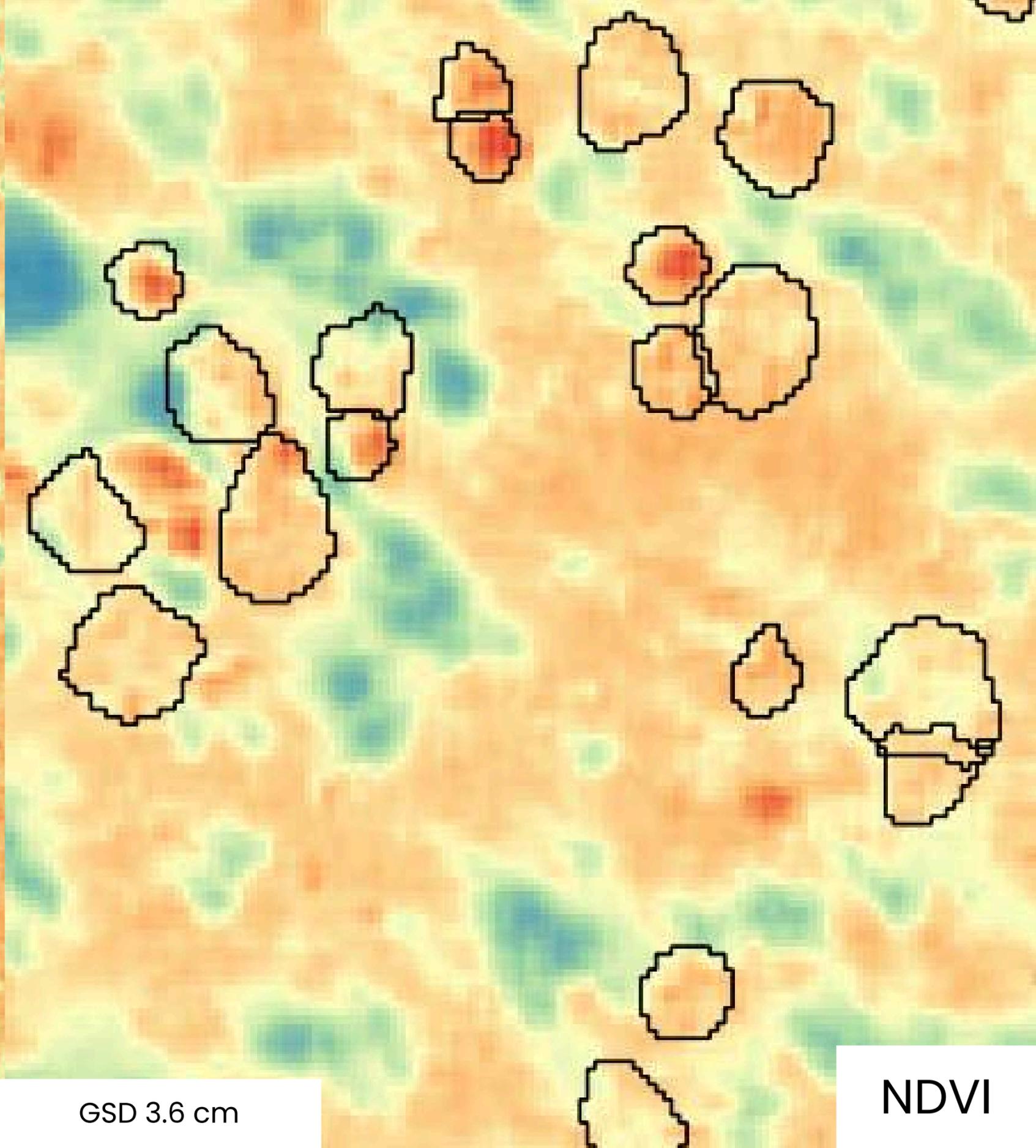
GSD 3.6 cm

3-Calculamos la mediana del NDVI dentro de las máscaras de segmentación





GSD 1.3 cm



GSD 3.6 cm

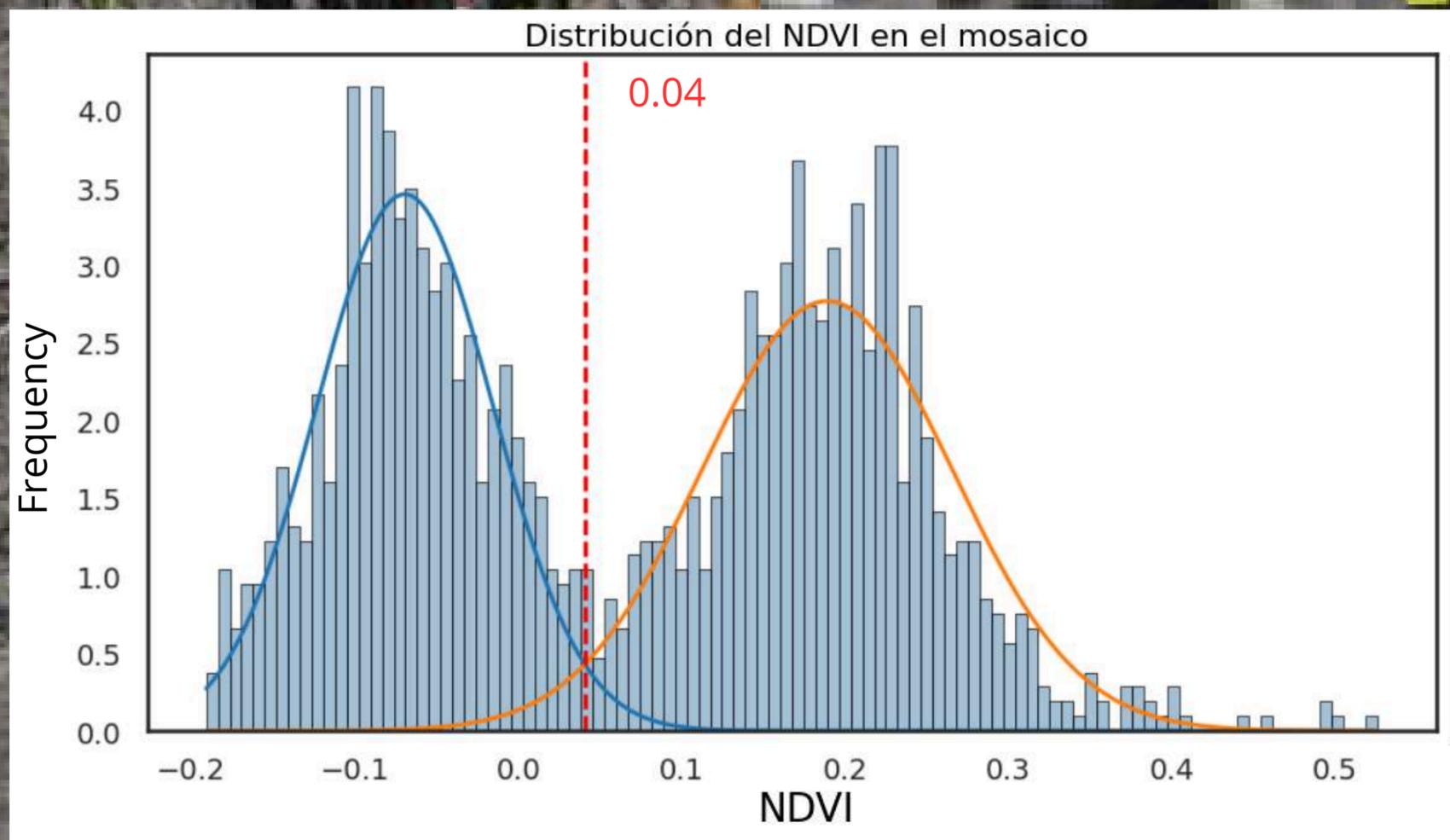
NDVI



0.625



-0.24



0.625 **-0.24**



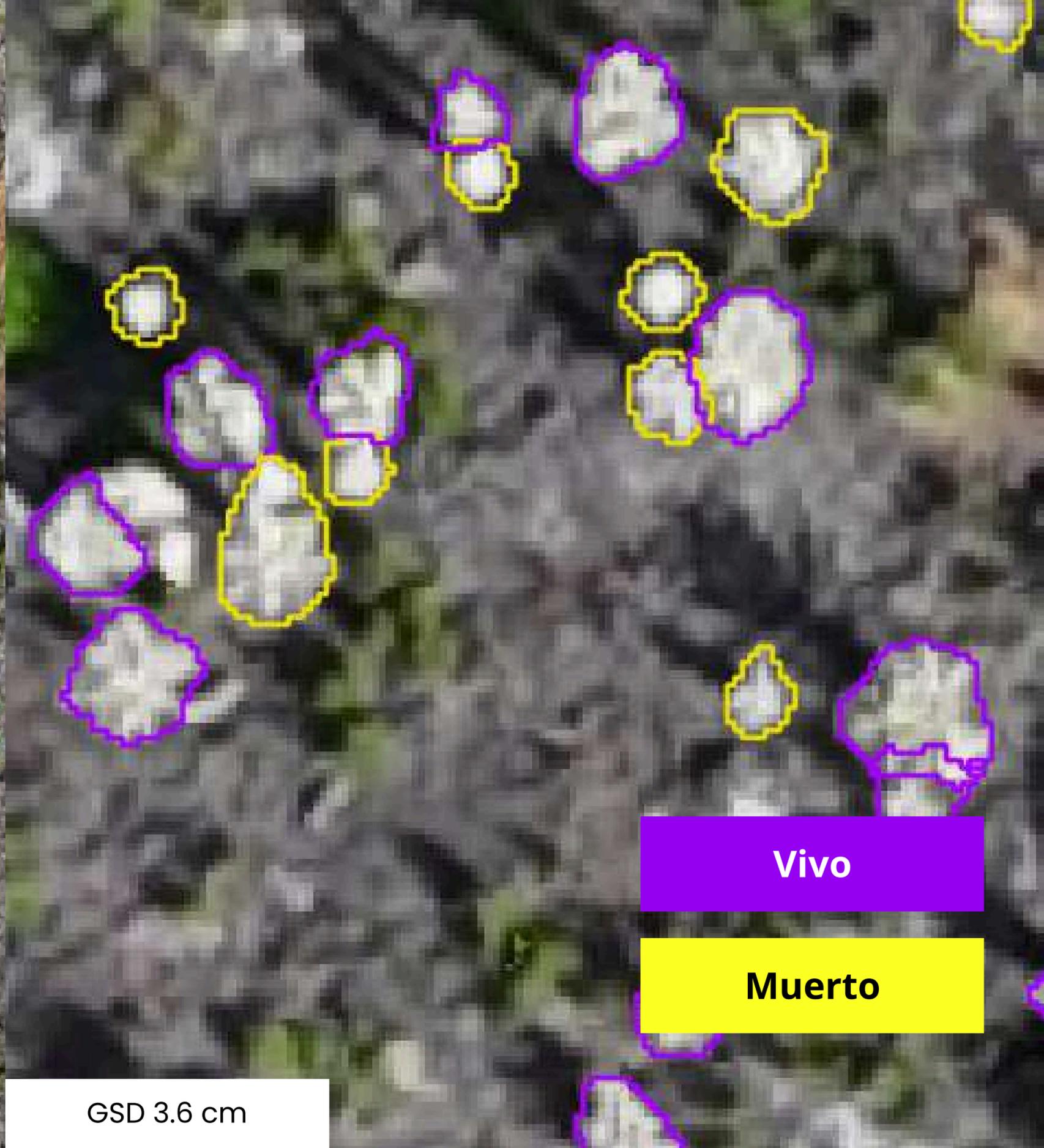
GSD 1.3 cm



GSD 3.6 cm



GSD 1.3 cm



GSD 3.6 cm

Vivo

Muerto

93.51% accuracy para la clasificación



GSD 1.3 cm

76.32% accuracy para la clasificación



Vivo

Muerto

GSD 3.6 cm

19 de diciembre de 2024



19 de diciembre de 2024

En **83 ha**

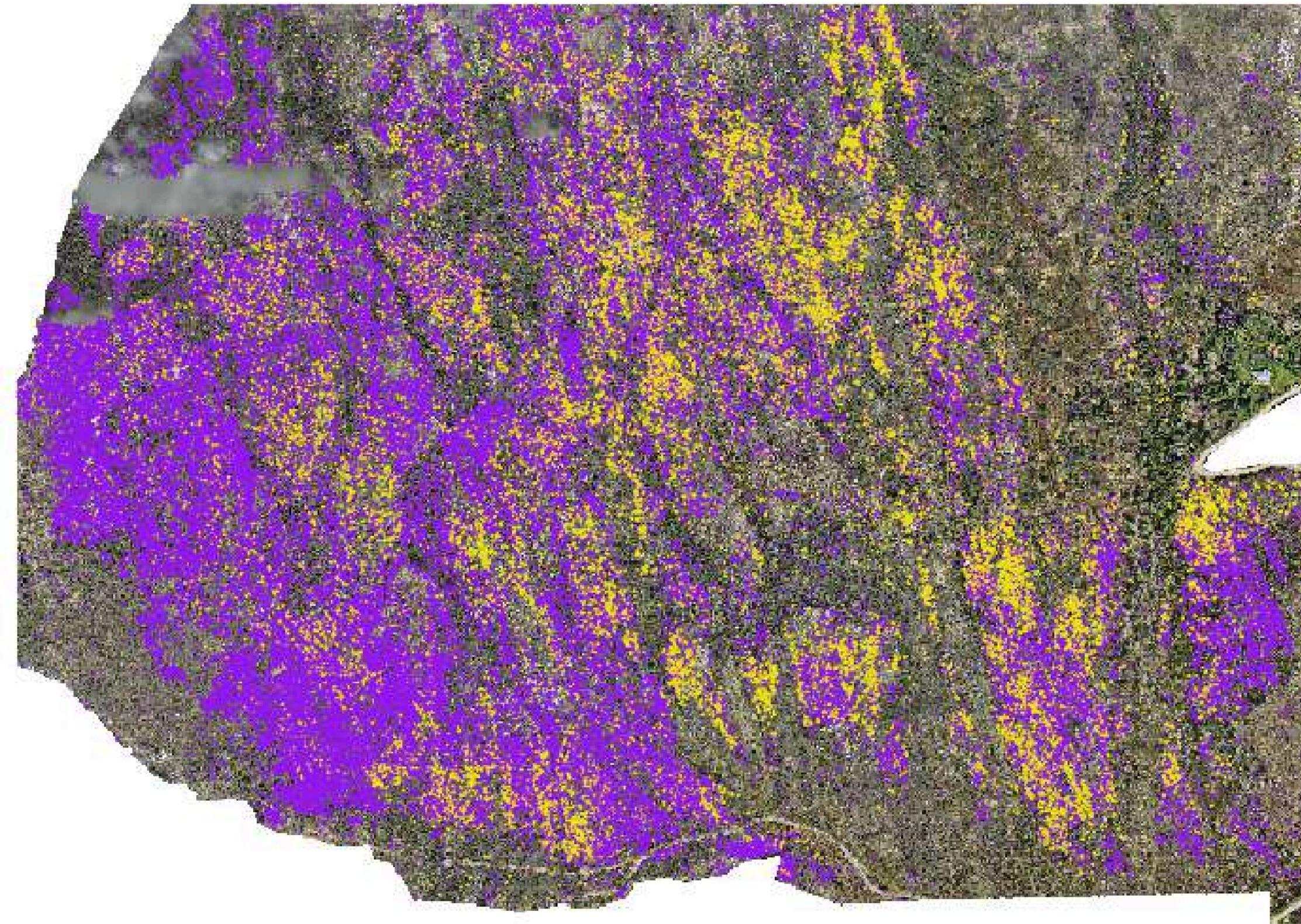
detectamos

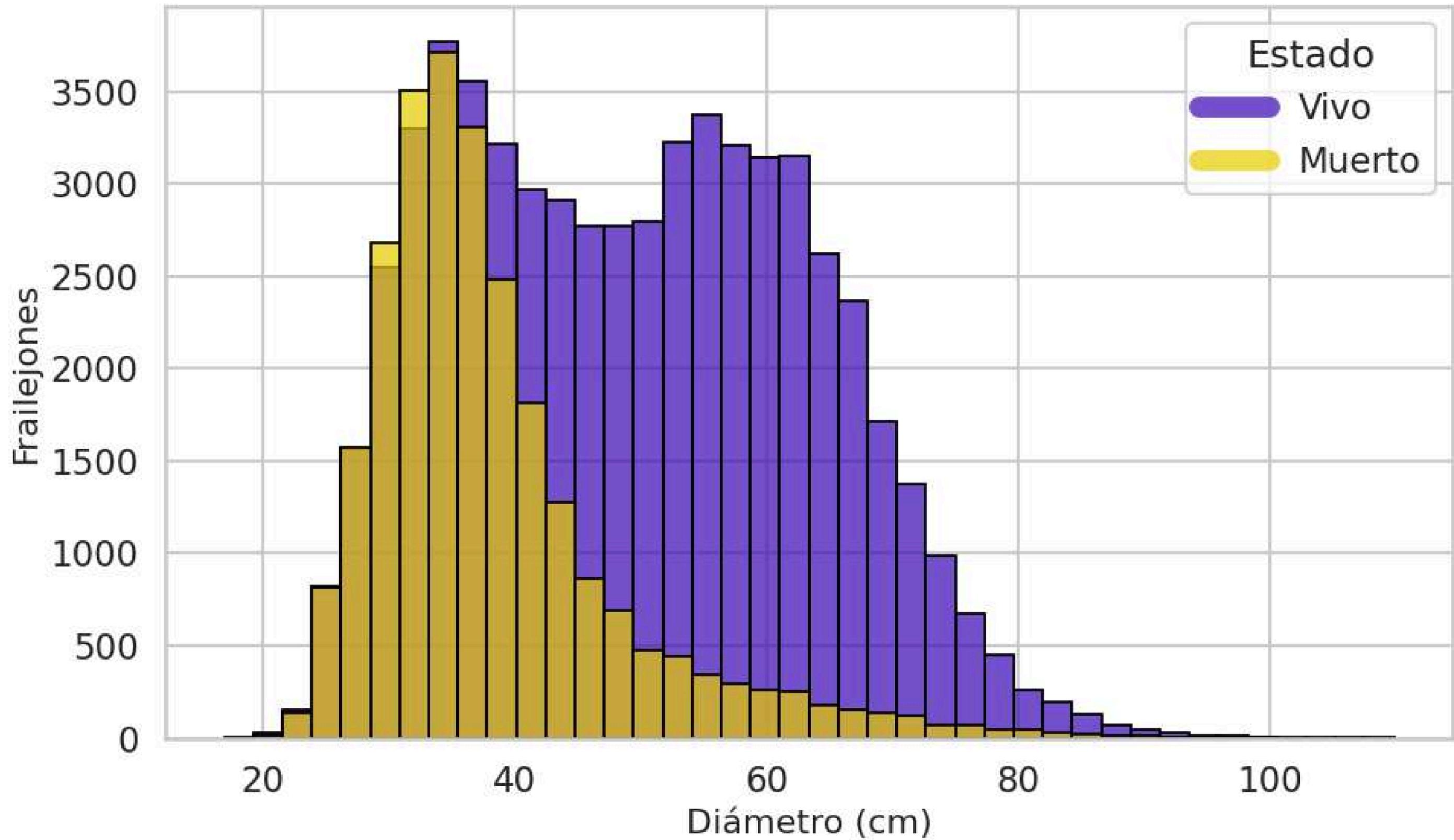
86.026
frailejones

diámetro de roseta
> 20cm

30 - 40%
Mortalidad

25.836 - 34.009
individuos muertos

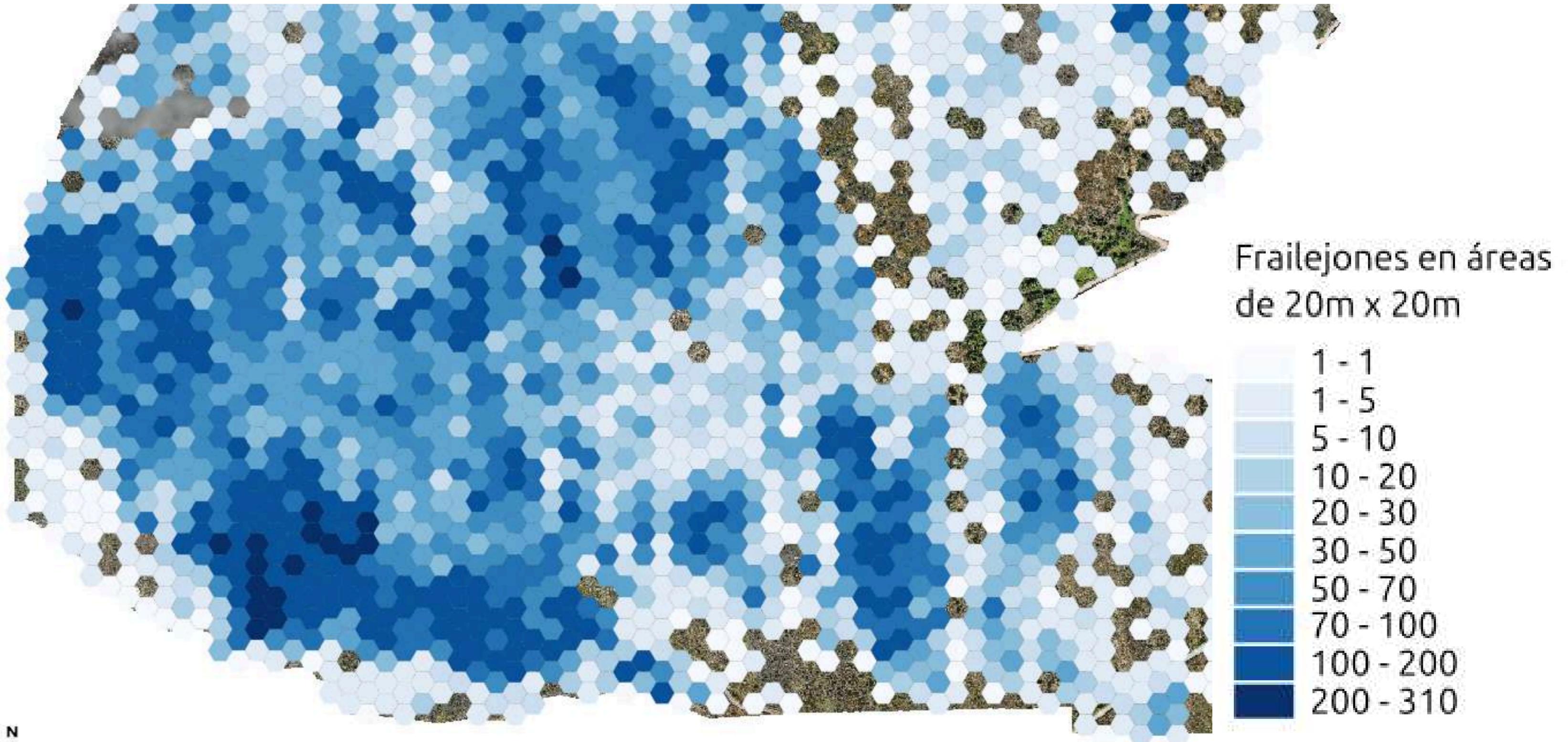




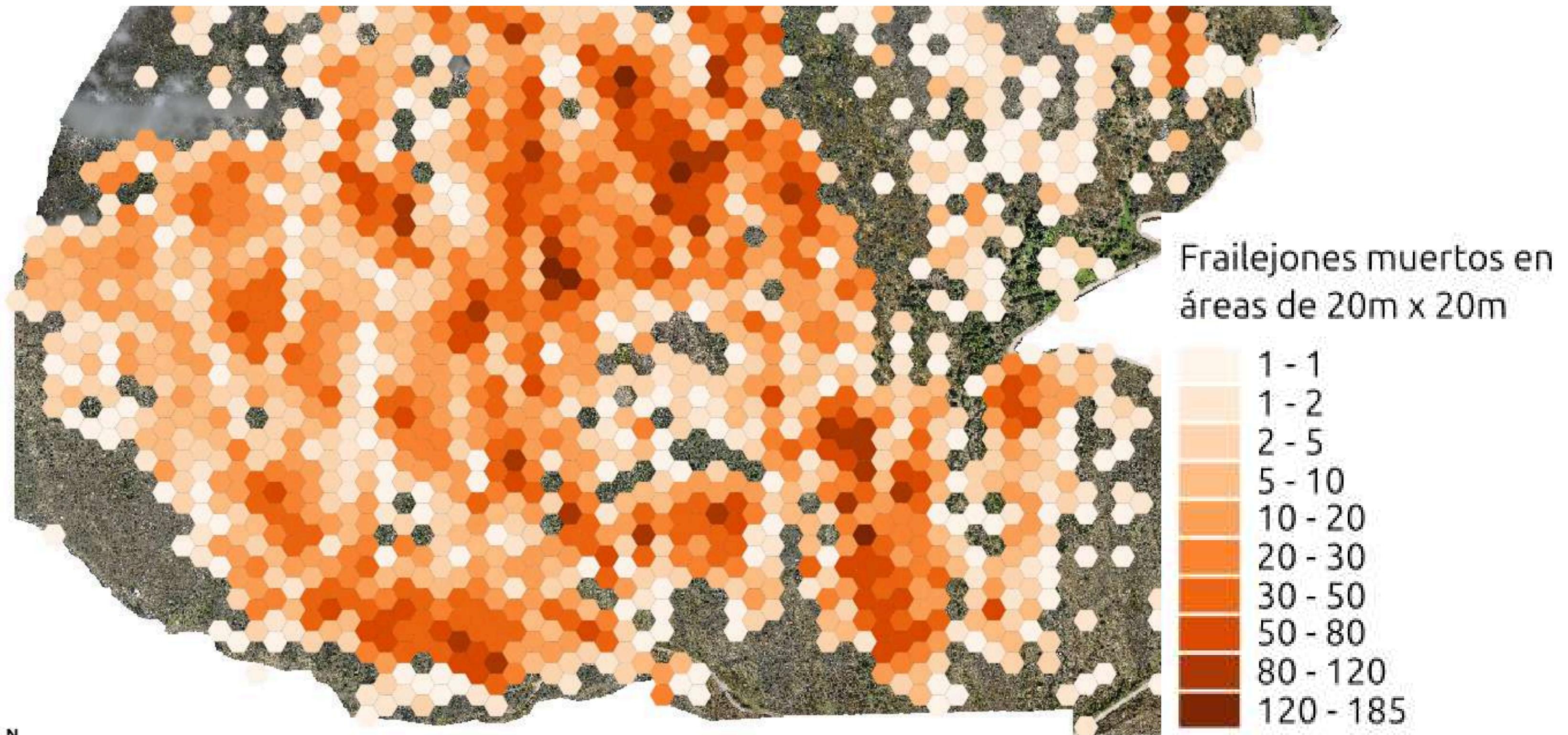
Hay un proceso de regeneración que no podemos apreciar todavía con este método
No podemos ver los frailejones más chiquitos, que solo han comenzado a crecer



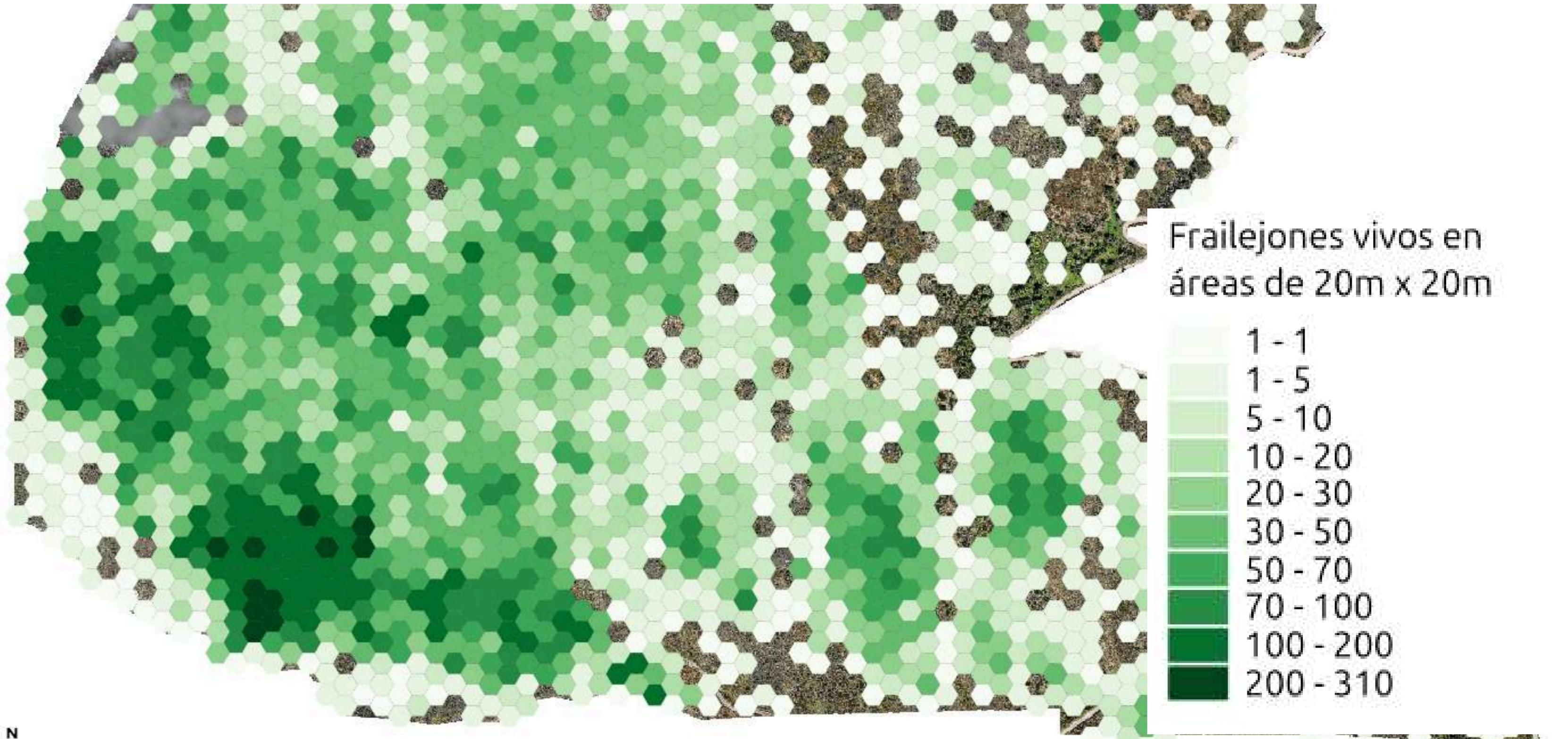
En 83 hectáreas detectamos **86.026** frailejones con diámetro de roseta superior a **20cm**
Mortalidad de 30 - 40%. Entre **25.836 - 34.009** individuos se clasificaron como muertos



En 83 hectáreas detectamos **86.026** frailejones con diámetro de roseta superior a **20cm**
Mortalidad de 30 - 40%. Entre **25.836 - 34.009** individuos se clasificaron como muertos



En 83 hectáreas detectamos **86.026** frailejones con diámetro de roseta superior a **20cm**
Mortalidad de 30 - 40%. Entre **25.836 - 34.009** individuos se clasificaron como muertos



Ahora nos podemos preguntar:

¿Cómo va a cambiar la mortalidad con el tiempo?

¿Cómo afectan las condiciones climáticas la recuperación de los frailejones?

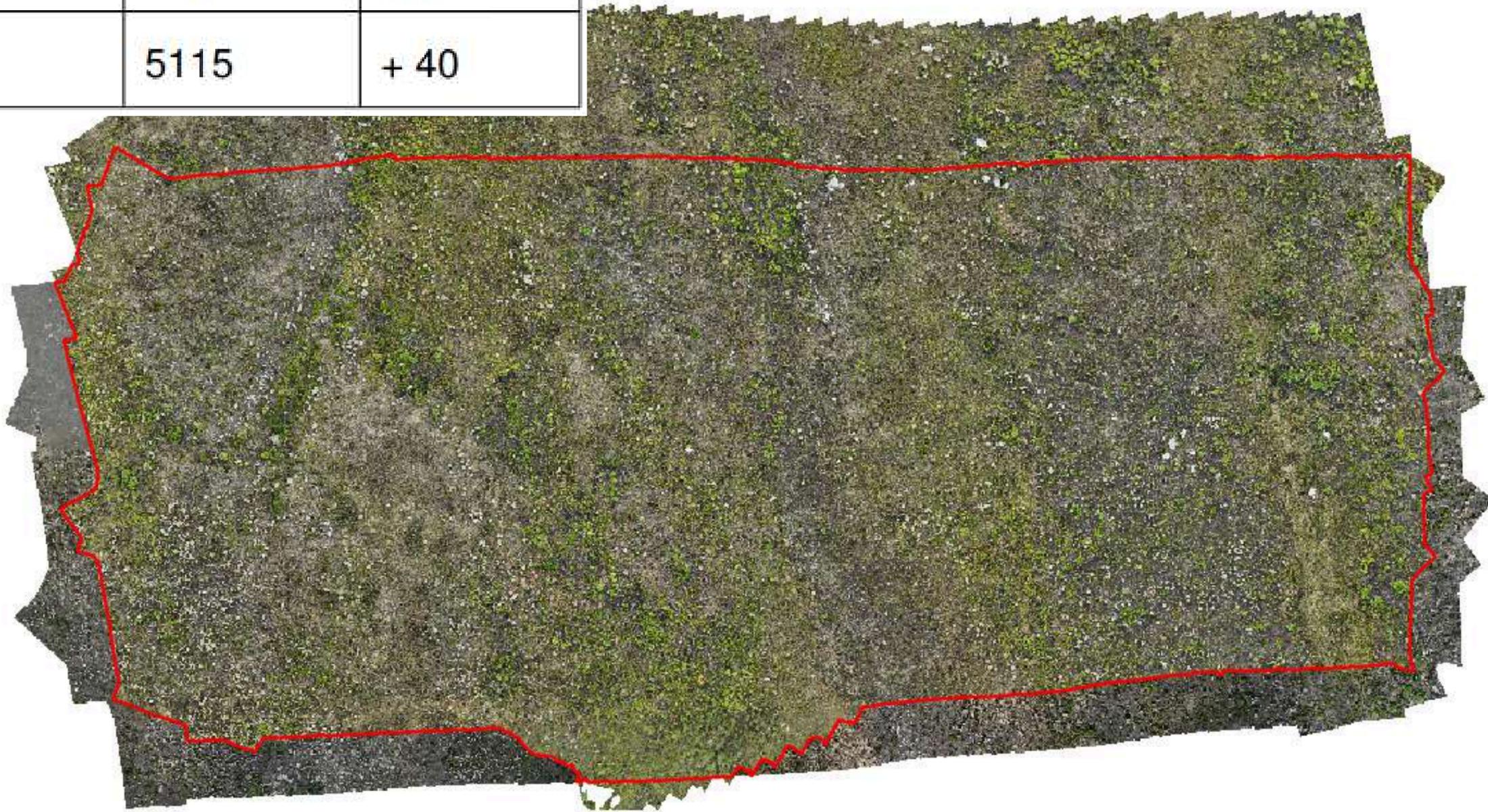
¿Hay un patrón espacial para la mortalidad?

Relacionado con:

- intensidad del fuego
- condiciones del suelo
- cobertura vegetal
- edad/altura de los individuos
- topografía del terreno
- historia del terreno
- otros?

Análisis temporal en 3 hectáreas: Diciembre 2024 - Junio 2025

Ortomosaico	Diciembre 2024	Junio 2025	Diferencia
Frailejones Vivos	3540	3800	+ 260
Frailejones Muertos	1535	1315	- 220
Total	5075	5115	+ 40



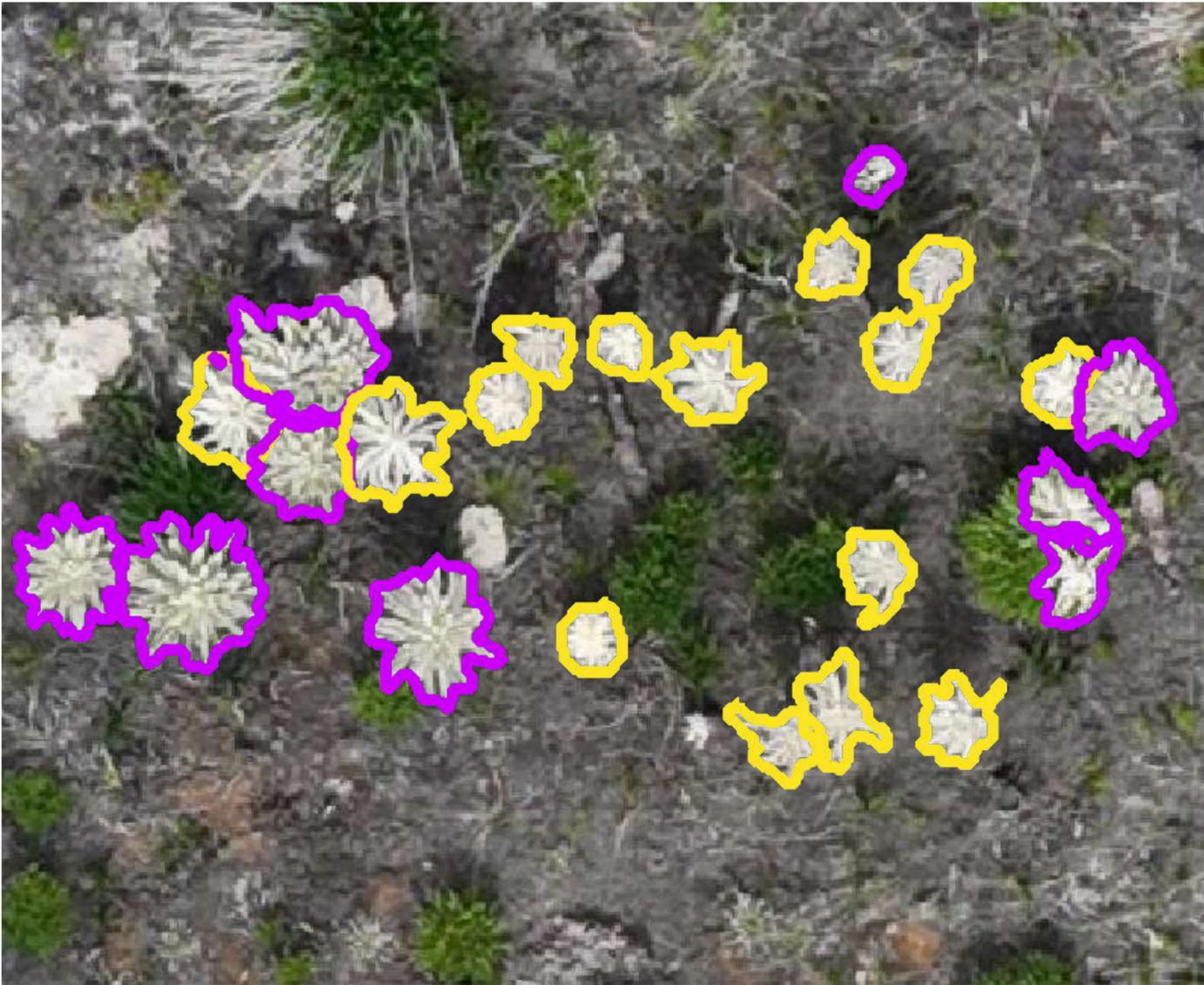
Análisis temporal en 3 hectáreas:

Frailejones vivos Frailejones muertos

Ortomosaico	Diciembre 2024	Junio 2025	Diferencia
Frailejones Vivos	3540	3800	+ 260
Frailejones Muertos	1535	1315	- 220
Total	5075	5115	+ 40

Diciembre 2024

Junio 2025



Análisis temporal en 3 hectáreas:

Frailejones vivos Frailejones muertos

Ortomosaico	Diciembre 2024	Junio 2025	Diferencia
Frailejones Vivos	3540	3800	+ 260
Frailejones Muertos	1535	1315	- 220
Total	5075	5115	+ 40

Diciembre 2024



Junio 2025



Análisis temporal en 3 hectáreas:

Frailejones vivos Frailejones muertos

Ortomosaico	Diciembre 2024	Junio 2025	Diferencia
Frailejones Vivos	3540	3800	+ 260
Frailejones Muertos	1535	1315	- 220
Total	5075	5115	+ 40

Diciembre 2024



Junio 2025



Conclusiones:

- 1 La metodología propuesta permite realizar análisis de mortalidad post-incendio de frailejones en grandes extensiones de páramo, obteniendo información de miles de individuos y **complementando eficientemente el trabajo de campo.**
- 2 **La resolución espacial es un limitante importante** para el desempeño de los modelos de detección y clasificación
- 3 Aplicando nuestro método, **entre el 30 - 40% de los frailejones murieron un año después del incendio** probablemente asociado a estrés causado por el fuego
Estos resultados no tienen en cuenta la regeneración de los frailejones

Conclusiones:

- 4 La **mortalidad de los frailejones se distribuye de forma heterogénea** en el paisaje, se necesitan realizar más estudios para comprender como se relaciona esto con otros factores ambientales.
- 5 Se necesitan desarrollar métodos adicionales para **analizar estos datos a través del tiempo.**
- 6 **Nuestro método se podría mejorar para ser aplicado a diferentes páramos con otras condiciones y otro tipo de perturbación.**