

ENTREGABLE 9: DATOS SIMULADOS PLATAFORMA HAPS

(15/11/2022)

CONTENIDO

I.	Introducción	3
II.	Tratamiento de ortomosaicos multiespectrales	3
	A. Bandas espectrales	4
	B. Índice NDVI	5
	1. Degradación NDVI	8
	2. Composiciones en falso color	18
	A. Viñedos	19
	1. Archivo Vineyard_Sequoia.tif	23
	2. Archivo Vineyard_Sequoia_2.tif	30
III.	Tratamiento de ortomosaicos multiespectrales	38
	A. Almendros	38
	1. Uso de nube de puntos.	38
	2. Uso exclusivo de ortomosaico RGB	41
	B. Viñedos	49
	1. Archivo Viña_espaldera_2.tif	49
	C. Olivares	57
	1. Archivo Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif	57
IV.	Anexo	64
	A. Almendros	64
	B. Olivares	67
	C. Viñedos	70
	1. Archivo Viña_espaldera_2.tif	70
	2. Archivo Vineyard_Sequoia.tif	73
	3. Archivo Vineyard_Sequoia_2.tif	76

I. Introducción

En el marco de la Tarea 3.2.2 Desarrollo de aplicaciones y utilidades derivadas de la simulación de vuelos de HAPS. Acciones demostrativas, este informe recoge el trabajo de FADA-CATEC a partir de los datos adquiridos tras unos vuelos con UAV realizados sobre diferentes campos de cultivo y capturados con un sensor visual RGB, una cámara multispectral y una cámara IR.

A partir de esta información, se han desarrollado distintos algoritmos que permiten hacer uso de librerías clásicas de visión por computador, para ejecutar filtros dinámicos sobre las imágenes de los datasets, y así poder determinar la densidad de vegetación en un área determinada, así como la cantidad de ramas (espacio entre hileras de cultivo) existentes en cada campo de cultivo, etc.

Durante una primera etapa, el estudio se focalizó principalmente en dos líneas: tratamiento de ortomosaicos multispectrales para varios tipos de cultivos, y tratamiento de ortomosaico RGB para cultivos de tipo almendro. En la segunda fase, el estudio se centró en el tratamiento de ortomosaicos multispectrales y RGBs para viñedos, el análisis del efecto de modificar el valor GSD de dichos ortomosaicos, y un análisis de la aportación de un ortomosaico multispectral que esté asociado a otro RGB. En la tercera etapa, se ha modificado y ampliado el rango de resoluciones para analizar la degradación de las estadísticas obtenidas al procesar las imágenes de almendros y viñedos de la anterior fase, con la inclusión de su región de cultivo. Además, se han añadido el análisis de la degradación del NDVI y el procesamiento de un olivar tradicional. A continuación, se resumen las características del tratamiento para cada cultivo, así como los resultados obtenidos.

II. Tratamiento de ortomosaicos multispectrales

A partir de los ortomosaicos multispectrales recibidos, se ha tratado de buscar una librería adecuada para poder desarrollar los algoritmos que permitan obtener características visuales relacionadas con la vegetación de los cultivos asociados. Se han tenido en cuenta los siguientes objetivos para tratar dichos ortomosaicos:

- Obtener la representación de cada una de las bandas espectrales asociadas a cada ortomosaico proporcionado.
- Calcular el índice NDVI para cada uno de los ortomosaicos y analizar la degradación de éste al aumentar el valor de GSD (Ground Sample Distance).
- Obtener nuevas composiciones “en falso color” como resultado del tratamiento de cada ortomosaico a partir de sus bandas espectrales para una adecuada visualización del ortomosaico.

 **COMPETITIVIDAD**

- Procesar los distintos tipos de cultivo disponibles para obtener las correspondientes estadísticas y analizar la degradación de éstas conforme se reduce la resolución del ortomosaico.

A. Bandas espectrales

Los ortomosaicos multispectrales se han generado a partir del procesamiento de colecciones de imágenes adquiridas con cámaras diferentes, una pertenece a la familia Micasense, y la otra a la familia Parrot Sequoia. Para obtener las bandas multispectrales se ha ejecutado un proceso diferente según el tipo de cámara. Es necesario considerar las siguientes observaciones:

- El orden de las bandas en las imágenes generadas con Micasense Dual según [esta web](#) sería el siguiente: Blue-444, Blue-475, Green-531, Green-560, Red-650, Red-668, RedEdge-705, RedEdge-717, RedEdge740 y NearInfraRed-842.
- El orden de las bandas en las imágenes generadas con Parrot Sequoia puede verse en la página 5 de [este manual](#) y sería el siguiente: Green-550, Red-660, RedEdge-735 y NearInfraRed-790.
- El tratamiento de imágenes se ha realizado con la librería [rasterio](#)
- Con la librería de OpenCV se pueden tratar las imágenes de la cámara Parrot Sequoia (4 bandas) pero no las de la Micasense Dual (10 bandas) porque admite como mucho 4 canales.

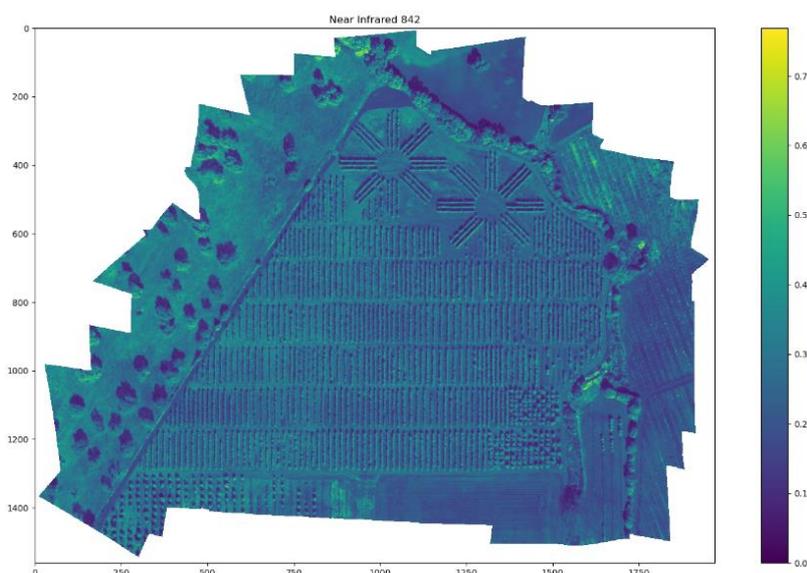


Ilustración 1. Imagen banda espectral Micasense

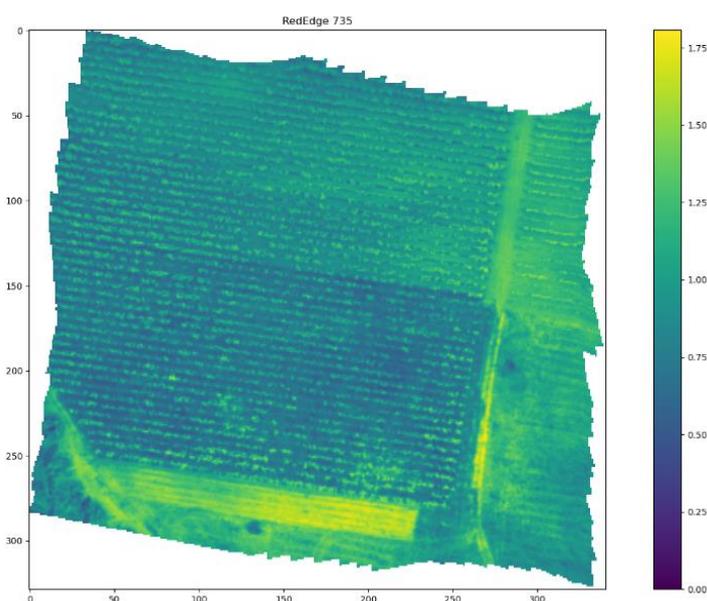


Ilustración 2. Imagen banda espectral Sequoia

En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el tratamiento a través de la librería rasterio para obtener todas y cada una de las bandas multiespectrales de cada uno de los ortomosaicos. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / Bandas”**.

B. Índice NDVI

A modo de resumen, el NDVI es un índice que estima la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en base a los valores de reflectancia de la banda roja y la cercana a infrarroja y cuyos valores fluctúan entre -1 y 1 . Los valores negativos indican nubes o agua, valores positivos cercanos al cero indican suelo descubierto, valores hasta 0.5 indican vegetación escasa o pobre y finalmente valores desde 0.6 hasta 1 indican vegetación densa y verde (sana).

El NDVI permite también estimar las etapas de cosechas y su crecimiento, así como observar el efecto de los períodos de sequía durante la temporada de cultivo, ya que mide la biomasa fotosintéticamente activa de las plantas. La clorofila es un pigmento de las hojas de los árboles que absorbe grandes cantidades de luz del espectro visible para la fotosíntesis mientras que la estructura celular de las hojas refleja luz cercana a infrarroja. Cuanto mayor sea la diferencia entre la radiación reflejada de las bandas de la luz cercana a infrarroja y la luz visible, más densa y sana será la vegetación (bosques, selvas...), por el contrario, si la diferencia es pequeña la vegetación será escasa o poco sana (desiertos, tundra, praderas...).

Uno de los aspectos a tener en cuenta al calcular el NDVI es su gran sensibilidad a la luminosidad del suelo y a los efectos atmosféricos, por lo cual conviene usarlo en la fase

de crecimiento activo de los cultivos y evitar hacerlo cuando la vegetación o la cubierta vegetal sea demasiado escasa puesto que la reflectancia espectral es demasiado baja. Es necesario atender lo siguiente:

- El mapa de color se ha escogido siguiendo [esta web](#) en la que la escala más moderna proporciona una mayor claridad visual de los resultados.
- NDVI: breve descripción en la página 13 de [esta memoria](#) y en la página 14 una representación gráfica, descripción más detallada incluyendo significado de algunos rangos de valores y fórmula en [esta web](#), definición por un departamento de la [NASA](#), definiciones, fórmulas y otras indicaciones para el NDVI y otros índices en esta [web](#).

NDVI computation with Micasense Dual
for Olivar_Micasense_Dual.tif

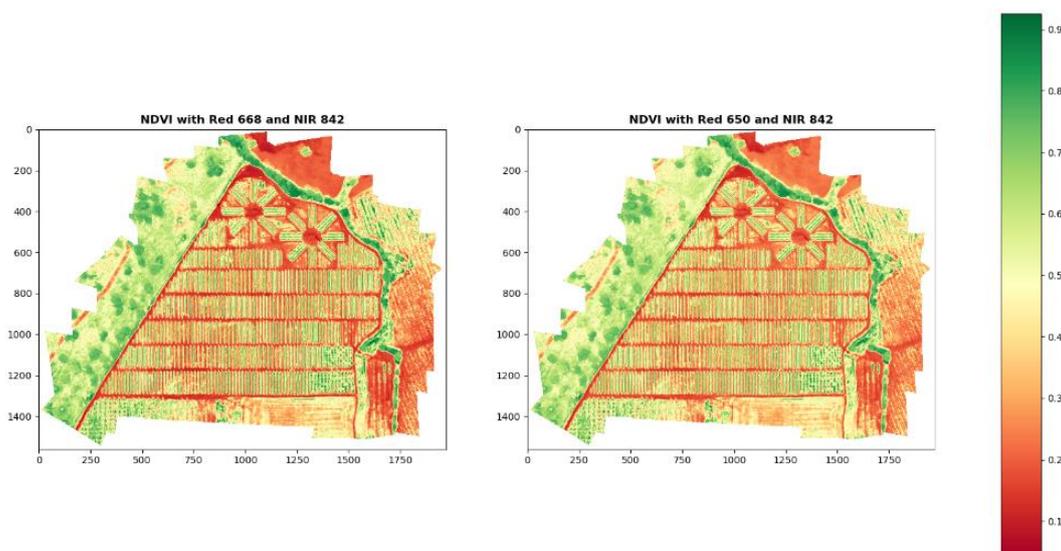


Ilustración 3. Imagen de cálculo de NDVI

En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el filtro NDVI y la composición de colores comentada anteriormente. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / NDVI_ortomosaicos”**.

A continuación, se ofrece una tabla con algunas estadísticas obtenidas de calcular el NDVI para cada ortomosaico proporcionado, así como porcentajes de vegetación mediante unos valores umbrales a partir del propio índice NDVI.

Archivo	Bandas	Media	Mín	Máx	Umbral	Media tras umbral	Vegetación (%)
---------	--------	-------	-----	-----	--------	-------------------	----------------

Olivar_Micasense_Dual.tif	Red 668 y NIR 842	0.4353	0.0412	0.9252	0.55	0.6862	34.325
Olivar_Micasense_Dual.tif	Red 650 y NIR 842	0.4406	0.0574	0.9134	0.55	0.6761	33.687
Olivar_Sequoia.tif	Red 660 y NIR 790	0.1187	- 0.5763	1.0	0.35	0.5042	17.332
Olivar_Sequoia_2.tif	Red 660 y NIR 790	0.2257	-1.0	1.0	0.4	0.5490	22.051
Vineyard_Sequoia.tif	Red 660 y NIR 790	0.2118	- 0.1628	0.8395	0.4	0.5841	18.462
Vineyard_Sequoia_2.tif	Red 660 y NIR 790	0.3866	- 0.0117	0.8999	0.5	0.7132	24.962

Tabla 1. Resultados NDVI y Vegetación

Para la imagen dual, el uso de la banda Red668 frente a la Red650 supone obtener unos valores de NDVI ligeramente superiores, esto se debe a que, según la imagen del espectro de reflectancia, la vegetación más sana tiene unos valores de reflectancia para la Red 668 ligeramente inferiores que la Red 650, provocando que la diferencia entre la banda NIR y la banda RED sea superior y por tanto también lo sea el NDVI.

$$\text{Nota: } NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

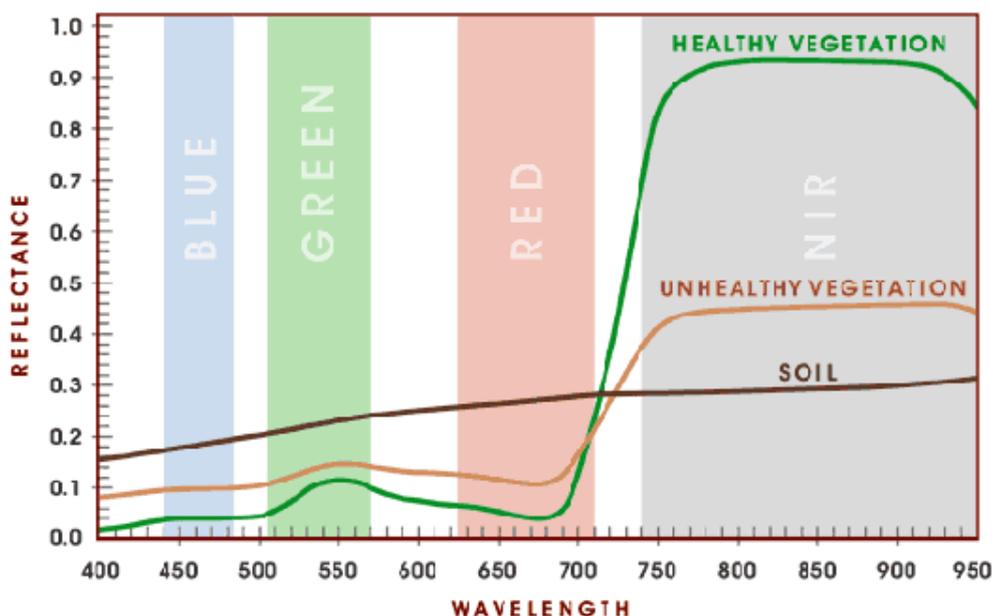


Ilustración 4. Gráfica valores de vegetación

1. Degradación NDVI

Se ha analizado también la degradación de las estadísticas de los NDVIs calculados conforme se reduce la resolución de los ortomosaicos. Dichos resultados están recogidos en las siguientes tablas y gráficas.

a) *Olivar_Micasense_Dual.tif*

GSD (m/pix)	Media	Mín	Máx	Mediana	Desv. Típica	Media tras umbral	Vegetación (%)
0.0753	0.3966	-0.0805	0.9231	0.3045	0.2232	0.7211	27.205
0.10	0.3963	0.0105	0.9186	0.3038	0.2220	0.7200	27.121
0.15	0.3961	0.0328	0.9100	0.3044	0.2208	0.7182	27.099
0.20	0.3960	0.0374	0.9040	0.3050	0.2200	0.7171	27.068
0.25	0.3959	0.0416	0.9017	0.3057	0.2191	0.7156	27.071
0.30	0.3955	0.0469	0.8956	0.3083	0.2163	0.7106	27.059
0.35	0.3957	0.0479	0.8858	0.3095	0.2154	0.7095	27.011
0.40	0.3954	0.0494	0.8790	0.3104	0.2144	0.7076	27.005
0.45	0.3953	0.0581	0.8813	0.3116	0.2134	0.7059	26.965
0.50	0.3953	0.0518	0.8773	0.3128	0.2123	0.7042	26.907
1.00	0.3928	0.0654	0.8540	0.3370	0.1919	0.6733	25.169
2.50	0.3854	0.1021	0.8124	0.3947	0.1241	0.6052	8.261
5.00	0.3843	0.1197	0.7804	0.3914	0.1065	0.6082	5.559
10.0	0.3859	0.1474	0.7619	0.3813	0.0857	0.6144	3.987

Tabla 2. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Olivar_Micasense_Dual.tif*

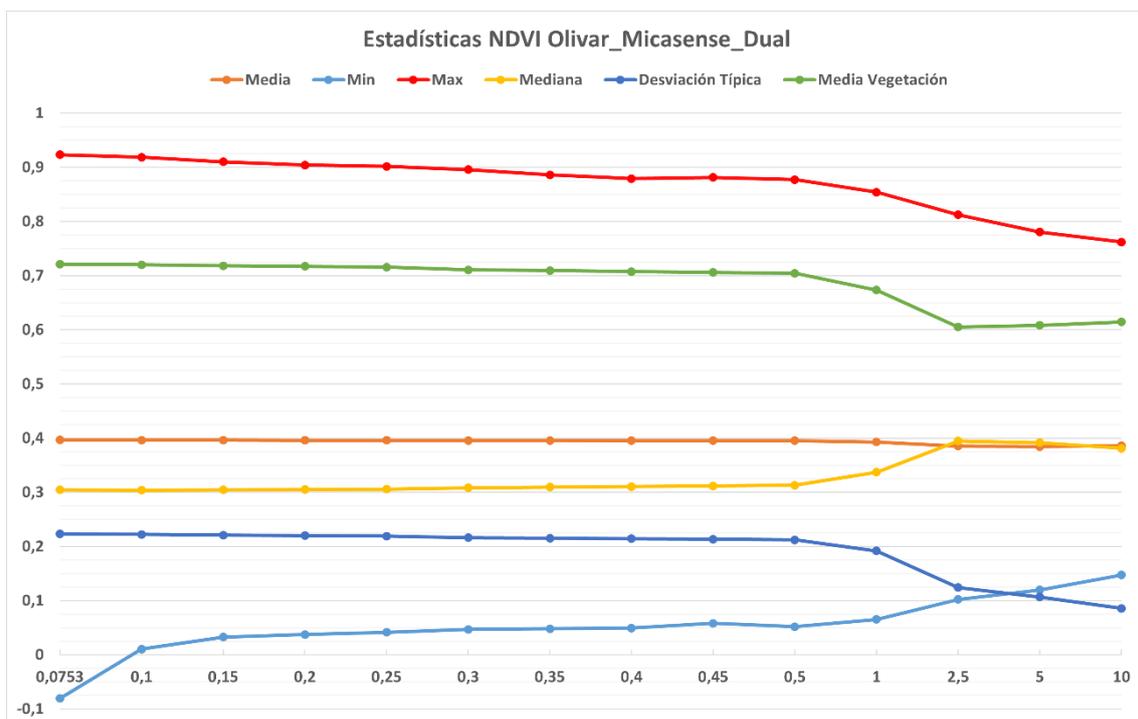


Ilustración 5. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Olivar_Micasense_Dual.tif*

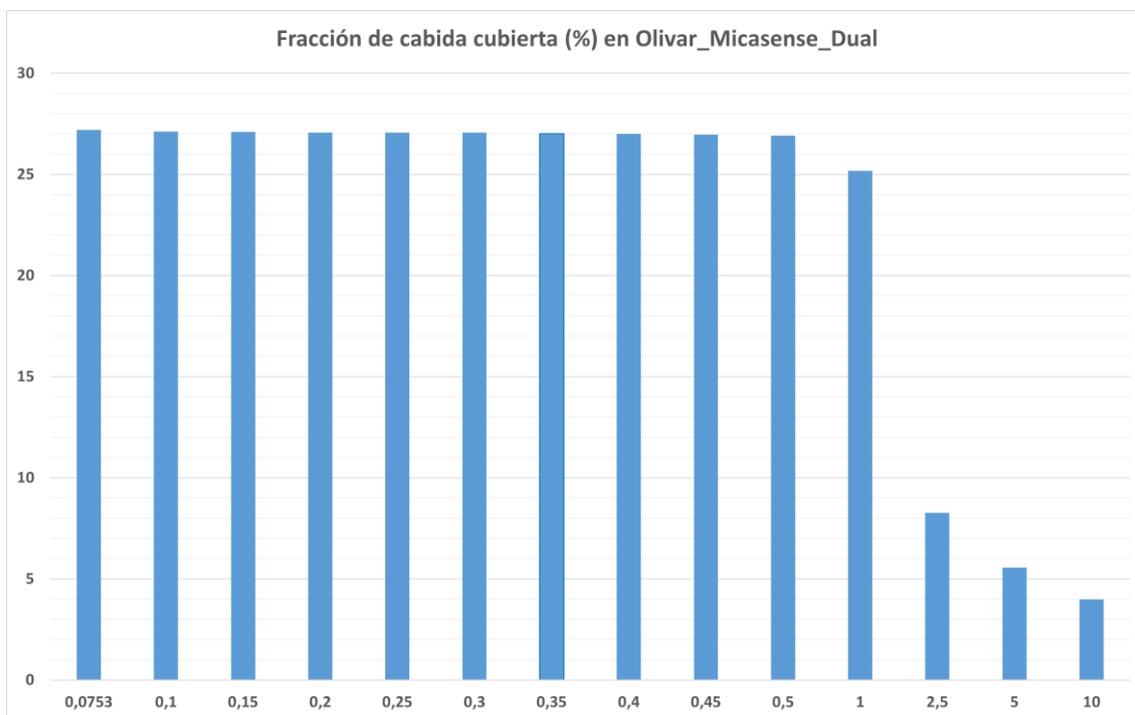


Ilustración 6. Fracción de cabida cubierta obtenida tras la degradación del NDVI de Olivar_Micasense_Dual.tif

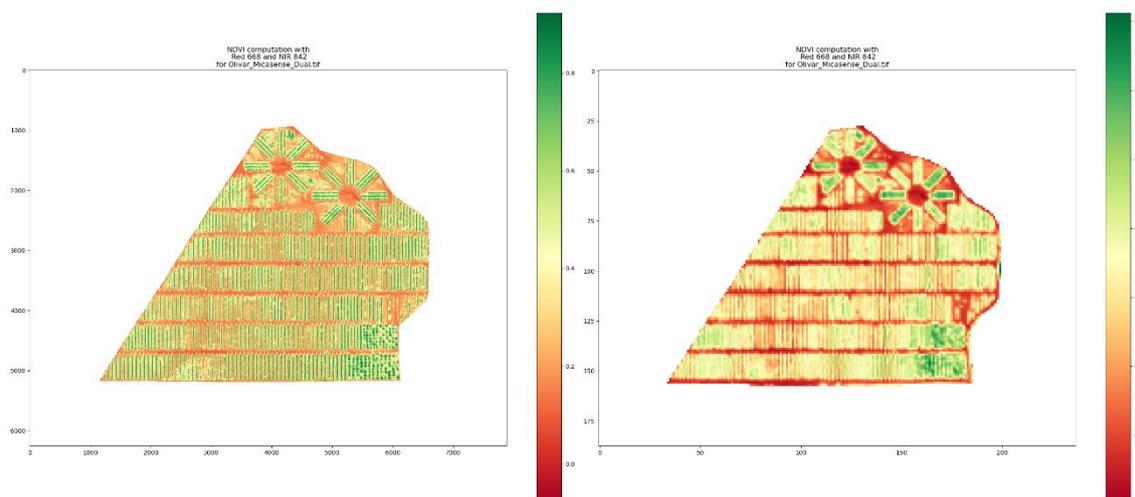


Ilustración 7. Degradación del NDVI de Olivar_Micasense_Dual.tif (GSD original izquierda y 2.5 GSD derecha)

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el NDVI en el resto de valores de GSD contemplados. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / Olivar_Dual”**.

b) *Olivar_Sequoia.tif*

GSD (m/pix)	Media	Mín	Máx	Mediana	Desv. Típica	Media tras umbral	Vegetación (%)
0.0718	0.1261	-1.0	1.0	0.0248	0.2075	0.5066	18.896
0.10	0.1260	-1.0	1.0	0.0232	0.2055	0.5044	18.768
0.15	0.1258	-1.0	1.0	0.0232	0.2038	0.5019	18.647
0.20	0.1257	-1.0	1.0	0.0234	0.2028	0.5002	18.578
0.25	0.1252	-0.5692	1.0	0.0254	0.1989	0.4931	18.283
0.30	0.1252	-0.4835	1.0	0.0255	0.1986	0.4928	18.253
0.35	0.1250	-0.3134	1.0	0.0262	0.1977	0.4909	18.199
0.40	0.1249	-0.2402	1.0	0.0267	0.1967	0.4891	18.121
0.45	0.1248	-0.2087	0.9960	0.0275	0.1957	0.4874	18.011
0.50	0.1240	-0.1585	0.9286	0.0329	0.1888	0.4753	17.289
1.00	0.1223	-0.1502	0.8065	0.0531	0.1671	0.4439	14.025
2.50	0.1191	-0.1506	0.7646	0.0917	0.1221	0.4161	4.817
5.00	0.1169	-0.0858	0.6564	0.1101	0.0777	0.4553	1.119
10.0	0.1158	-0.0770	0.5569	0.1136	0.0663	0.4272	0.881

Tabla 3. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Olivar_Sequoia.tif*

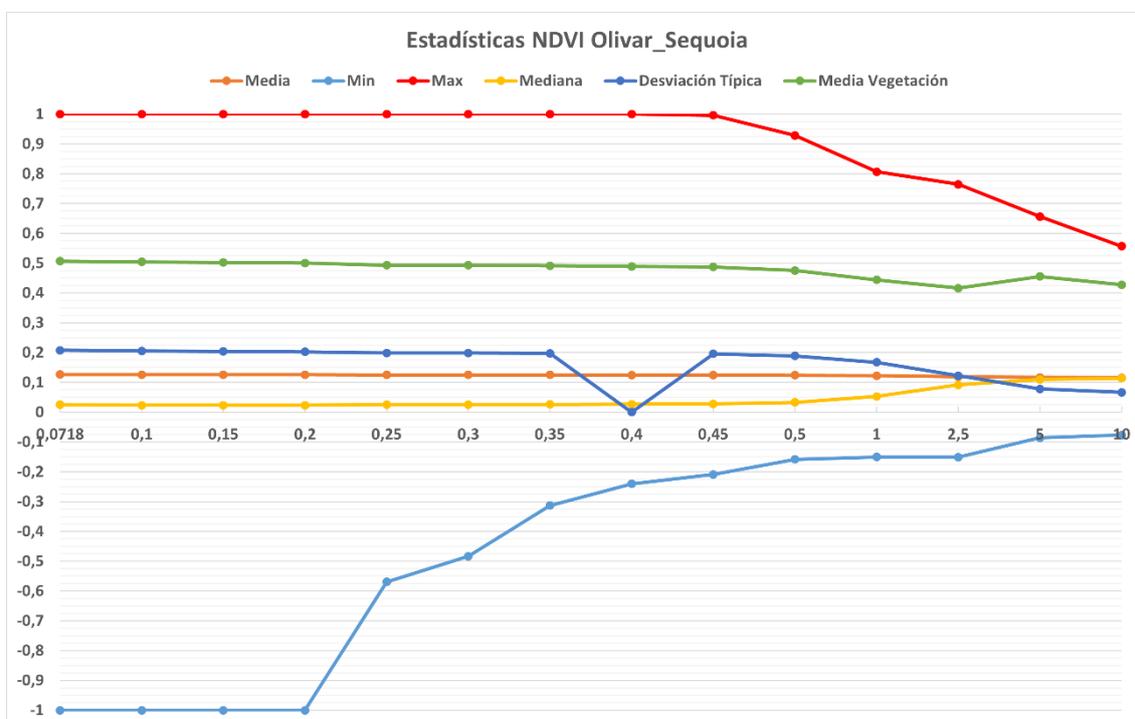


Ilustración 8. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Olivar_Sequoia.tif*

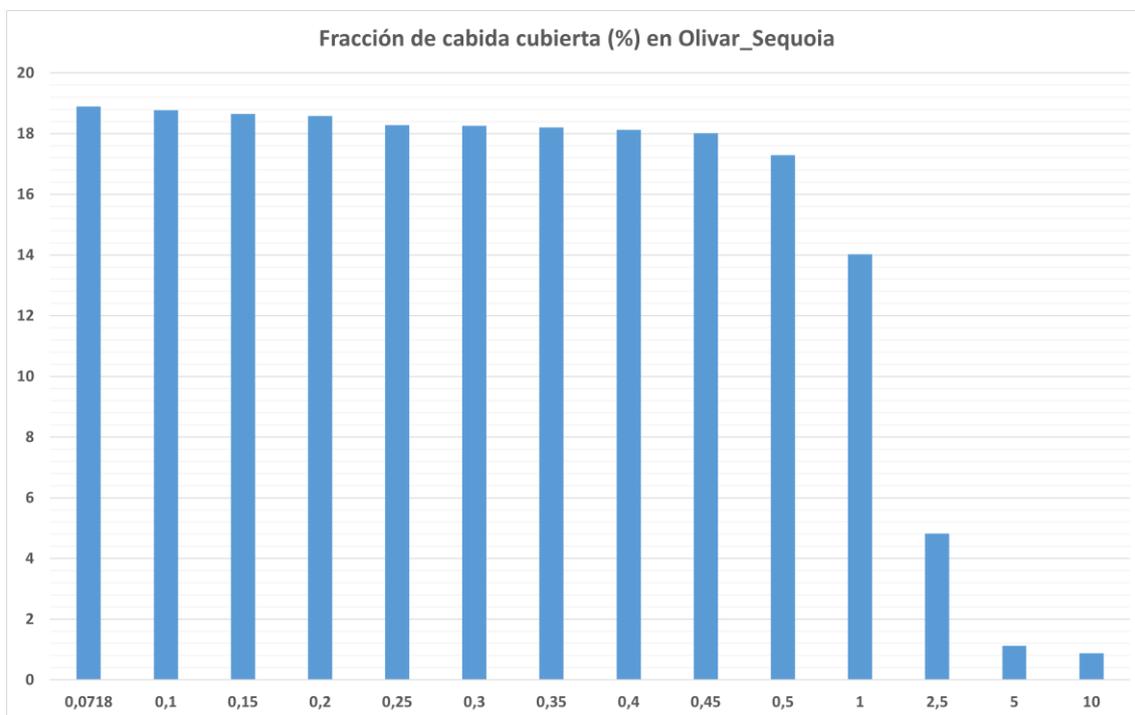


Ilustración 9. Fracción de cabida cubierta obtenida tras la degradación del NDVI de Olivar_Sequoia.tif

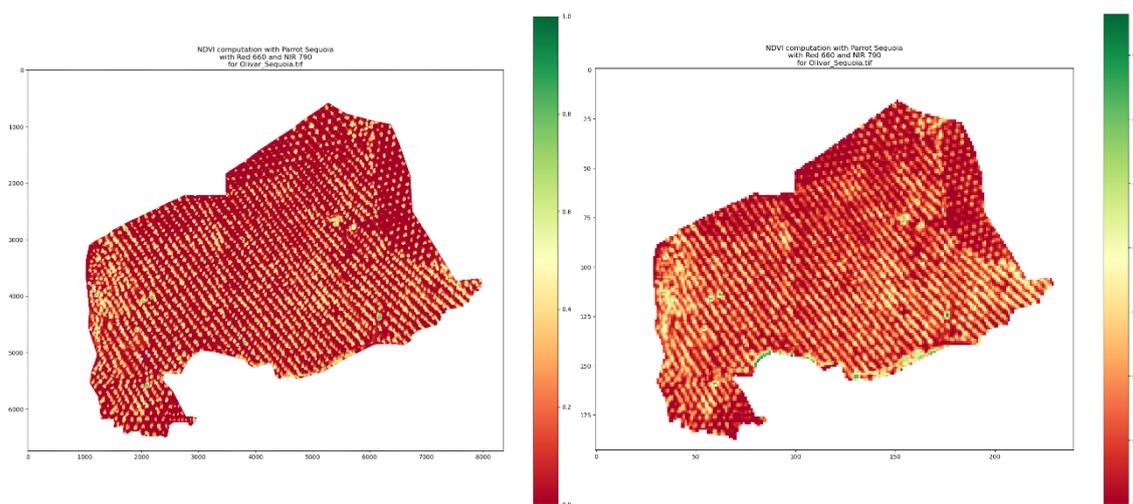


Ilustración 10. Degradación del NDVI de Olivar_Sequoia.tif (GSD original izquierda y 2.5 GSD derecha)

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el NDVI en el resto de valores de GSD contemplados. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / Olivar_Sequoia”**.

c) *Olivar_Sequoia_2.tif*

GSD (m/pix)	Media	Mín	Máx	Mediana	Desv. Típica	Media tras umbral	Vegetación (%)
0.0575	0.2930	-1.0	1.0	0.2590	0.2170	0.5646	31.411
0.10	0.2923	-1.0	1.0	0.2600	0.2088	0.5581	30.522
0.15	0.2921	-1.0	1.0	0.2602	0.2068	0.5564	30.297
0.20	0.2918	-0.4159	1.0	0.2612	0.1992	0.5496	29.538
0.25	0.2916	-0.2426	1.0	0.2613	0.1986	0.5489	29.447
0.30	0.2914	-0.1170	1.0	0.2612	0.1968	0.5471	29.271
0.35	0.2913	-0.1141	0.9999	0.2615	0.1950	0.5453	29.115
0.40	0.2907	-0.1083	0.9848	0.2628	0.1862	0.5358	28.340
0.45	0.2906	-0.1101	0.9930	0.2629	0.1862	0.5358	28.329
0.50	0.2902	-0.1049	0.9918	0.2627	0.1852	0.5346	28.179
1.00	0.2877	-0.0857	0.8682	0.2691	0.1642	0.5084	26.022
2.50	0.2892	-0.0749	0.7869	0.2880	0.1293	0.4685	20.806
5.00	0.2899	-0.0349	0.6604	0.2872	0.1059	0.4485	16.213
10.0	0.2827	0.0175	0.5547	0.2817	0.0972	0.4372	13.479

Tabla 4. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Olivar_Sequoia_2.tif*

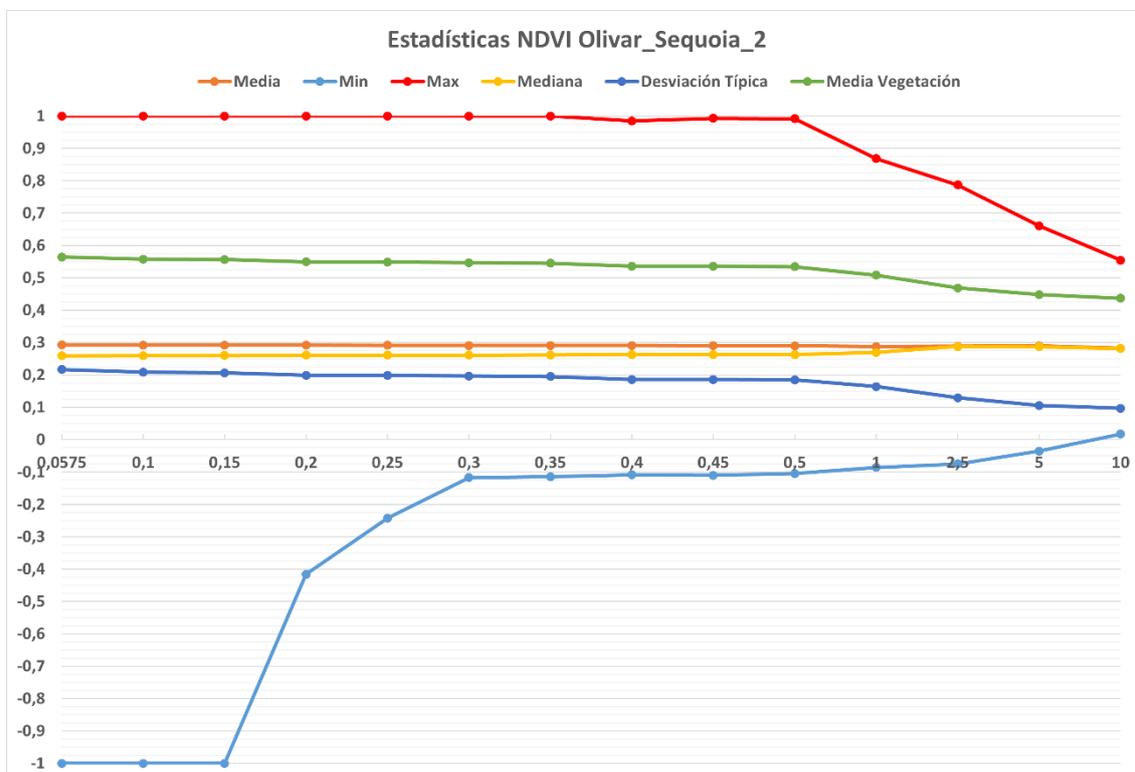


Ilustración 11. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Olivar_Sequoia_2.tif*

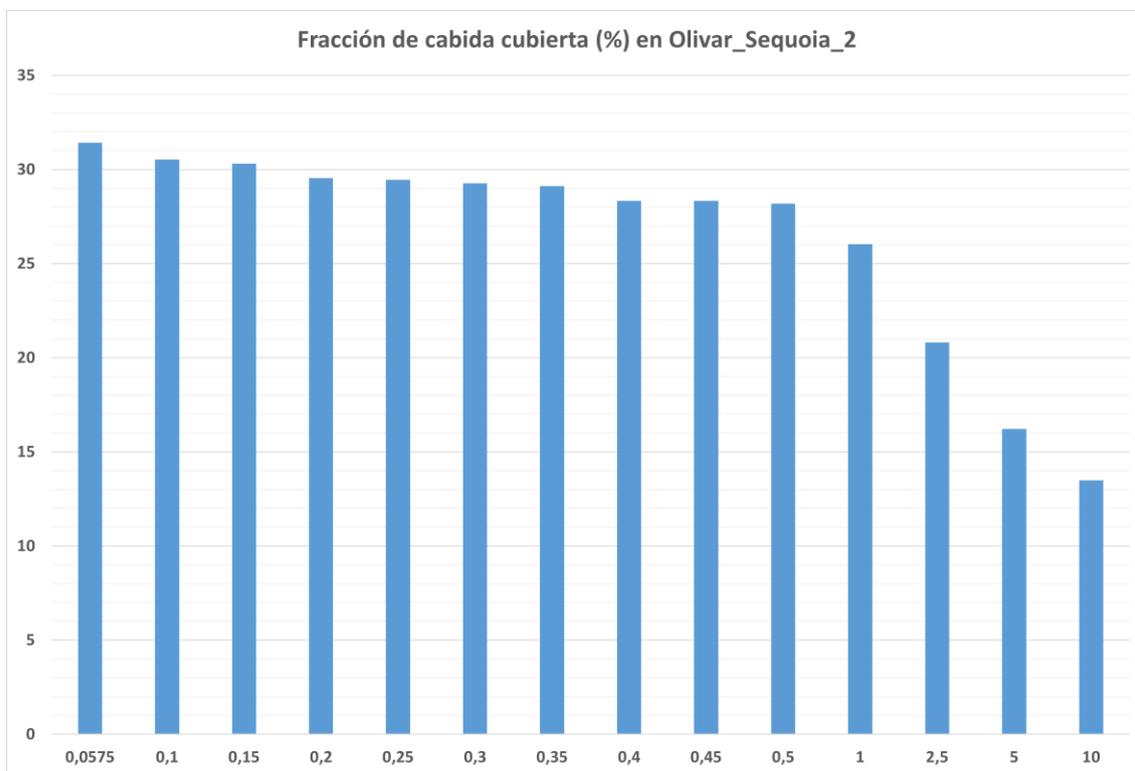


Ilustración 12. Fracción de cabida cubierta obtenida tras la degradación del NDVI de Olivar_Sequoia_2.tif

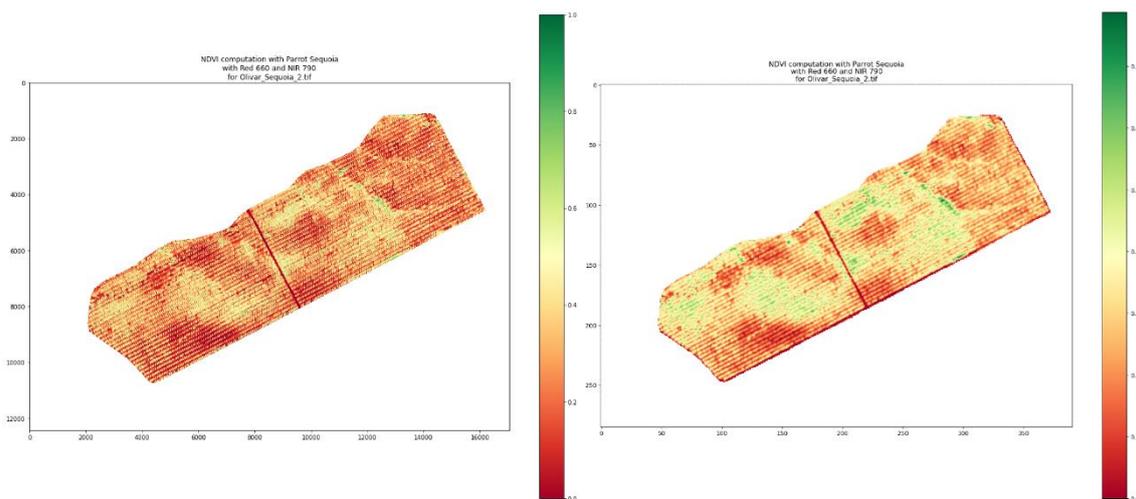


Ilustración 13. Degradación del NDVI de Olivar_Sequoia_2.tif (GSD original izquierda y 2.5 GSD derecha)

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el NDVI en el resto de valores de GSD contemplados. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / Olivar_Sequoia_2”**.

d) *Vineyard_Sequoia.tif*

GSD (m/pix)	Media	Mín	Máx	Mediana	Desv. Típica	Media tras umbral	Vegetación (%)
0.0	0.2680	-0.2125	0.8764	0.2168	0.2270	0.6268	22.986
0.10	0.2693	-0.1813	0.8536	0.2221	0.2211	0.6119	23.535
0.15	0.2704	-0.1678	0.8409	0.2255	0.2166	0.6002	23.996
0.20	0.2712	-0.1613	0.8388	0.2286	0.2121	0.5887	24.422
0.25	0.2721	-0.1500	0.8294	0.2316	0.2077	0.5790	24.670
0.30	0.2724	-0.1228	0.8281	0.2343	0.2033	0.5698	24.819
0.35	0.2730	-0.1367	0.8230	0.2366	0.1991	0.5615	24.901
0.40	0.2733	-0.1171	0.8140	0.2394	0.1948	0.5532	24.937
0.45	0.2736	-0.0950	0.8129	0.2419	0.1908	0.5459	24.909
0.50	0.2725	-0.0914	0.8121	0.2436	0.1870	0.5390	24.631
1.00	0.2728	-0.0956	0.7064	0.2678	0.1494	0.4871	20.403
2.50	0.2608	-0.0907	0.5498	0.2763	0.1172	0.4376	9.927
5.00	0.2535	-0.0754	0.4735	0.2733	0.1106	0.4324	3.559
10.0	0.2236	-0.0055	0.4134	0.2400	0.1130	0.4086	2.597

Tabla 5. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Vineyard_Sequoia.tif*

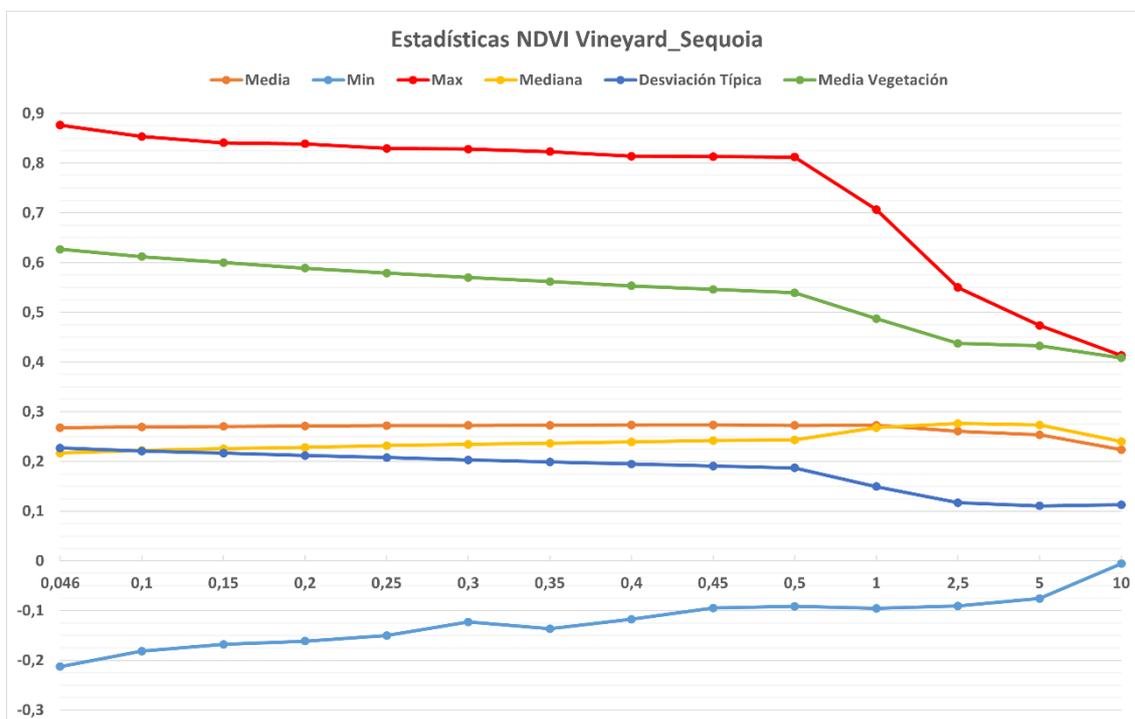


Ilustración 14. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Vineyard_Sequoia.tif*

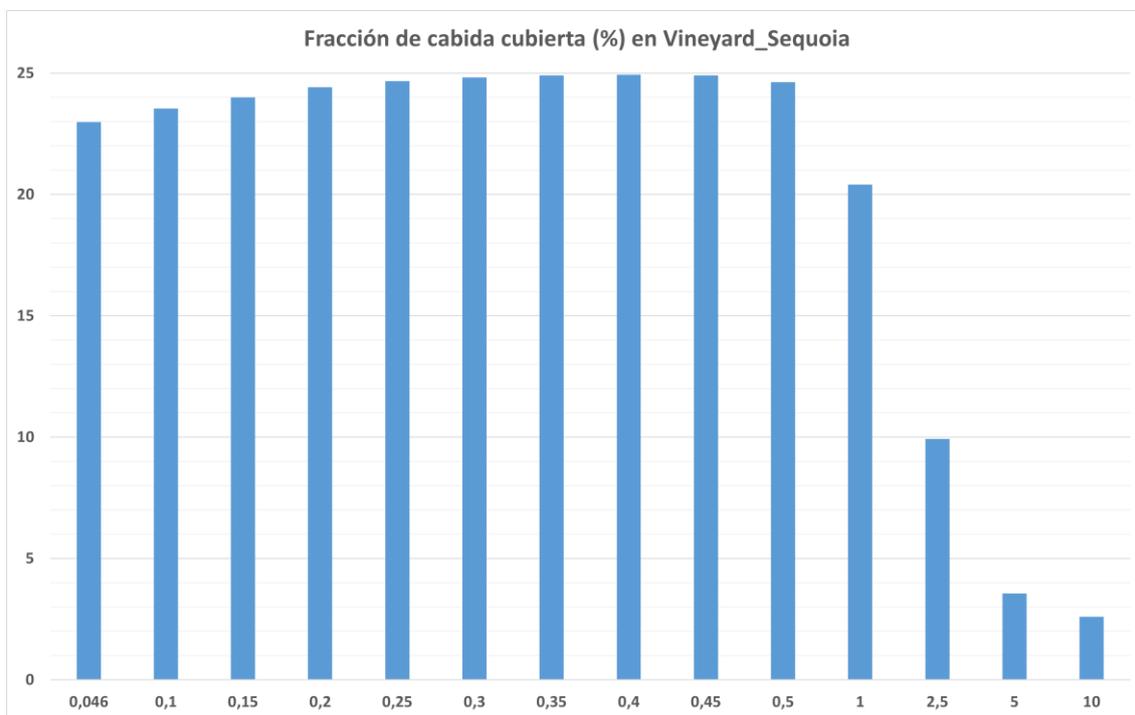


Ilustración 15. Fracción de cabida cubierta obtenida tras la degradación del NDVI de Vineyard_Sequoia.tif

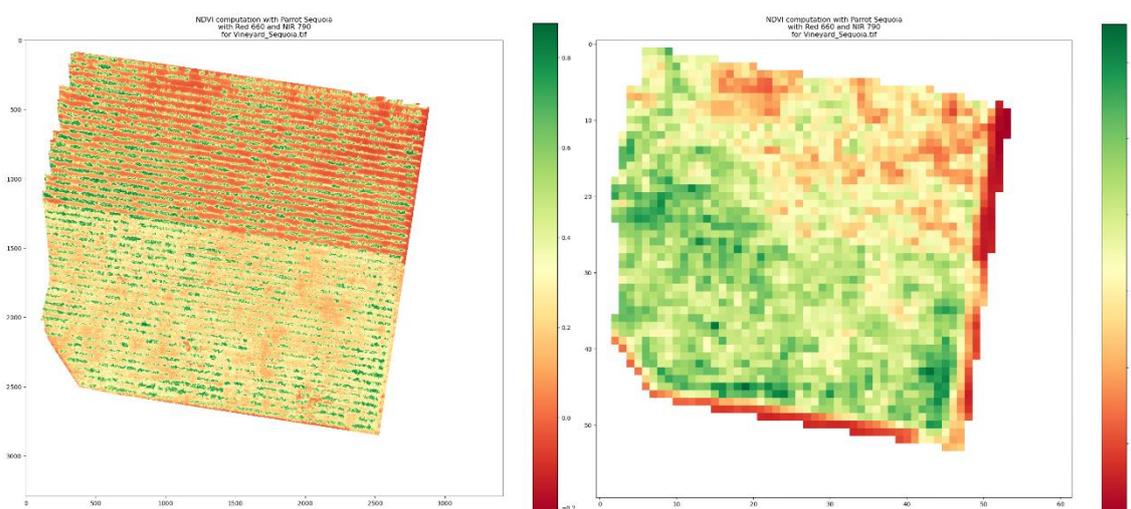


Ilustración 16. Degradación del NDVI de Vineyard_Sequoia.tif (GSD original izquierda y 2.5 GSD derecha)

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el NDVI en el resto de valores de GSD contemplados. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / Vineyard_Sequoia”**.

e) *Vineyard_Sequoia_2.tif*

GSD (m/pix)	Media	Mín	Máx	Mediana	Desv. Típica	Media tras umbral	Vegetación (%)
0.0	0.4602	-0.0594	0.9249	0.3595	0.2375	0.7588	34.878
0.10	0.4622	-0.0250	0.9075	0.3692	0.2335	0.7495	35.618
0.15	0.4644	-0.0148	0.9015	0.3788	0.2305	0.7427	36.284
0.20	0.4656	0.0152	0.8958	0.3872	0.2276	0.7356	36.876
0.25	0.4679	0.0258	0.8934	0.3959	0.2245	0.7283	37.674
0.30	0.4694	0.0281	0.8917	0.4036	0.2212	0.7213	38.371
0.35	0.4708	0.0482	0.8893	0.4110	0.2180	0.7143	39.069
0.40	0.4728	0.0689	0.8863	0.4179	0.2146	0.7085	39.756
0.45	0.4753	0.0827	0.8843	0.4260	0.2109	0.7021	40.588
0.50	0.4763	0.0869	0.8833	0.4323	0.2073	0.6963	41.038
1.00	0.4889	0.1324	0.8557	0.4939	0.1671	0.6337	48.838
2.50	0.4966	0.1447	0.7216	0.5340	0.1136	0.5680	61.942
5.00	0.4881	0.2064	0.6560	0.5169	0.0966	0.5582	55.963
10.0	0.4706	0.2558	0.6060	0.4959	0.0920	0.5459	46.552

Tabla 6. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Vineyard_Sequoia_2.tif*

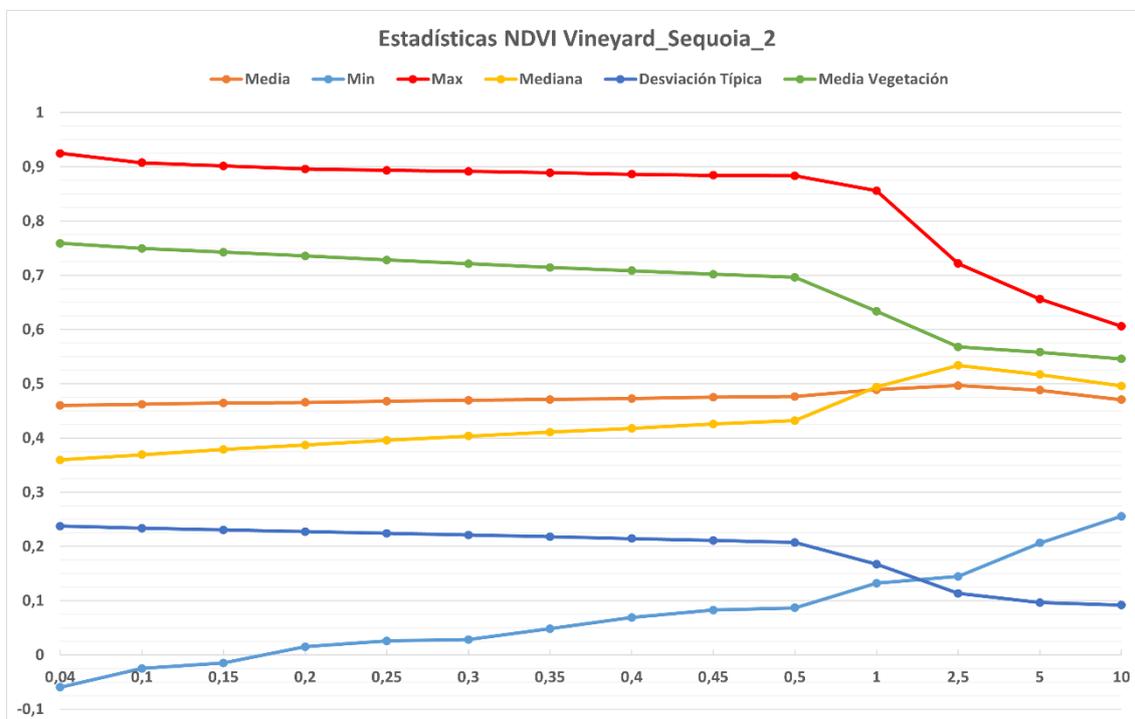


Ilustración 17. Estadísticas de la degradación del NDVI de *Vineyard_Sequoia_2.tif*

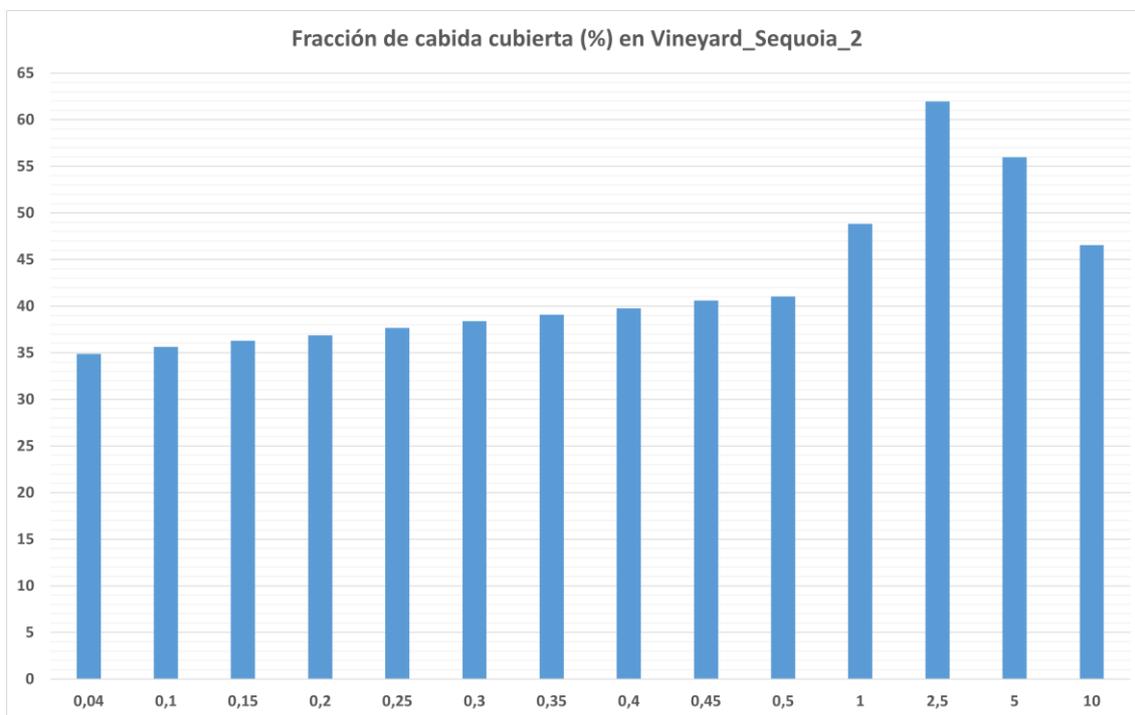


Ilustración 18. Fracción de cabida cubierta obtenida tras la degradación del NDVI de Vineyard_Sequoia_2.tif

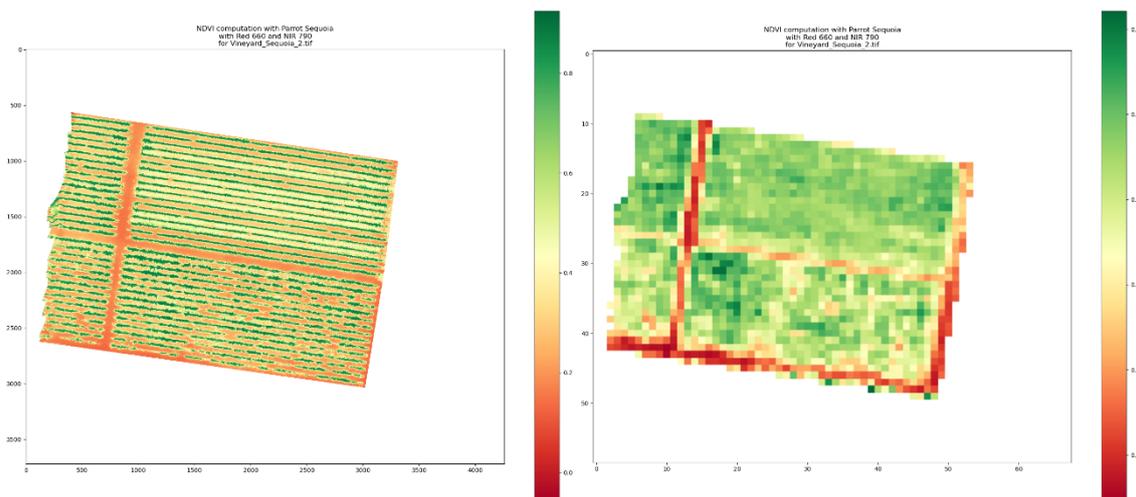


Ilustración 19. Degradación del NDVI de Vineyard_Sequoia_2.tif (GSD original izquierda y 2.5 GSD derecha)

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el NDVI en el resto de valores de GSD contemplados. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / Vineyard_Sequoia_2”**.

2. Composiciones en falso color

Dado que las imágenes multiespectrales permiten obtener características importantes relacionadas con la vegetación de los cultivos, se ha considerado oportuno aprovechar los resultados de aplicar diferentes bandas espectrales de cada cultivo para componer imágenes que puedan ser tratadas como si de una RGB se tratara. Esto permite aprovechar los algoritmos desarrollados para el tratamiento de imágenes RGB con la ventaja de que se elimina ruido de la imagen que, por sus características visuales, puede ser confundido con el tipo de “vegetación objetivo”, ya sea “vegetación no-objetivo” o elementos en la imagen que no se corresponden con vegetación. Además, las composiciones resultantes se podrán comparar con los resultados obtenidos a partir del cálculo del NDVI y establecer un umbral que permita calcular el porcentaje de cubierta vegetal. Observaciones:

- Para el ortomosaico *Olivar_Micasense_Dual.tif* se ha usado la composición (**Red 668, Green 560, Blue 475**)
- Como las imágenes de *Sequoia* tienen solo 4 bandas y ninguna de ellas es azul es necesario buscar otra composición, la más común según [esta web](#), y adaptada a las longitudes de ondas de las que disponemos, es la formada por (**Near Infrared 790, Red 660, G550**), usada para las 4 imágenes multiespectrales que tenemos de la cámara Parrot *Sequoia*.

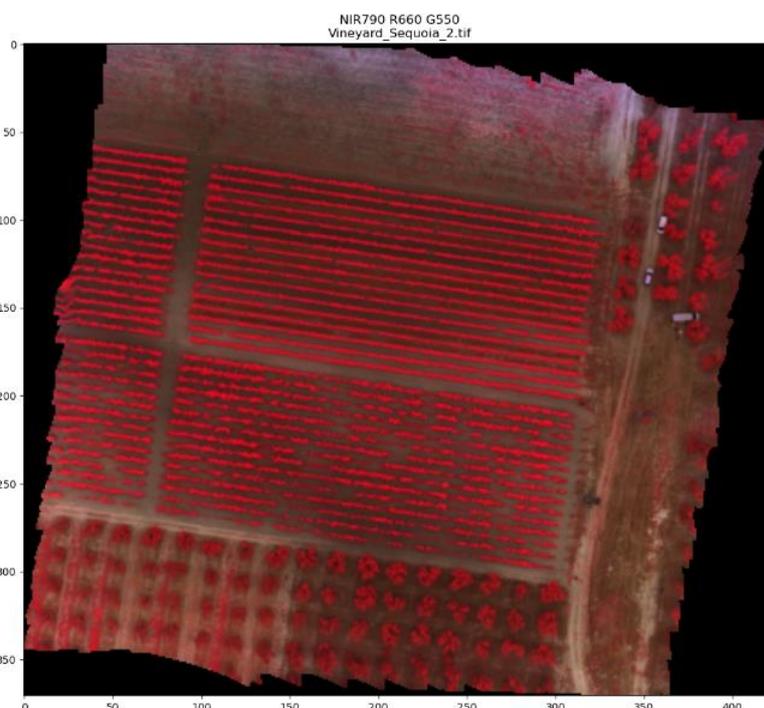


Ilustración 20. Composición falso color *Sequoia*

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes correspondientes a las composiciones de falso color del resto de ortomosaicos. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / FalseRGB”**.

A. Viñedos

Para los viñedos se disponen tanto de imágenes RGB como de imágenes multiespectrales que se han analizado para sacar estadísticas como la densidad de vegetación, el número de calles con vegetación y el número de marras. A continuación, se explicará el procedimiento que se ha seguido para analizar las imágenes multiespectrales de este tipo de cultivo.

El procesamiento de estas imágenes podría dividirse en 3 etapas. La primera de ellas sería la lectura y preparación de la imagen, en la que se obtienen metadatos de la imagen como el GSD, que permitiría calcular un factor de reescalado, se lee y almacena la imagen y se le aplica un reescalado si procede.

La segunda etapa sería la obtención de la máscara o imagen binaria que permita segmentar la vegetación objetivo del resto de la imagen, dicha etapa es algo diferente entre las imágenes RGB y las multiespectrales. Sobre las imágenes multiespectrales se calcula primero el NDVI (se han usado las bandas RED 660 y Near-InfraRed 790 de las imágenes obtenidas por la cámara Parrot Sequoia) y tras analizar el resultado del NDVI se segmenta la imagen aplicando un valor umbral de NDVI para obtener así la máscara con la vegetación deseada y se ajusta a la región de cultivo. Una vez obtenida, se calcula el porcentaje de vegetación o fracción de cabida cubierta en base al número de píxeles de la máscara que indiquen que contienen vegetación deseada frente al número total de píxeles de la zona de cultivo definida previamente. Finalmente, se aplican una serie de operaciones morfológicas sobre la máscara, primero para tratar de eliminar los píxeles aislados o considerados como "ruido" y luego para tratar de conseguir que las filas de cultivo sean lo más completas y fieles posible a la realidad, buscando así facilitar la futura extracción de características.

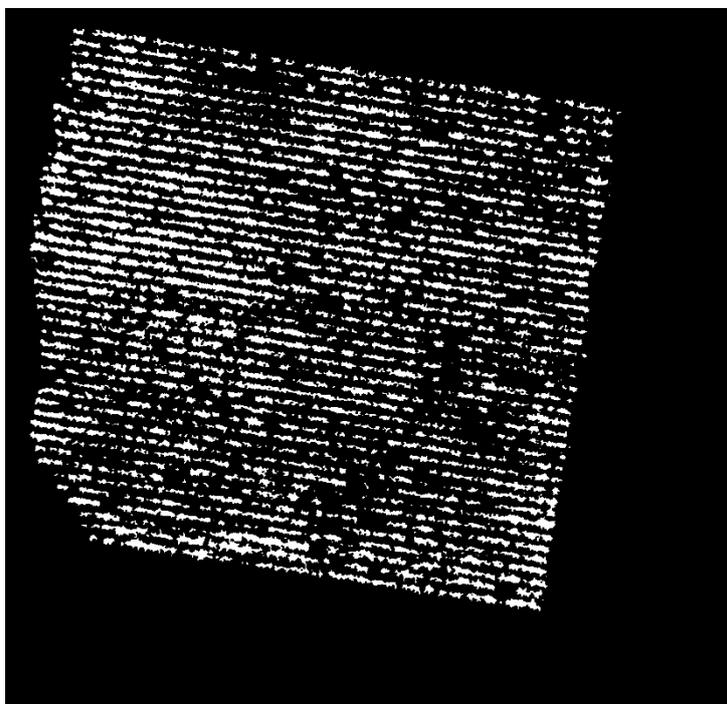


Ilustración 21. Máscara tras aplicar umbral de NDVI y operaciones morfológicas sobre Vineyard_Sequoia.tif

La tercera y última etapa de este procesamiento consiste en la detección de calles de cultivo y los huecos existentes entre la vegetación. El primer paso es la detección de contornos sobre la máscara procesada y su posterior filtro según la orientación y una relación entre anchura y altura para quedarnos con los contornos de las filas horizontales, verticales y diagonales (para las imágenes de los viñedos que se han procesado solo nos interesaban las filas horizontales). Para cada uno de los contornos filtrados se calculan, dibujan y almacenan unas líneas representativas como las que se ven en la ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..***

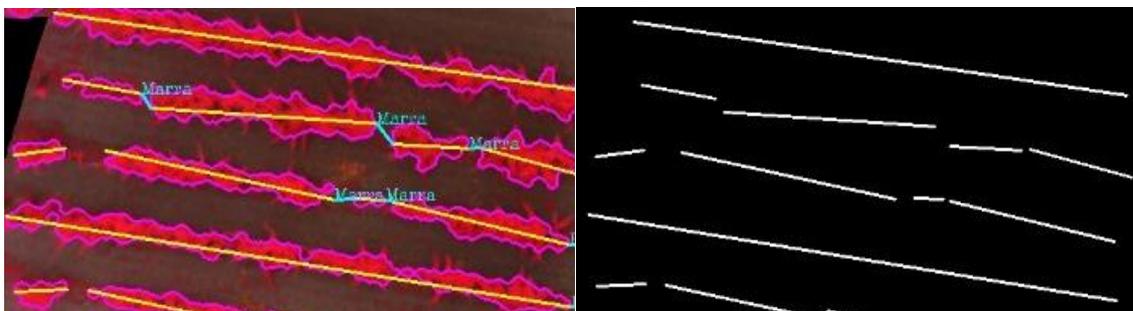


Ilustración 22. Líneas representativas de contornos

El siguiente paso es el más complicado de todo este procesamiento y trata de detectar los huecos existentes entre la vegetación, ya sean marras o pasillos. Para ello, se ordenan las filas horizontales según el eje Y de la imagen, y se analiza una por una buscando el siguiente segmento de vegetación que haya en su misma calle de cultivo.

Dicha búsqueda necesita de una serie de condiciones relacionadas con la posición y orientación de los segmentos para evitar en la medida de lo posible que, por ejemplo, un segmento se conecte con otro que no sea realmente de su misma calle y provoque que se mezclen calles perjudicando así las estadísticas a extraer, como pasa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

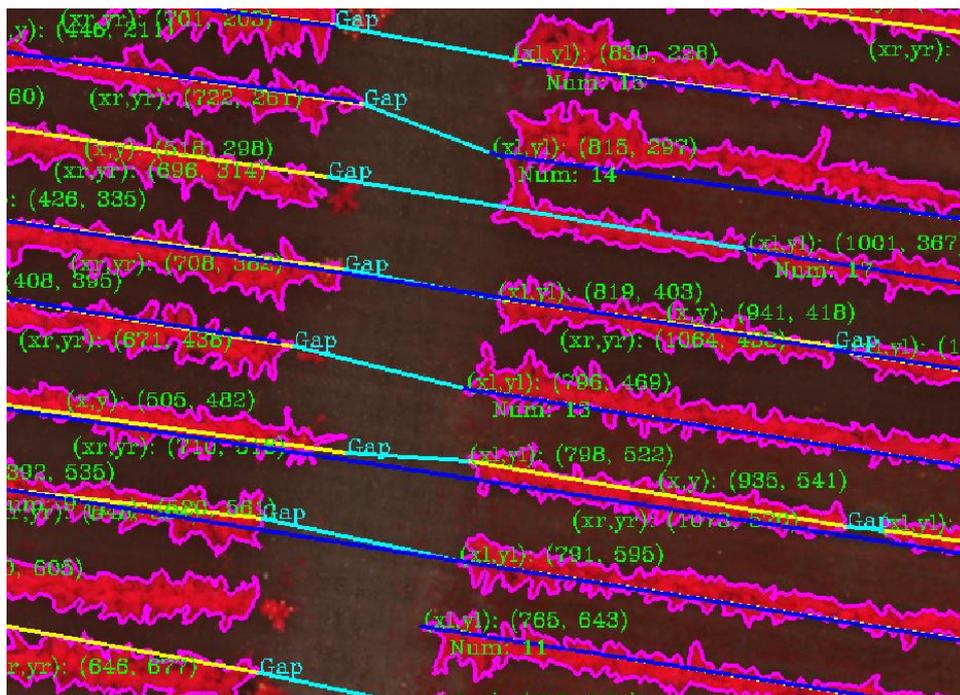


Ilustración 23. Detección de huecos en la vegetación

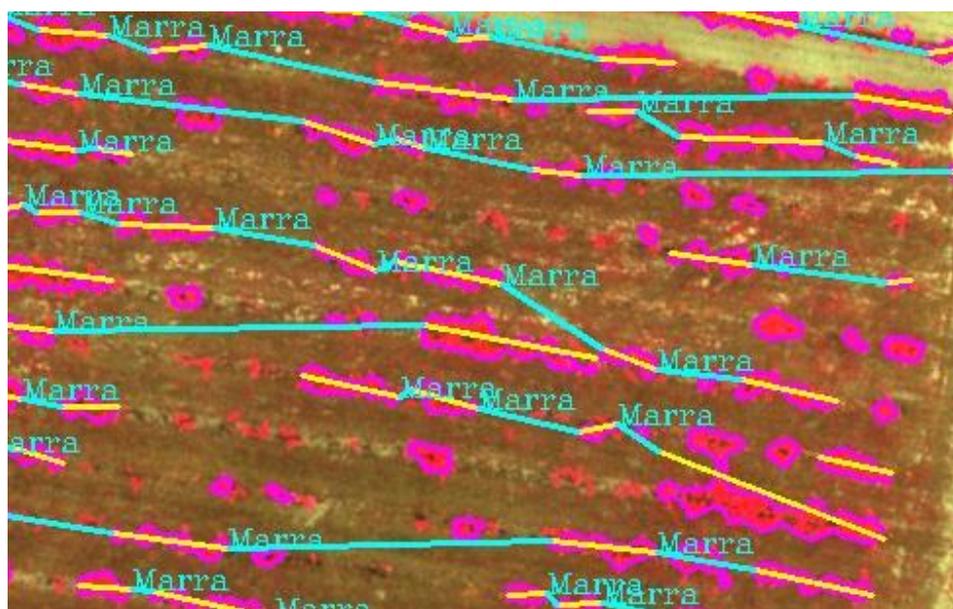


Ilustración 24. Ejemplo conexiones cruzadas no deseables

Una vez se hayan detectado todos los huecos, se procede a su clasificación en marras y huecos pertenecientes a pasillos. Las marras son aquellos huecos existentes en las calles de cultivos que deberían presentar vegetación pero están vacíos, mientras que los huecos pertenecientes a pasillos son aquellos huecos entre calles que no deben presentar vegetación. Tras haber clasificado los huecos, relleno las filas de cultivo con las marras para posteriormente detectar contornos y obtener el número de calles de cultivo.

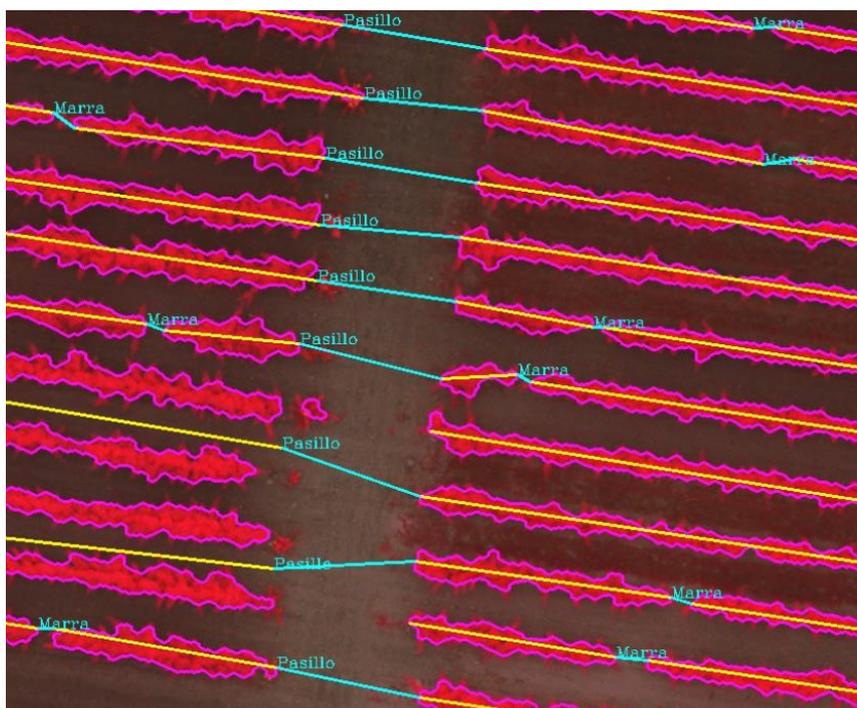


Ilustración 25. Clasificación de huecos en marras y pasillos

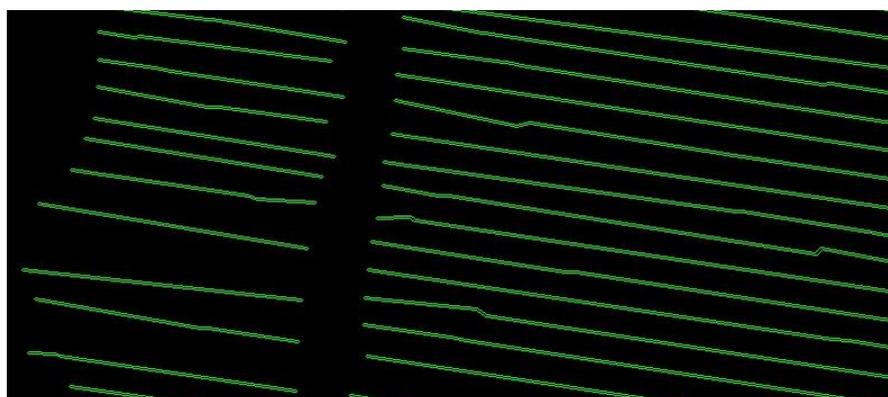


Ilustración 26. Resultado de la detección de calles de cultivo tras conectar los segmentos previamente detectados con las marras

Cabe señalar que en el número de marras no se ha hecho distinción alguna en función de su tamaño, por lo que, en las estadísticas que se han sacado, un hueco en el que

podrían caber por ejemplo tres plantas se ha contabilizado de la misma forma que un hueco en el que podría caber una sola planta. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la marra pequeña de arriba según los algoritmos que hemos desarrollado hasta la fecha cuenta estadísticamente igual que una de las marras de abajo que son más grandes.

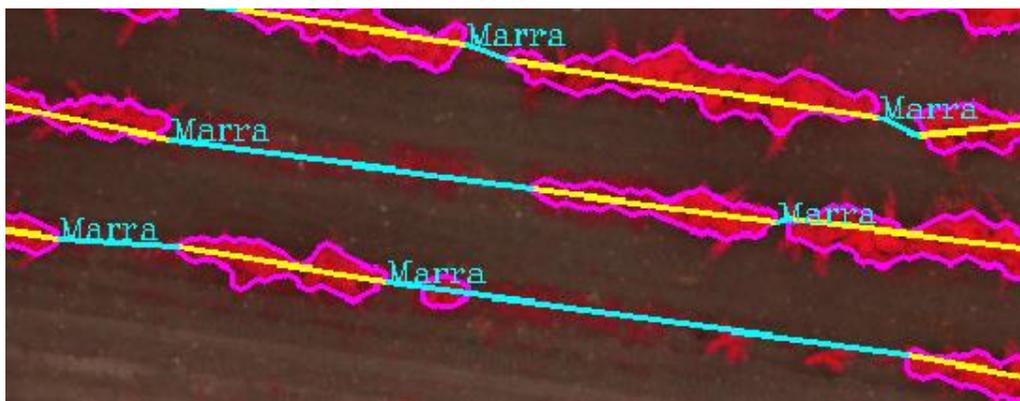


Ilustración 27. Ejemplo de la valoración del tamaño de las marras

1. Archivo Vineyard_Sequoia.tif

El primer ortomosaico multispectral de viñedo puede verse en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la cual es una composición en falso color usando las bandas (NIR, RED, GREEN) en sustitución del típico orden RGB, tal y como se ha explicado en el apartado *Composiciones en "falso color"*. El resultado de aplicarle el NDVI a la región de cultivo se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, con el cual se puede obtener la imagen binaria de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, tras aplicar un umbral NDVI de 0.4 y una serie de operaciones morfológicas.

Tras detectar los segmentos de los contornos de vegetación, detectar los huecos y rellenar las filas de cultivo con las marras se obtiene como resultado las imágenes de la Ilustración 30 en la que se pueden apreciar las filas detectadas y la Ilustración 31 en la que también se pueden ver los huecos detectados.

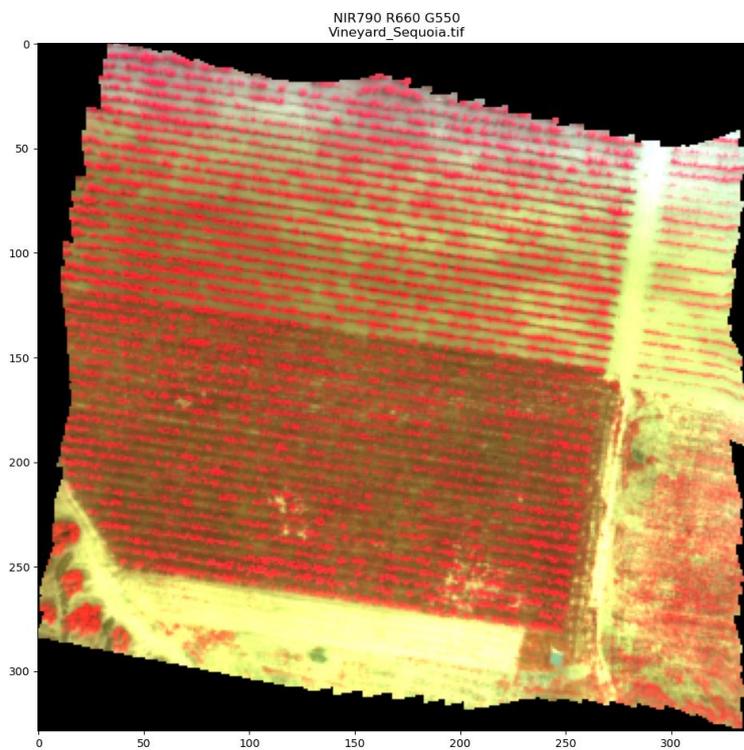


Ilustración 28. Composición en falso color del ortomosaico multispectral Vineyard_Sequoia.tif

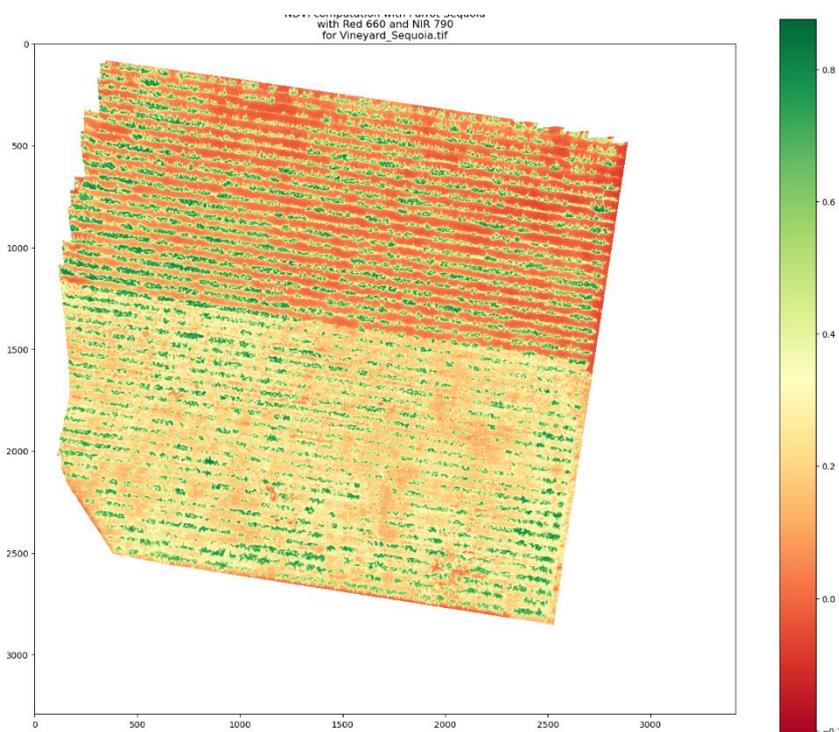


Ilustración 29. Composición en falso color del ortomosaico multispectral Vineyard_Sequoia.tif

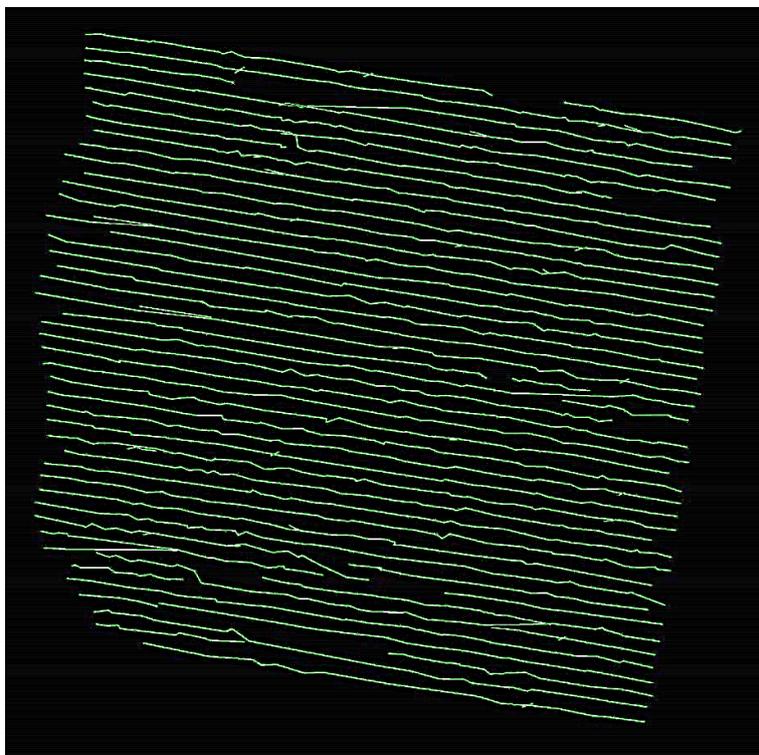


Ilustración 30. Calles detectadas para el ortomosaico multiespectral Vineyard_Sequoia.tif

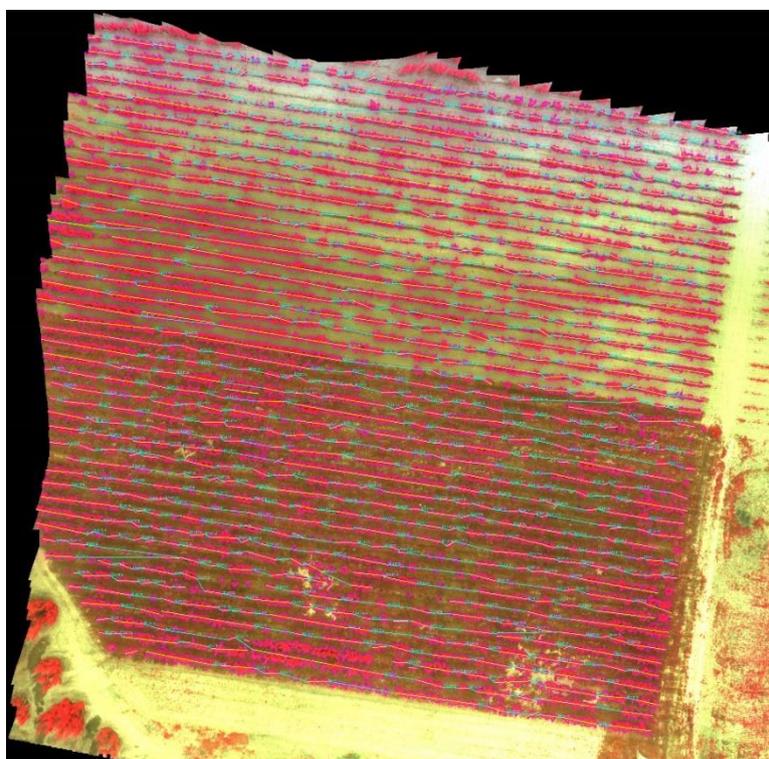


Ilustración 31. Calles y huecos detectados en el ortomosaico multiespectral Vineyard_Sequoia.tif

A continuación, se muestra una tabla en la que se compara el número real de calles de cultivo y huecos con los resultados de ejecutar los algoritmos de detección y conteo automático. Se ha realizado también un análisis de la densidad de vegetación y la eficacia de los algoritmos tras disminuir la resolución del ortomosaico aumentando el GSD.

GSD (m/píxel)	Densidad Vegetación	Total filas (uds)	Filas detectadas (software)	Falsos positivos filas	Filas detectadas (reales)	Total huecos (unidades)	Huecos detectados
0.046 (Original)	22.99 %	44	54 (122.72%)	10 (18.52%)	44 (100%)	867	662 (76.36 %)
0.10 (46% res)	23.54 %	"	52 (118.18%)	8 (15.38%)	44 (100%)	"	591 (68.17%)
0.15 (30.67% res)	24.00 %	"	53 (120.45%)	9 (16.98%)	44 (100%)	"	632 (72.90%)
0.20 (23% res)	24.42 %	"	53 (120.45%)	11 (20.75%)	42 (95.45%)	"	666 (76.82%)
0.25 (18.4% res)	24.67 %	"	47 (106.82%)	3 (6.38%)	44 (100%)	"	612 (70.59%)
0.30 (15.33% res)	24.82 %	"	53 (120.45%)	9 (16.98%)	44 (100%)	"	527 (60.78%)
0.35 (13.14% res)	24.90 %	"	52 (118.18%)	8 (15.38%)	44 (100%)	"	491 (56.63%)
0.40 (11.5% res)	24.94 %	"	54 (122.73%)	12 (22.22%)	42 (95.45%)	"	445 (51.33%)
0.45 (10.22% res)	24.91 %	"	55 (125%)	11 (20%)	44 (100%)	"	419 (48.33%)
0.50 (9.2% res)	24.63 %	"	55 (125%)	11 (20%)	44 (100%)	"	458 (52.83%)
1 (4.6% res)	20.4 %	"	47 (106.82%)	11 (23.4%)	36 (81.82%)	"	240 (27.68%)
2.5 (1.84% res)	9.93 %	"	7 (15.91%)	0 (0%)	7 (15.91%)	"	1 (0.12%)
5 (0.92% res)	3.56 %	"	6 (13.64%)	0 (0%)	6 (13.64%)	"	0 (0%)
10 (0.46% res)	2.60 %	"	1 (2.27%)	0 (0%)	1 (2.27%)	"	0 (0%)

Tabla 7. Resultados del procesamiento del ortomosaico multispectral Vineyard_Sequoia.tif para distintos valores de GSD

- **Densidad Vegetación:** Porcentaje de vegetación objetivo o fracción de cabida cubierta.
- **Total filas (uds):** Número total de calles de cultivo contadas manualmente.
- **Filas detectadas (software):** Número de filas detectadas automáticamente por el algoritmo.
- **Falsos positivos filas:** Número total de detecciones automáticas erróneas de calles de cultivo.
- **Filas detectadas (reales):** Número de filas reales detectadas sin contar los falsos positivos.



- Total huecos (unidades): Número total de huecos entre la vegetación contados manualmente.
- Huecos detectados: Número de huecos detectados automáticamente por el algoritmo.

Tras procesar la imagen es conveniente señalar algunas observaciones:

- Si las vides son demasiado pequeñas y no son detectadas, se detectarían las marras entre los segmentos que sí han sido detectados, las cuales contendrían a dichas pequeñas vides y a las correspondientes marras que hubiese entre ellos y que no están siendo contadas. Es por ello por lo que hay un porcentaje alto de marras que no están siendo detectadas. Un ejemplo de esto puede verse en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que la marra inferior englobaría realmente a las 4 marras que hay entre las vides pequeñas.
- Las vides pequeñas también afectan a la detección de filas puesto que se ha intentado incluir solo algunos trozos pequeños teniendo en cuenta que la orientación y la relación anchura-altura de estas vides es peor cuanto más pequeñas sean y dificultan en gran medida la detección adecuada de las filas de cultivo.
- A la hora de ajustar los parámetros de los algoritmos se ha buscado maximizar la eficiencia a pesar de que los resultados muestren líneas que se cruzan (estos cruces son debidos especialmente a la orientación de las pequeñas vides) y otras líneas que no terminan de completar sus huecos (la falta de vides en esas zonas provocaba que la distancia entre un segmento y otro fuese muy grande y si se aumentaba la distancia máxima permitida en los parámetros se acababan obteniendo aún más líneas cruzadas por las malas orientaciones de las vides de alrededor).
- A partir de 0.4-0.5 m/pixel como valores de GSD los resultados comienzan a empeorar considerablemente aumentando el número de falsos positivos por los cruces indeseados de calles y el número de huecos no detectados.

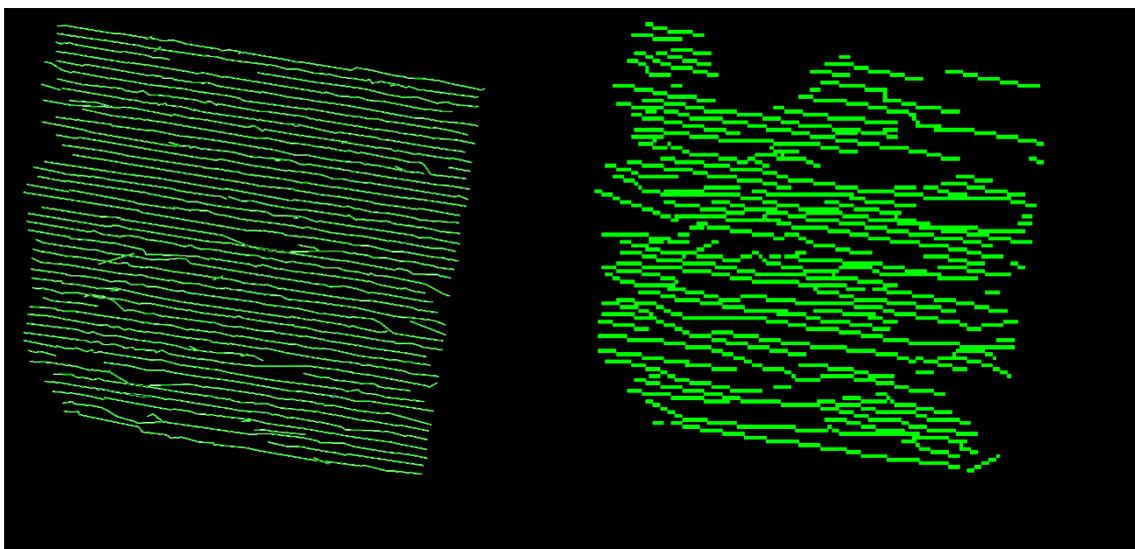


Ilustración 32. Efectos de la degradación en la máscara de líneas detectadas en Vineyard_Sequoia.tif (0.1 GSD izquierda y 2.5 GSD derecha)

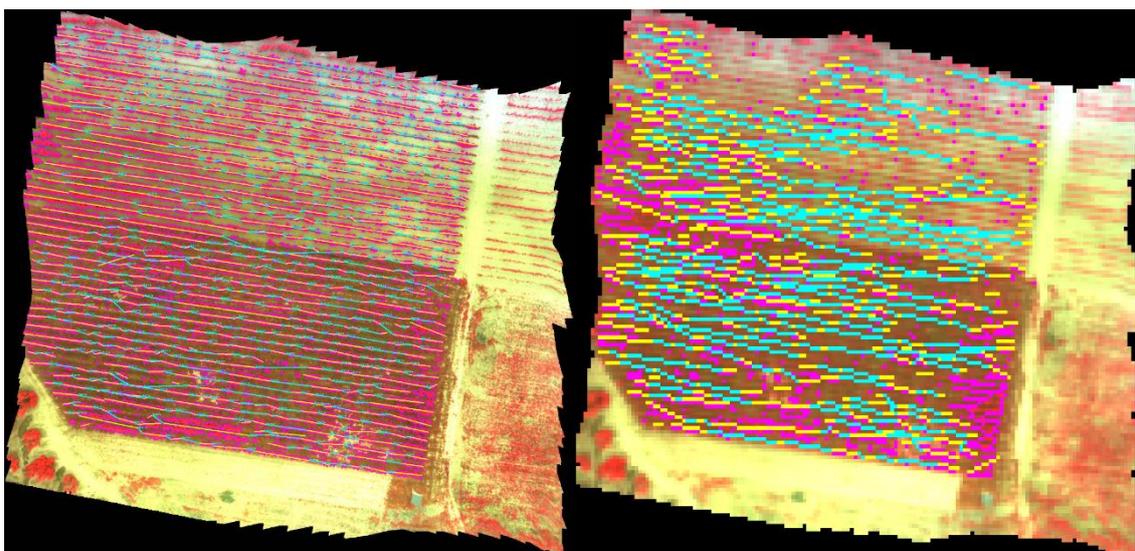


Ilustración 33. Efectos de la degradación en la imagen de filas detectadas en Vineyard_Sequoia.tif (0.1 GSD izquierda y 2.5 GSD derecha)

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el algoritmo para el resto de valores de GSD. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / Vineyard_Sequoia”**.

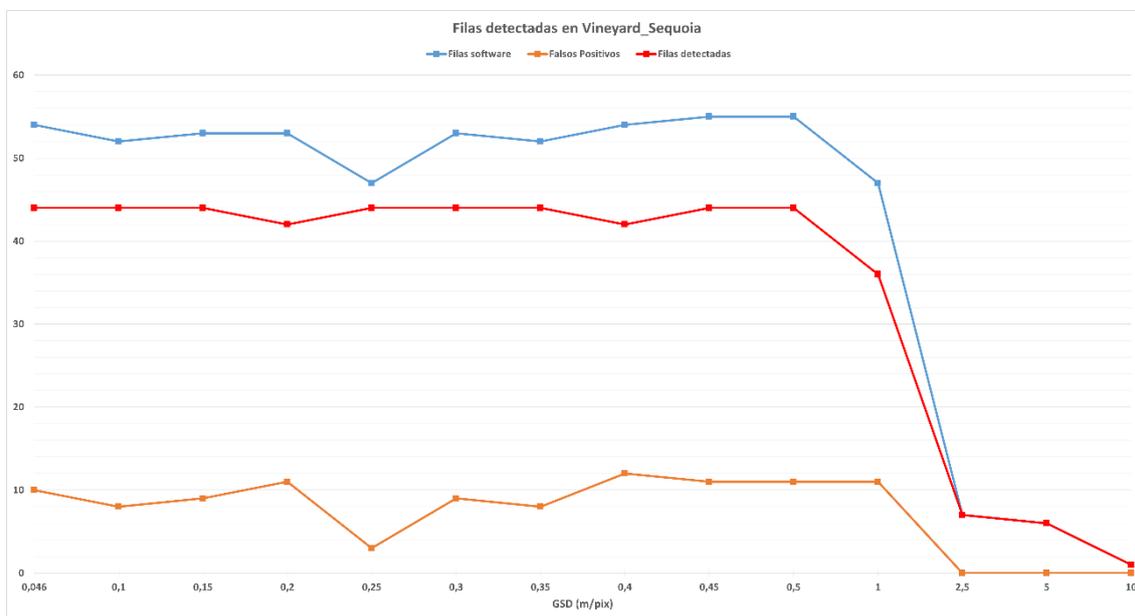


Ilustración 34. Efectos de la degradación en el nº de filas detectadas en Vineyard_Sequoia.tif

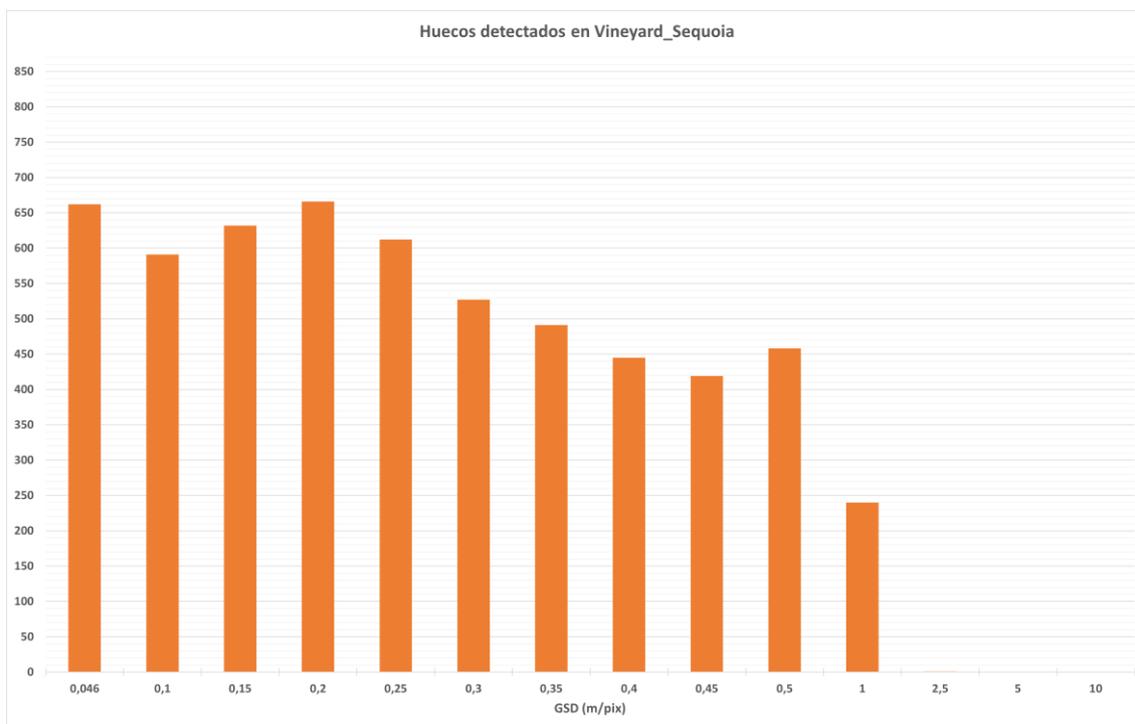


Ilustración 35. Efectos de la degradación en el nº de huecos detectados en Vineyard_Sequoia.tif

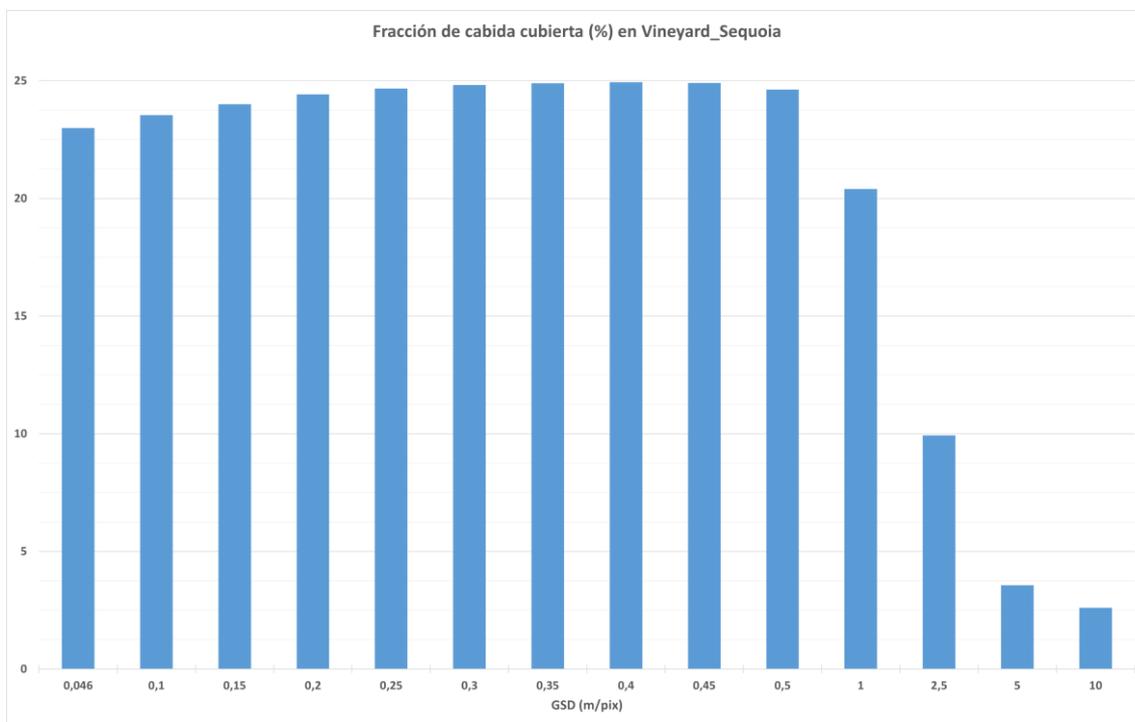


Ilustración 36. Efectos de la degradación en la fracción de cabida cubierta en Vineyard_Sequoia.tif

2. Archivo Vineyard_Sequoia_2.tif

La composición en falso color del segundo ortomosaico multispectral de viñedo puede verse en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, mientras que el resultado de aplicarle el NDVI se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, con el cual se puede obtener la imagen binaria de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** tras aplicar un umbral NDVI de 0.6 y una serie de operaciones morfológicas.

Tras detectar los segmentos de los contornos de vegetación, detectar los huecos y rellenar las filas de cultivo con las marras se obtiene como resultado las imágenes de la Ilustración 40 en la que se pueden apreciar las filas detectadas y la Ilustración 41 en la que también se pueden ver los huecos (marras y pasillos) detectados.

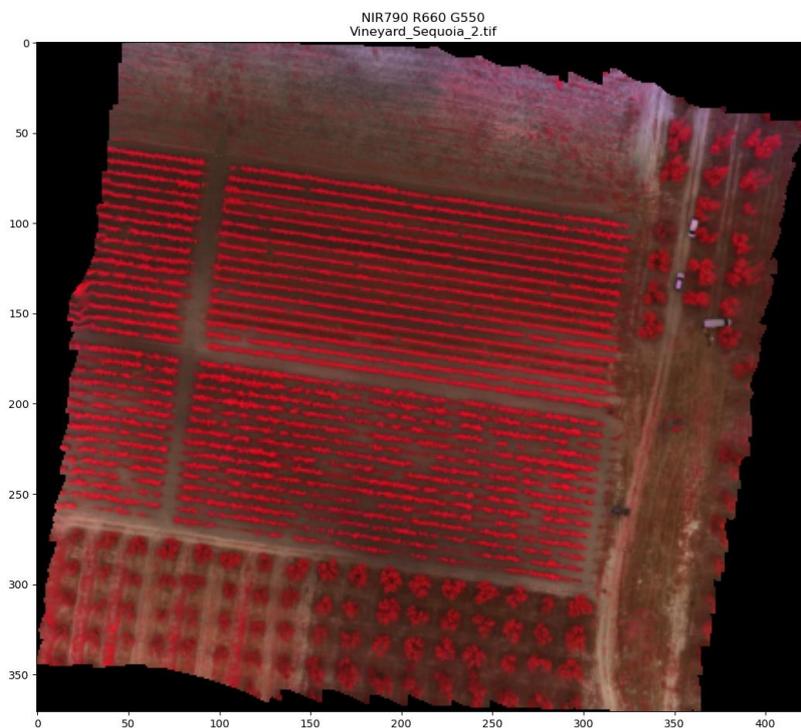


Ilustración 37. Composición en falso color del ortomosaico Vineyard_Sequoia_2.tif

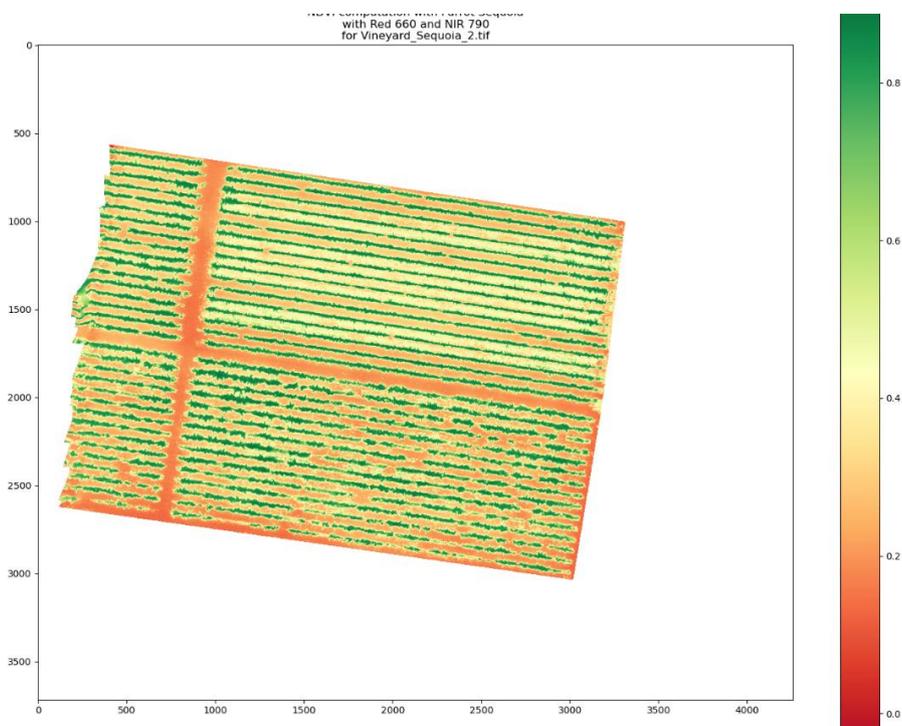


Ilustración 38. NDVI de la región de cultivo del ortomosaico multispectral Vineyard_Sequoia_2.tif

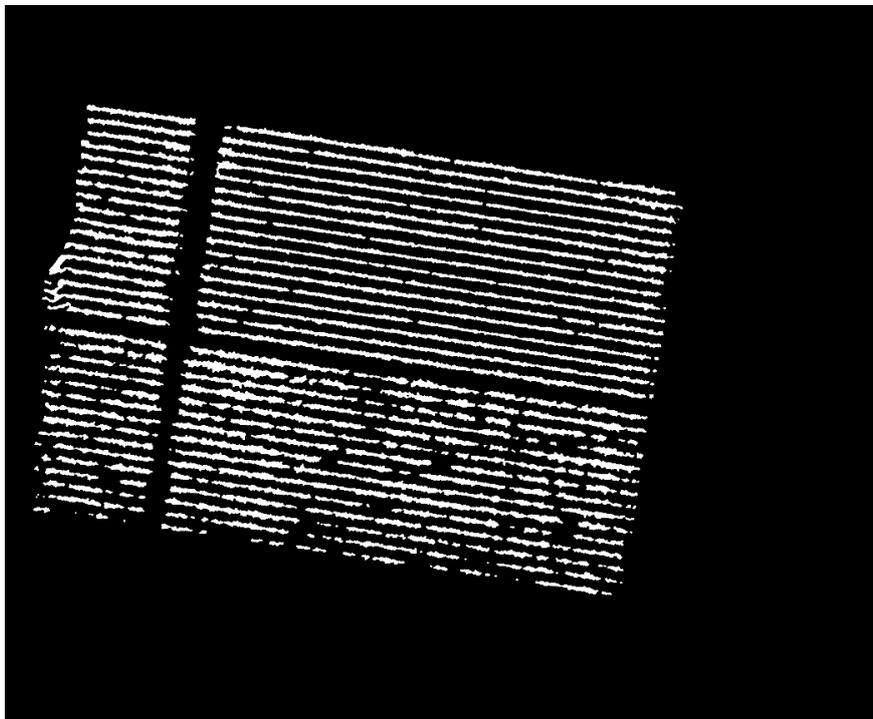


Ilustración 39. Máscara tras aplicar umbral de NDVI y operaciones morfológicas sobre Vineyard_Sequoia_2.tif

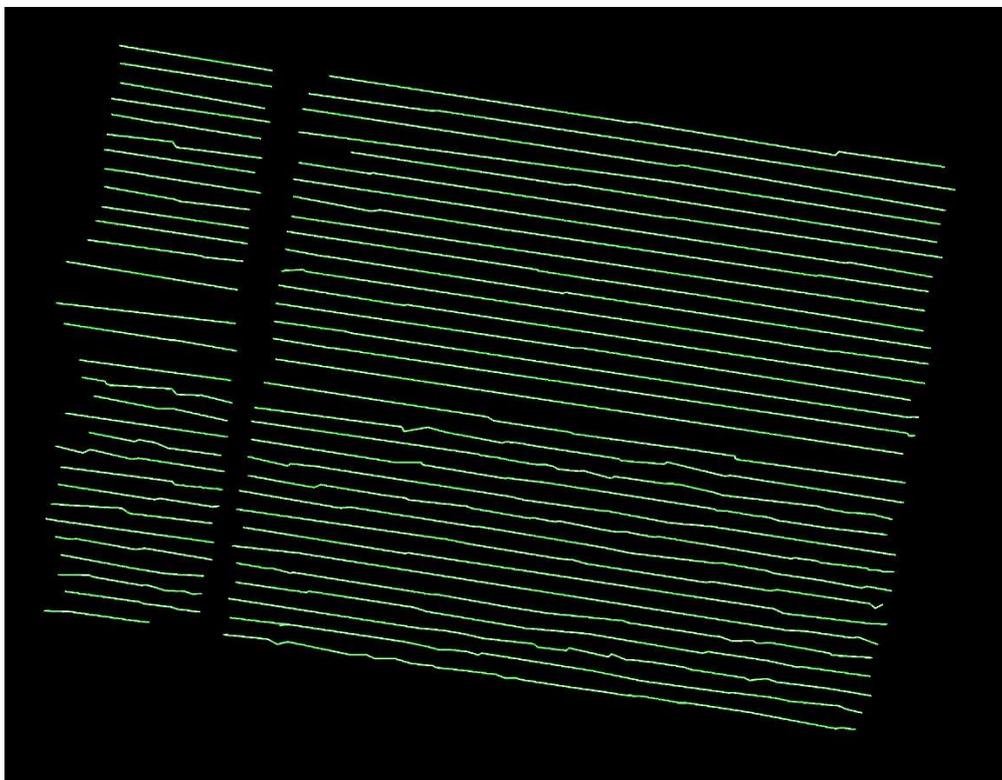


Ilustración 40. Calles detectadas para el ortomosaico multiespectral Vineyard_Sequoia_2.tif

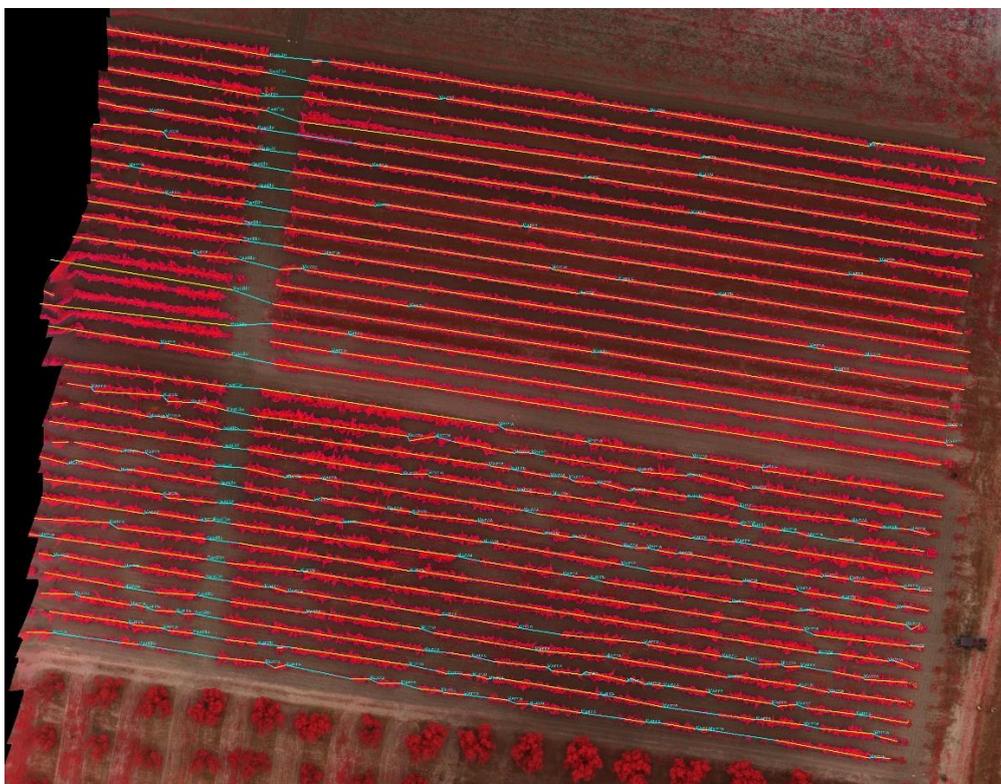


Ilustración 41. Calles y huecos detectados en el ortomosaico multiespectral Vineyard_Sequoia_2.tif

A continuación, se muestra una tabla en la que se compara el número real de calles de cultivo y huecos con los resultados de ejecutar los algoritmos de detección y conteo automático. Se ha realizado también un análisis de la densidad de vegetación y la eficacia de los algoritmos tras disminuir la resolución del ortomosaico aumentando el GSD.

GSD (m/pixel)	Densidad Vegetación	Total filas (uds)	Filas detectadas (software)	Falsos positivos filas	Filas detectadas (reales)	Total huecos (uds)	Huecos detectados
0.04 (Original)	30.15 %	64	62 (96.88%)	0 (0%)	62 (96.88%)	218 (32 pasillos + 186 marras)	206 (93.75% pasillos y 94.62% marras)
0.10 (40% res)	30.29 %	“	62 (96.88%)	0 (0%)	62 (96.88%)	“	197 (93.75% pas y 89.78% marras)
0.15 (26.67% res)	30.50 %	“	63 (98.44%)	1 (1.59%)	62 (96.88%)	“	132 (93.75% pas y 54.84% marras)
0.20 (20% res)	30.59 %	“	63 (98.44%)	0 (0%)	63 (98.44%)	“	131 (100% pas y 53.23% marras)
0.25 (16% res)	30.81 %	“	63 (98.44%)	0 (0%)	63 (98.44%)	“	126 (96.88% pas y 52.49% marras)

0.30 (13.33% res)	31.01 %	“	63 (98.44%)	0 (0%)	63 (98.44%)	“	115 96.88% pas y 45.16% marras)
0.35 (11.43% res)	31.15 %	“	63 (98.44%)	0 (0%)	63 (98.44%)	“	106 (96.88% pas y 40.32% marras)
0.40 (10% res)	31.48 %	“	63 (98.44%)	0 (0%)	63 (98.44%)	“	119 (96.88% pas y 47.31% marras)
0.45 (8.89% res)	31.66 %	“	63 (98.44%)	0 (0%)	63 (98.44%)	“	114 (96.88% pas y 44.62% marras)
0.50 (8% res)	31.69 %	“	63 (98.44%)	0 (0%)	63 (98.44%)	“	121 (93.75% pas y 48.92% marras)
1 (4% res)	30.85 %	“	59 (92.19%)	6 (10.17%)	53 (82.81%)	“	198 (200% pas y 72.04% marras)
2.50 (1.6% res)	11.10 %	“	13 (20.31%)	1 (7.69%)	12 (18.75%)	“	13 (0% pas y 6.99% marras)
5 (0.8% res)	5.05 %	“	5 (7.81%)	0 (0%)	5 (7.81%)	“	0 (0%)
10 (0.4% res)	1.72 %	“	2 (3.13%)	0 (0%)	2 (3.13%)	“	0 (0%)

Tabla 8. Resultados del procesamiento del ortomosaico multiespectral Vineyard_Sequoia_2.tif para distintos valores de GSD

- **Densidad Vegetación:** Porcentaje de vegetación objetivo o fracción de cabida cubierta.
- **Total filas (uds):** Número total de calles de cultivo contadas manualmente.
- **Filas detectadas (software):** Número de filas detectadas automáticamente por el algoritmo.
- **Falsos positivos filas:** Número total de detecciones automáticas erróneas de calles de cultivo.
- **Filas detectadas (reales):** Número de filas reales detectadas sin contar los falsos positivos.
- **Total huecos (uds):** Número total de huecos entre la vegetación (marras y pasillos) contados manualmente.
- **Huecos detectados:** Número de huecos (marras y pasillos) detectados automáticamente por el algoritmo.

Tras procesar la imagen es conveniente señalar algunas observaciones.

- Si las vides son demasiado pequeñas y no son detectadas ocurre lo mismo que se explicó para el anterior ortomosaico y que puede verse en la ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***
- Hay 4 filas en la zona de cultivo superior izquierda, mostradas en la ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***, que tras aplicar la segmentación se han visto

unidas a pares de forma que se detectarían 2 filas en vez de 4 como debería de ser, aspirando a un total de 62 filas a detectar en la mayoría de casos.

- Al reducir la resolución, la segmentación es peor en el sentido de que se crean huecos ficticios en contornos de vegetación que originalmente estaban unidos pero que ahora han quedado separadas tras aplicar las operaciones morfológicas. Como resultado de esto, el número de marras o huecos sufre un incremento debido a los falsos positivos, como puede verse en los resultados con 0.4, 0.5 o 1 de GSD.

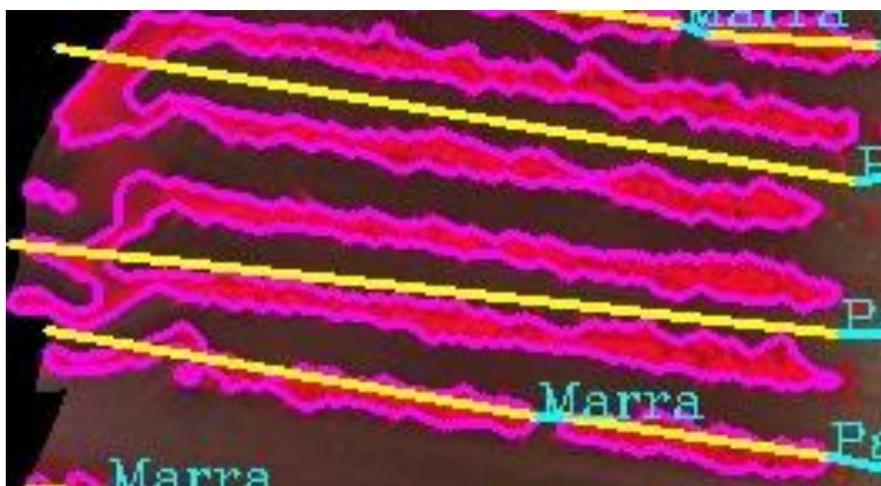


Ilustración 42. Detalle de las filas de cultivo segmentadas a pares del ortomosaico Vineyard_Sequoia_2.tif

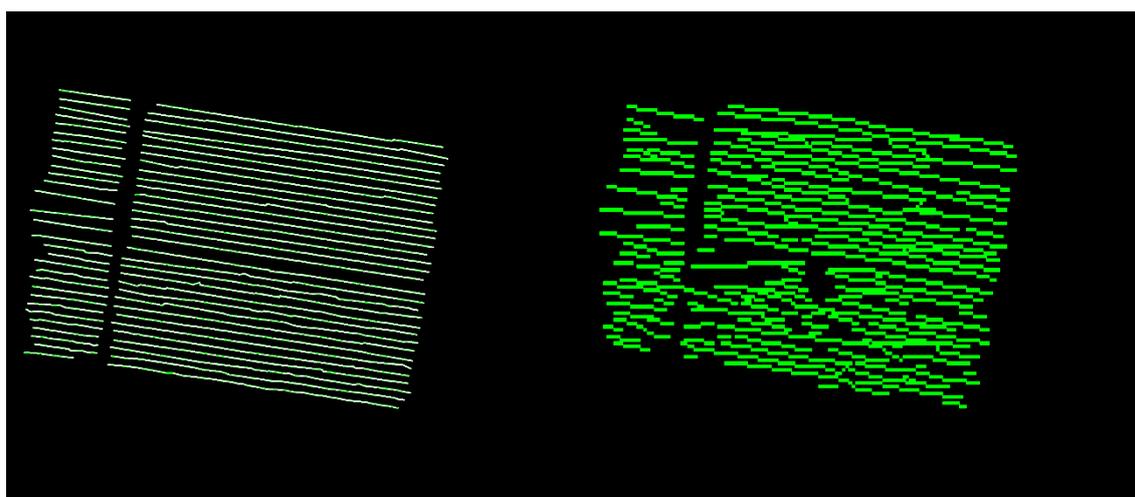


Ilustración 43. Efectos de la degradación en la máscara de líneas detectadas en Vineyard_Sequoia_2.tif (0.1 GSD izquierda y 2.5 GSD derecha)

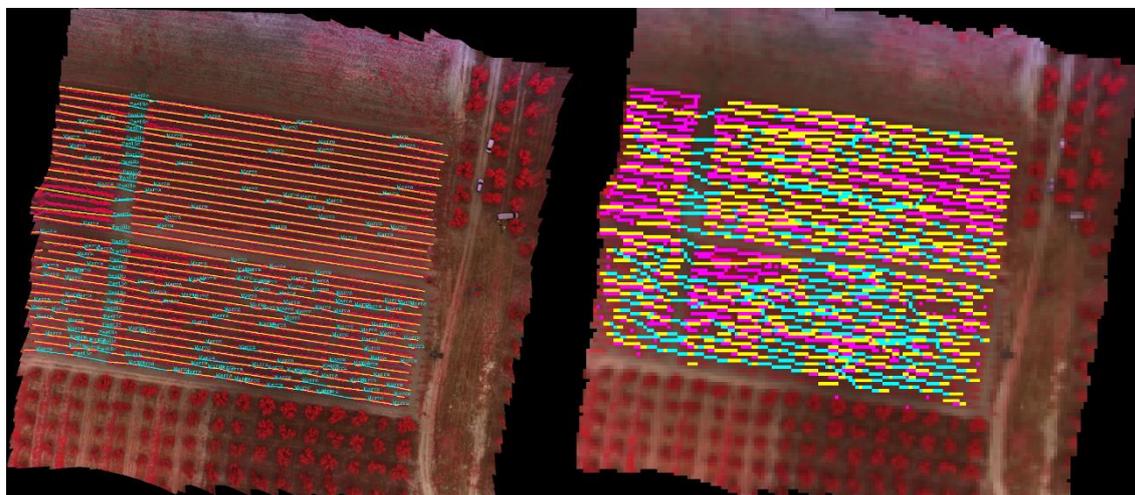


Ilustración 44. Efectos de la degradación en la imagen de filas detectadas en Vineyard_Sequoia_2.tif (0.1 GSD izquierda y 2.5 GSD derecha)

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el algoritmo para el resto de valores de GSD. Ruta **“Resultados / Multiespectrales / Vineyard_Sequoia_2”**.

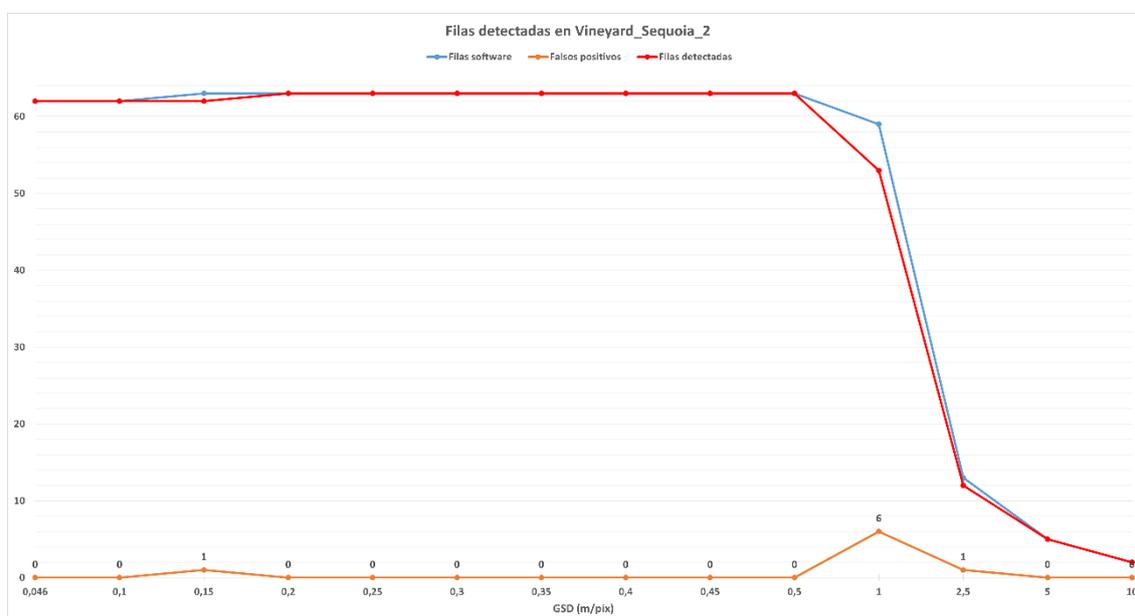


Ilustración 45. Efectos de la degradación en el nº de filas detectadas en Vineyard_Sequoia_2.tif

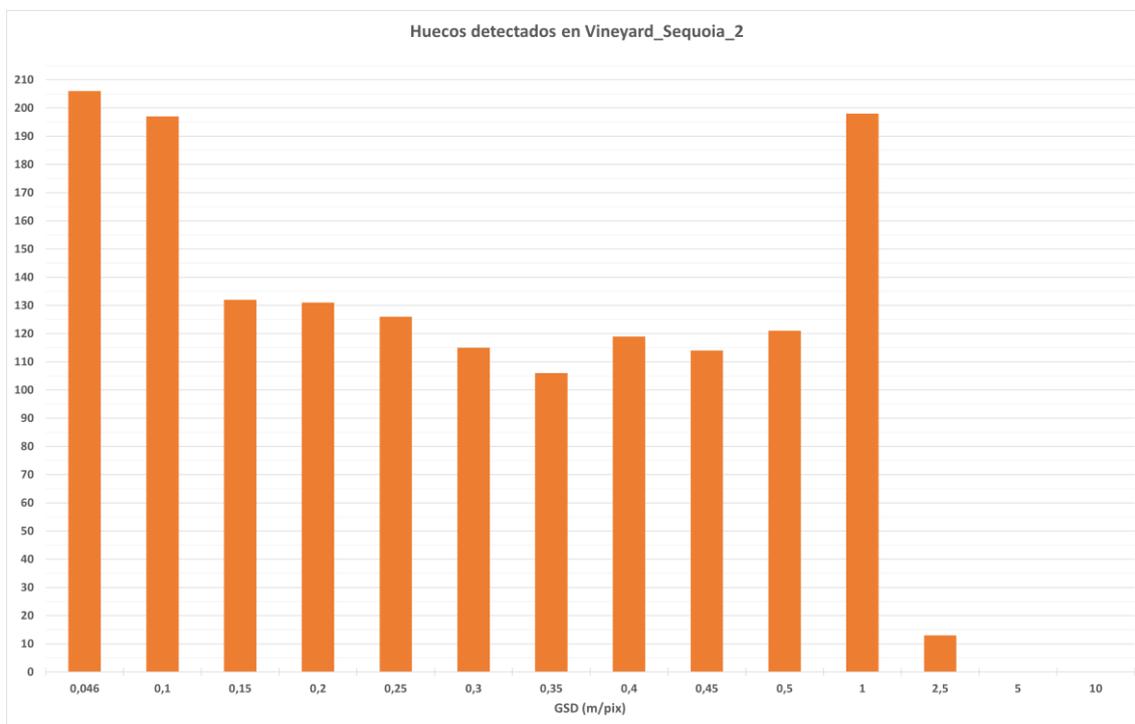


Ilustración 46. Efectos de la degradación en el nº de huecos detectados en Vineyard_Sequoia_2.tif

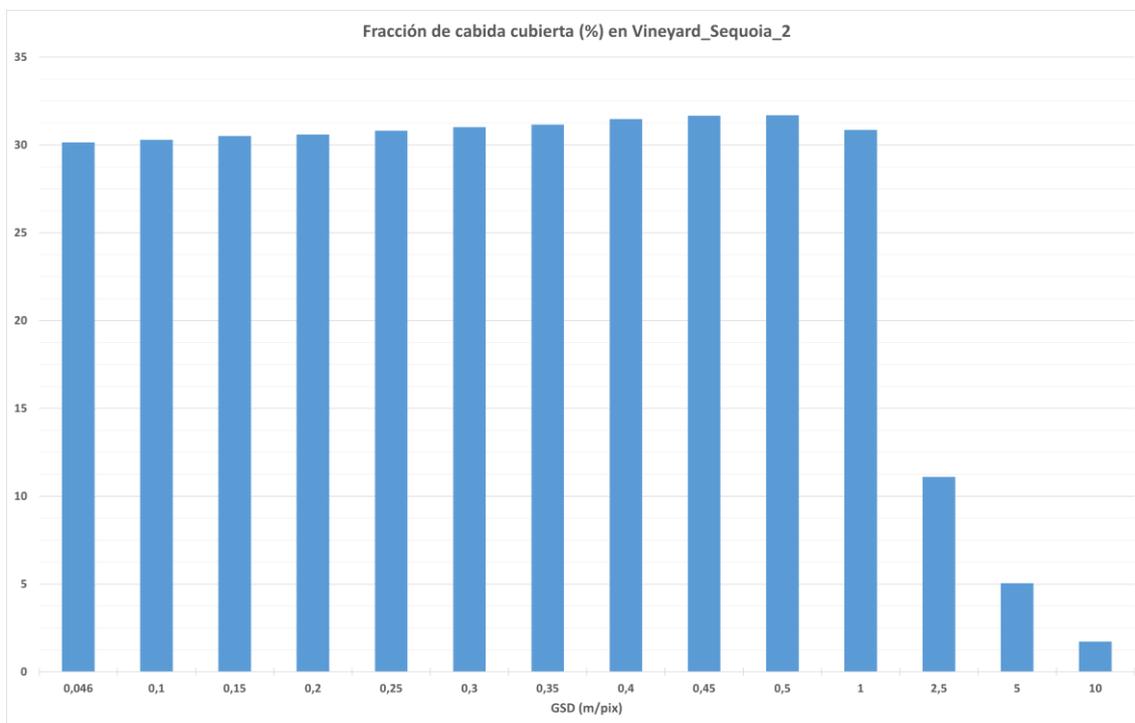


Ilustración 47. Efectos de la degradación en la fracción de cabida cubierta en Vineyard_Sequoia_2.tif

III. Tratamiento de ortomosaicos multiespectrales

A partir de los ortomosaicos RGB proporcionados, se pretende desarrollar procesos que permitan automatizar la detección de características concretas sobre diferentes tipos de cultivos.

A. Almendros

En primera instancia, el estudio correspondiente a los almendros se ha centrado en diferenciar la cubierta vegetal asociada a los árboles respecto al resto de cubierta vegetal, casi toda ella asociada a una cubierta a ras de suelo con un aspecto en cuanto a color muy similar al que presentan las copas de los árboles. Por otro lado, dado que existe separación entre árboles, se ha procedido a detectarlos y enumerarlos, ofreciendo una estimación sobre la eficiencia de los algoritmos, y permitirá más adelante aplicar otro tipo de detecciones.

A diferencia de otros, el ortomosaico RGB asociado al cultivo de almendros contiene datos adicionales, ya que se ha proporcionado un fichero en formato LAS con información de nube de puntos tridimensionales. Esta información ha permitido desarrollar los procesos acordes a dos estrategias diferentes:

- Tratamiento de la imagen usando nube de puntos. Ofrece la ventaja de poder filtrar la imagen según altura, y de esta forma se puede eliminar todos aquellos elementos que se encuentren fuera de un intervalo de altura marcado por unos valores umbrales inferior (entre ellos cubierta vegetal a ras del suelo) y superior. A pesar de que lo ideal es no contar con la información de nube de puntos tridimensional, los resultados podrán ser utilizados para calcular la eficiencia de los algoritmos desarrollados usando exclusivamente el ortomosaico RGB.
- Tratamiento directo de la imagen sin información adicional. Se hará uso de librerías de visión por computador y operaciones morfológicas para tratar de calcular la densidad de vegetación, así como discernir entre la vegetación objetivo y el resto de los elementos en la imagen.

1. Uso de nube de puntos.

Para trabajar exclusivamente con las copas de los almendros se ha hecho uso de un filtro dinámico que ha permitido filtrar los puntos por altura según la región en la que se encuentren, pues existen desniveles de altura. Además, se ha decidido eliminar otro tipo de ruido mediante filtrado para evitar posibles problemas en el análisis.

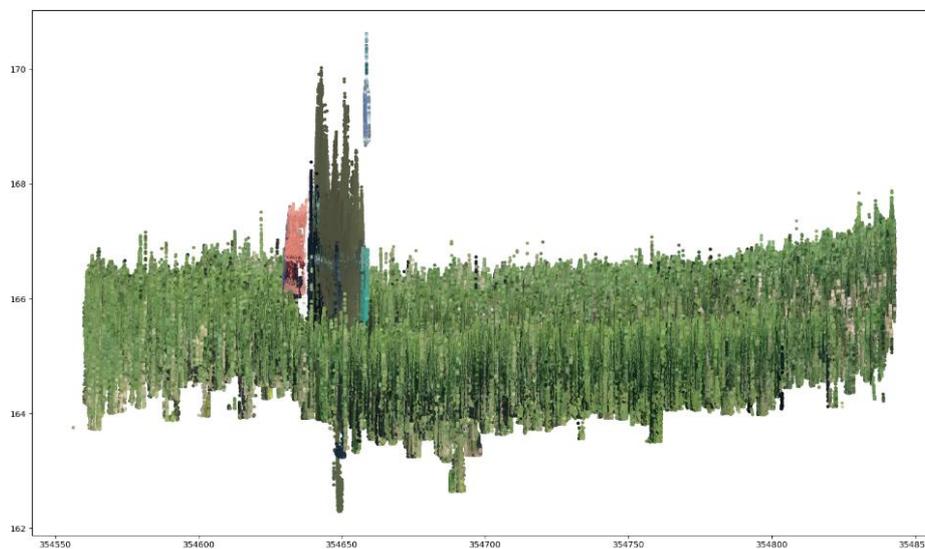


Ilustración 48. Representación altura I

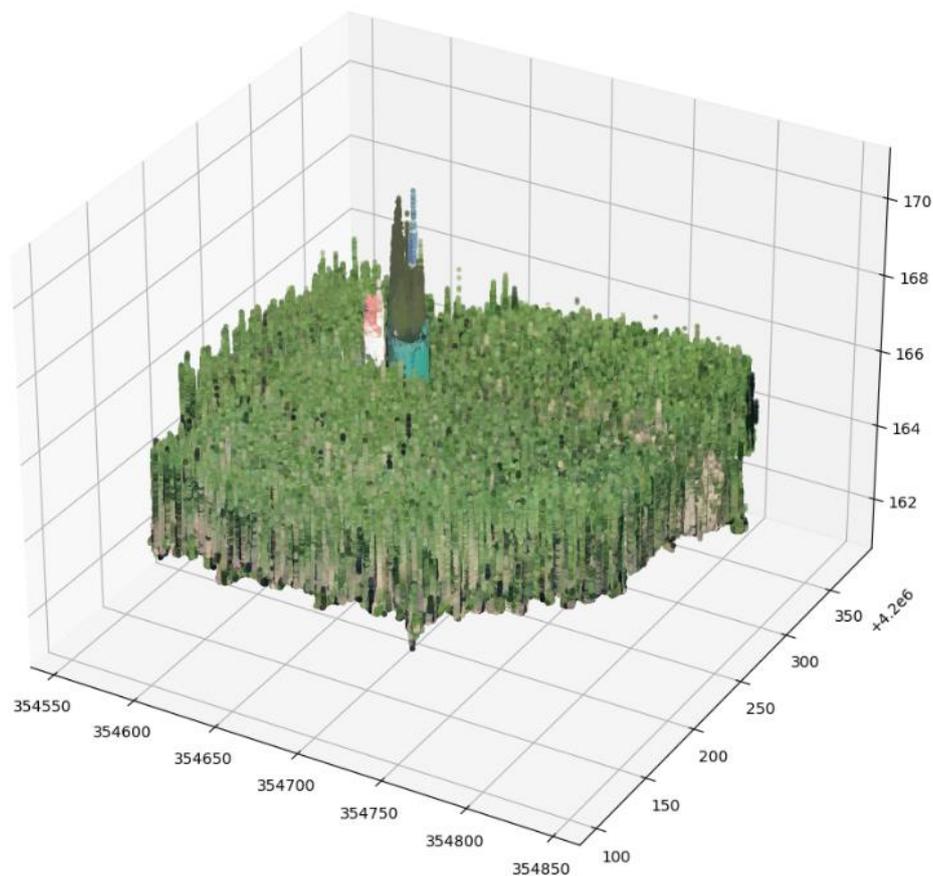


Ilustración 49. Representación Altura II

La imagen de salida ha sido binarizada para luego aplicarle una serie de operaciones morfológicas con el objetivo de obtener el número de almendros.



Ilustración 50. Resultado procesamiento usando nube de puntos

A continuación, se muestra una tabla en la que se compara el número real de almendros con los resultados de ejecutar los algoritmos de detección y conteo automático.

Zona del cultivo	Total (unidades)	Visual (unidades)	Contornos (unidades)	Falsos positivos
ZONA1	305	288 (94.43%)	297 (97.38%)	9 (3.12%)

ZONA2	1286	1262 (98.13%)	1299 (101.01%)	5 (0.4%)
ZONA3	1189	1173 (98.65%)	1205 (101.35%)	12 (1.02%)
Total	2780	2723 (97.95%)	2813 (101.2%)*	26 (0.95%)

Tabla 9. Comparativa a partir de ortomosaico RGB con información tridimensional

- **Total (unidades):** Número total de almendros contados manualmente.
- **Visual (unidades):** Número total de almendros contados manualmente tras la ejecución de la función de contornos sobre la imagen final filtrada.
- **Contornos (unidades):** Número total de almendros contados automáticamente sobre la imagen final filtrada.
- **Falsos positivos:** Número total de detecciones automáticas erróneas.

Notas: Los algoritmos se han ejecutado sobre la imagen completa, pero para comparar se ha realizado una división en 3 zonas, lo que ha permitido evaluar de una forma amistosa.

La suma de los 3 sectores por separado da como resultado 2801 unidades (se han perdido 12 unidades) debido al recorte de los sectores en los procesamientos.

Además, se ha determinado la densidad de vegetación en la imagen, diferenciando entre cubierta vegetal asociada a los árboles y cubierta vegetal restante.

- Densidad vegetación: 38.34%
- Cubierta árboles: 50.07%
- Cubierta vegetal restante: 49.93%

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el tratamiento usando información tridimensional de tipo nube de puntos. Rutas “Resultados / RGB / Almendro_RGB / Almendro_filtered” y “Resultados / RGB / Almendro_RGB / Dynamic_filter”.

2. Uso exclusivo de ortomosaico RGB

Dada la dificultad de poder contar con un fichero con información tridimensional de la escena mediante nube de puntos, se considera importante la necesidad de poder generar procesos automáticos para determinar características interesantes del cultivo. Para realizar esto, se han desarrollado filtros que se ejecutan secuencialmente, de forma que (i) pueda binarizarse una imagen a partir de una máscara de color (verde para

vegetación), (ii) ejecutar funciones morfológicas que permiten unificar grupos de píxeles cercanos y (iii) detectar y contar contornos con un tamaño situado entre dos valores umbrales.

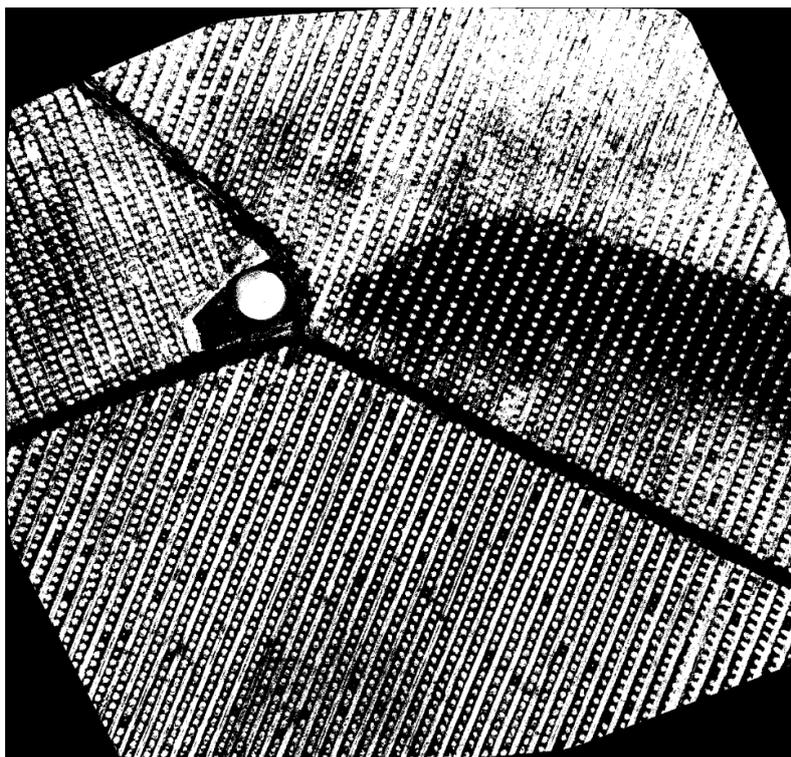


Ilustración 51. Ortomosaico RGB binarizado

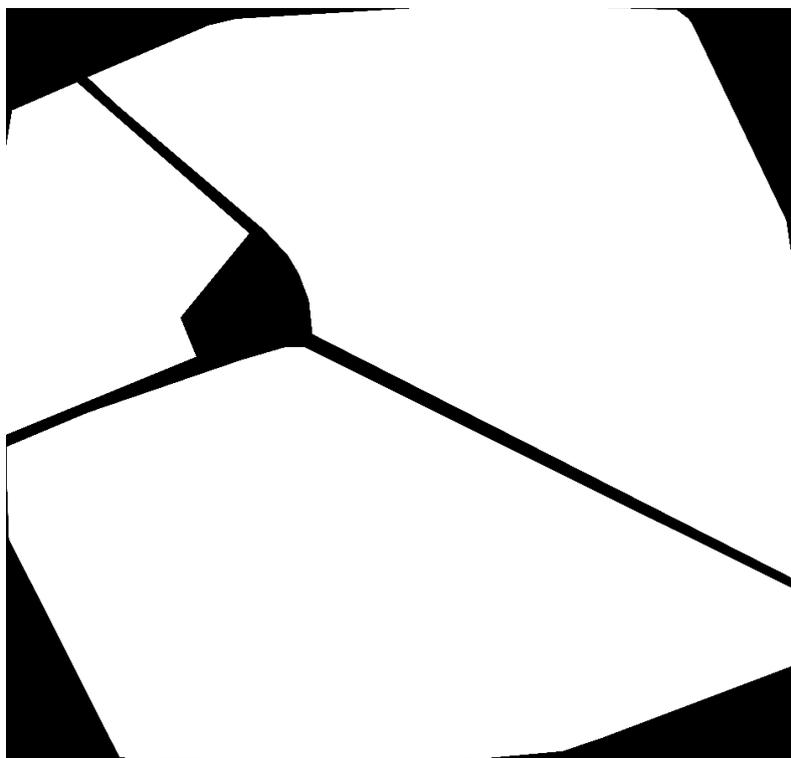


Ilustración 52. Regiones de cultivo del ortomosaico Almendro_RGB.tif



Ilustración 53. Filas de césped eliminadas de la máscara binaria mediante operaciones morfológicas y tratamiento de contornos

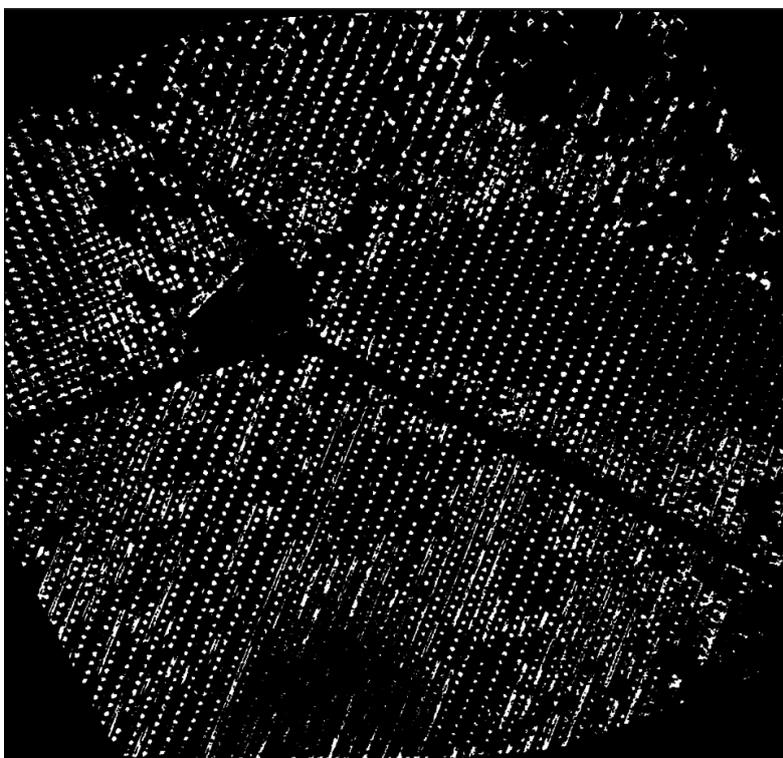


Ilustración 54. Máscara binaria final del ortomosaico Almendro_RGB.tif



Ilustración 55. Cálculo de contornos sobre sección de ortomosaico RGB

A continuación, se muestra una tabla en la que se compara el número real de almendros con los resultados de ejecutar los algoritmos de detección y conteo automático. Se ha realizado también un análisis de la densidad de vegetación y la eficacia de los algoritmos tras disminuir la resolución del ortomosaico aumentando el GSD.

GSD (m/pix)	Total almendros (unidades)	Almendros detectados (software)	Falsos positivos	Almendros detectados (reales)	Densidad Vegetación
0.0283 (original)	3001	2830 (94.3%)	529 (18.69%)	2301 (76.67%)	48.22% (14.48% alm)
0.05 (56.6% res)	“	2795 (93.14%)	516 (18.46%)	2279(75.94%)	48.49% (13.67% alm)
0.10 (28.3% res)	“	2570 (85.64%)	345 (13.42%)	2275 (75.81%)	48.80% (15.22% alm)
0.15 (18.87% res)	“	2997 (99.87%)	696 (23.22%)	2301 (76.67%)	49.03% (8.06% alm)
0.20 (14.15% res)	“	2885 (96.14%)	594 (20.59%)	2291 (76.34%)	49.26% (11.09% alm)
0.25 (11.32% res)	“	2948 (98.23%)	566 (19.20%)	2382 (79.37%)	49.41% (11.58% alm)
0.30 (9.43% res)	“	2476 (82.5%)	342 (13.81%)	2134 (71.11%)	49.60% (10.1% alm)
0.35 (8.09% res)	“	2168 (72.24%)	286 (13.19%)	1882 (62.71%)	49.78% (8.51% alm)
0.40 (7.08% res)	“	1971 (65.68%)	359 (18.21%)	1612 (53.85%)	49.98% (7.24% alm)
0.45 (6.29% res)	“	2968 (98.9%)	772 (26.01%)	2196(73.18%)	50.07% (7.36% alm)
0.50 (5.66% res)	“	2696 (89.84%)	660 (24.48%)	2036 (67.84%)	50.13% (7.33% alm)
1 (2.83% res)	“	1516 (50.52%)	209 (13.79%)	1307 (43.55%)	51.36% (6.61% alm)
2.5 (1.13% res)	“	458 (15.26%)	199 (43.45%)	259 (8.63%)	53.72% (25.4% alm)
5 (0.57% res)	“	102 (3.40%)	42 (41.18%)	60 (2.0%)	54.95% (19.86% alm)
10 (0.28% res)	“	28 (0.93%)	13 (46.43%)	15 (0.50%)	55.97% (22.37% alm)

Tabla 10. Resultados del procesamiento del ortomosaico Almendro_RGB.tif para distintos valores de GSD

- **Total almendros (unidades):** Número total de almendros contados manualmente.

- Almendros detectados (software): Número total de almendros contados automáticamente sobre la imagen final filtrada.
- Falsos positivos: Número total de detecciones automáticas erróneas.
- Almendros detectados (reales): Número total de almendros detectados sin contar los falsos positivos.
- Densidad Vegetación: porcentaje de vegetación de la región de cultivo incluyendo almendros y hierba, acompañado del porcentaje de almendros o fracción de cabida cubierta.

Tras procesar la imagen es conveniente señalar algunas observaciones.

- Con el objetivo de eliminar toda la hierba posible para una mejor detección de los almendros, es necesario realizar operaciones morfológicas bastante “agresivas”, lo que provoca la no detección de algunos almendros más jóvenes o cuyas copas no sean muy voluminosas y esto a su vez desemboca en una reducción de la fracción de cabida cubierta de los almendros, de ahí los reducidos porcentajes de almendros de la Tabla 10.
- La gran cantidad de hierba presente en el ortomosaico se ve incluida en la máscara binarizada de vegetación por similitud de color con los almendros y aunque se realicen operaciones morfológicas para eliminarla siempre quedan restos de tamaños parecidos a los almendros en la máscara final. Esto provoca que al realizar la detección de almendros, se detecten también restos de hierba y aumenten los casos de falsos positivos.
- Conforme se aumenta el valor de GSD es necesario reducir la “agresividad” de las operaciones morfológicas y reducir los umbrales de tamaño de los contornos para poder detectar los almendros que cada vez son representados por menos píxeles. Esto puede derivar en un aumento de casos de falsos positivos por restos de hierba que antes no estaban siendo detectados, como ocurre en los casos de 0.45 y 0.50 como valores de GSD de la Tabla 10.

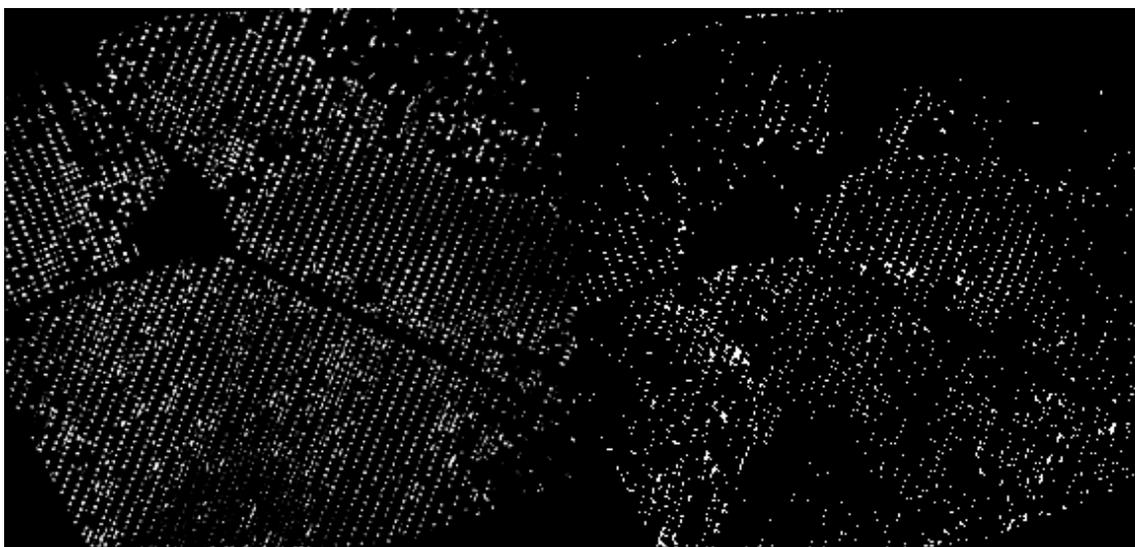


Ilustración 56. Efectos de la degradación en la máscara binaria final del ortomosaico Almendro_RGB.tif (0.1 GSD izquierda y 1 GSD derecha)

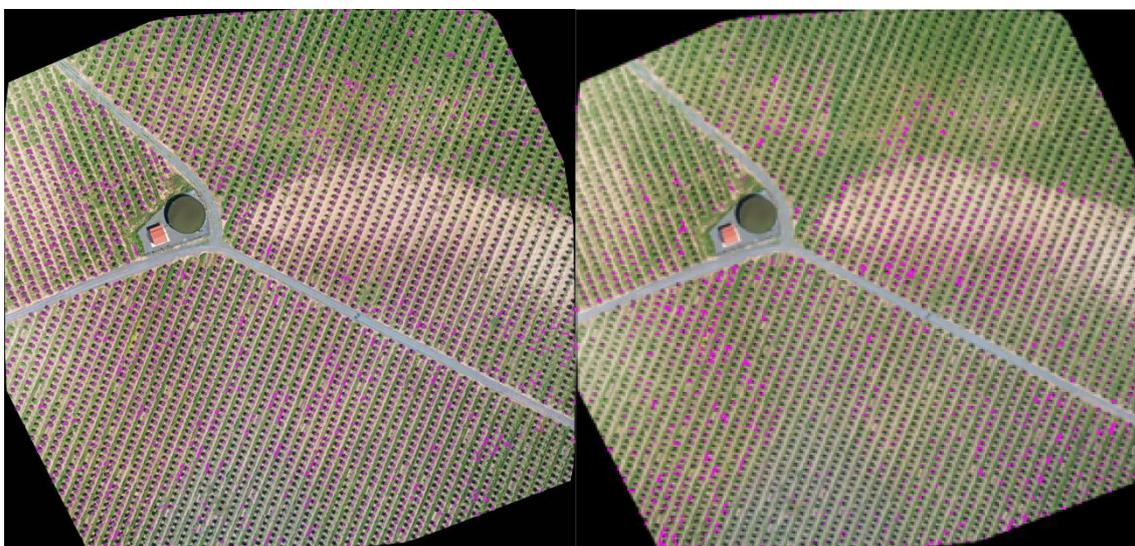


Ilustración 57. Efectos de la degradación en los contornos detectados en el ortomosaico Almendro_RGB.tif (0.1 GSD izquierda y 1 GSD derecha)

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el tratamiento sobre el ortomosaico RGB para el resto de valores de GSD. Ruta **“Resultados / RGB / Almendro_RGB”**.

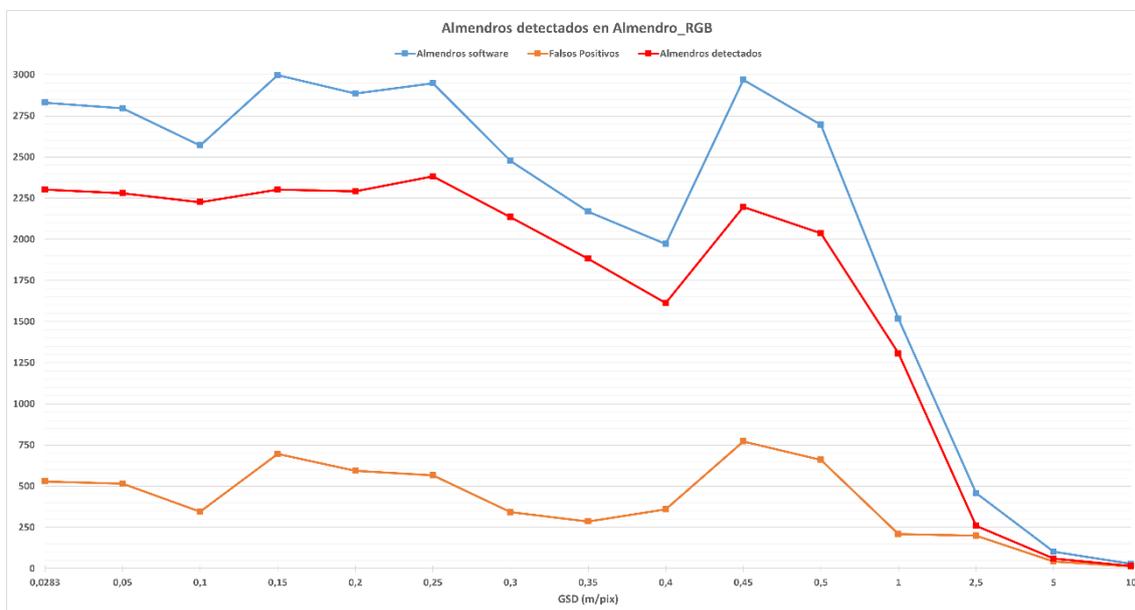


Ilustración 58. Efectos de la degradación en el nº de almendros detectados en Almendro_RGB.tif

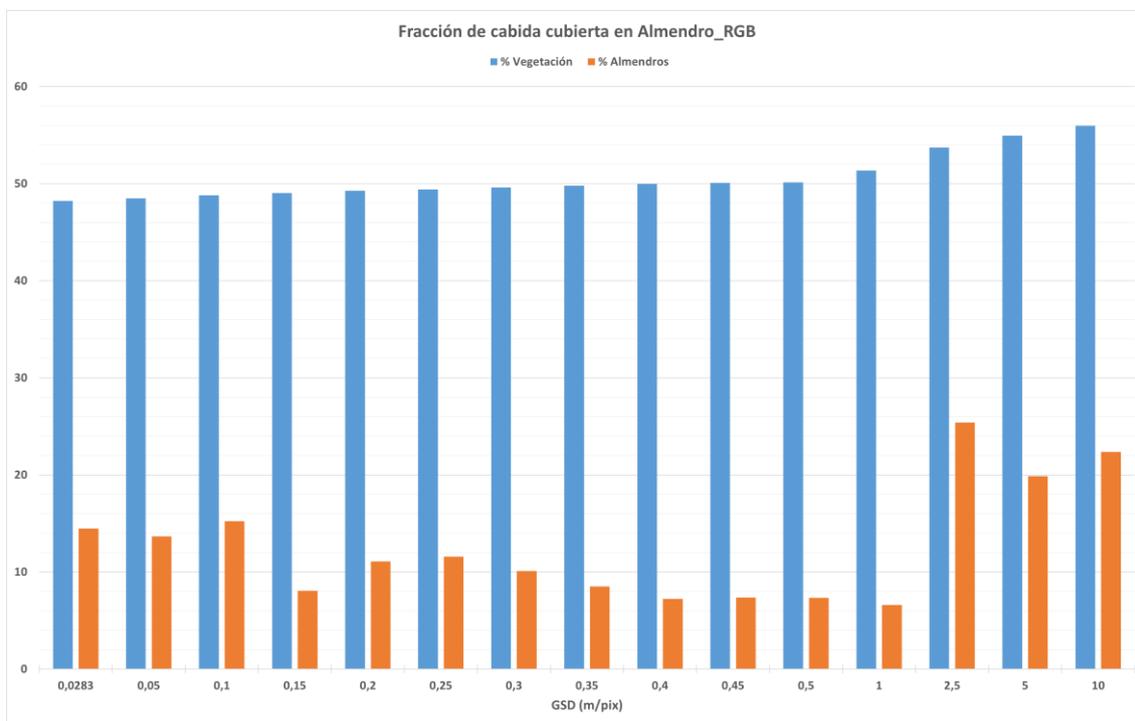


Ilustración 59. Efectos de la degradación en la fracción de cabida cubierta en Almendro_RGB.tif

B. Viñedos

El tratamiento de imágenes RGB de viñas es prácticamente idéntico al que se ha explicado en el apartado de multiespectrales. La única diferencia reside en la segunda etapa del procesamiento, es decir, en la obtención de la máscara o imagen binarizada que segmenta la vegetación objetivo del resto de la imagen. Mientras que el tratamiento de las imágenes multiespectrales se apoyaba en el uso del NDVI para obtener la máscara, sobre las imágenes RGB se aplica un filtro de color HSV para quedarnos con los píxeles de vegetación que nos interesan y así obtener dicha máscara. El resto de pasos del procesamiento es exactamente el mismo que para las multiespectrales.

1. Archivo Viña_espaldera_2.tif

Este ortomosaico RGB se ha obtenido del mismo cultivo que tenemos en el ortomosaico multiespectral Vineyard_Sequoia.tif, tal y como puede comprobarse en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la Ilustración 60, lo cual nos permitirá realizar un análisis de las ventajas que puede suponer apoyarse en ortomosaicos multiespectrales para complementar o sustituir a los ortomosaicos RGB. La imagen binaria o máscara que obtenemos tras aplicarle un filtro HSV al ortomosaico, véase la Ilustración 61, nos permite segmentar las vides del resto de la imagen después de acotarla a la región de cultivo, véase la Ilustración 62, y someterla a una serie de operaciones morfológicas.

Tras detectar los segmentos de los contornos de vegetación, detectar los huecos y rellenar las filas de cultivo con las marras se obtiene como resultado las imágenes de la Ilustración 63 en la que se pueden apreciar las filas detectadas y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en la que también se pueden ver los huecos (marras y pasillos) detectados.



Ilustración 60. Ortomosaico RGB Viña_espaldera_2.tif

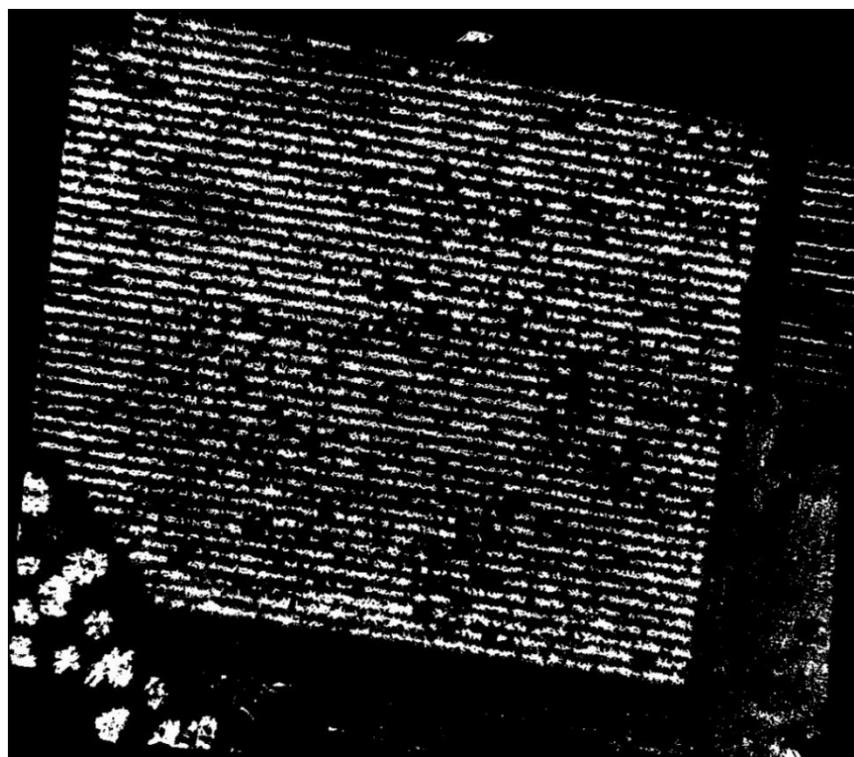


Ilustración 61. Máscara del ortomosaico Viña_espaldera_2.tif tras aplicarle el filtro HSV

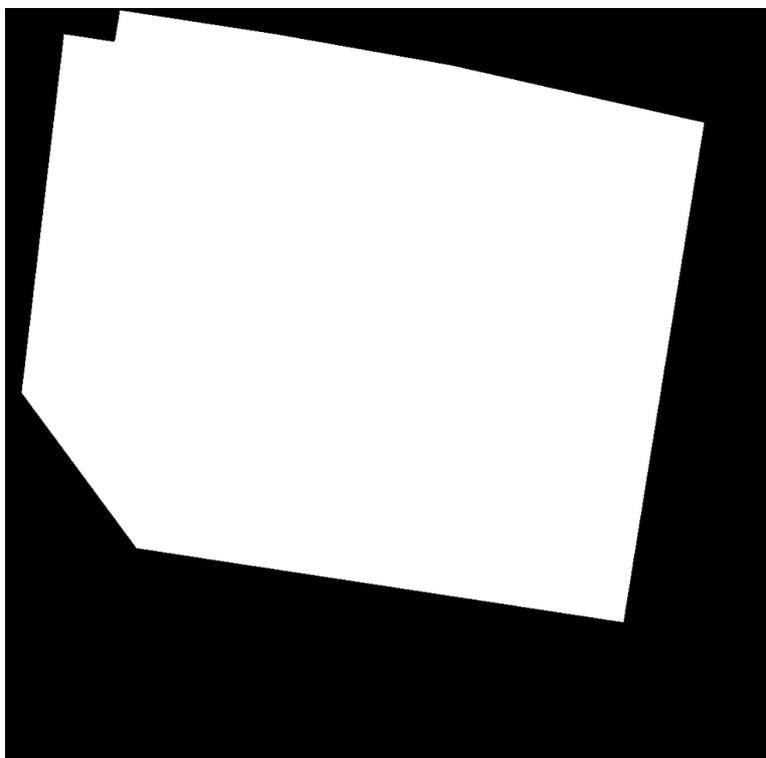


Ilustración 62. Región de cultivo del ortomosaico *Viña_espaldera_2.tif*

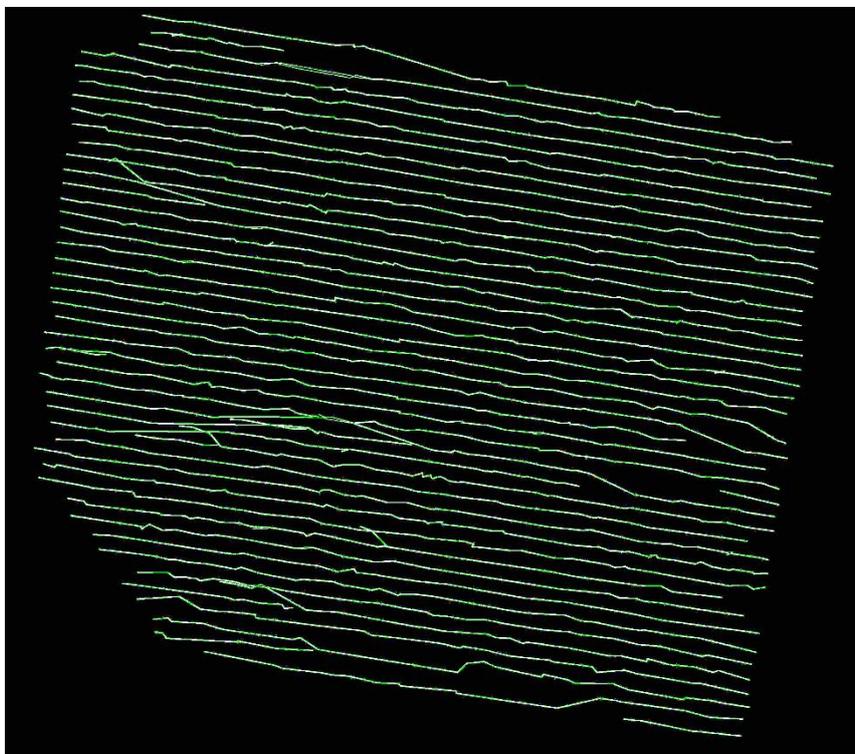


Ilustración 63. Calles de cultivo detectadas para el ortomosaico RGB *Viña_espaldera_2.tif* con GSD 0.05



Ilustración 64. Calles de cultivo y huecos detectados para el ortomosaico RGB Viña_espaldera_2.tif con GSD 0.05

A continuación, se muestra una tabla en la que se compara el número real de calles de cultivo y huecos con los resultados de ejecutar los algoritmos de detección y conteo automático. Se ha realizado también un análisis de la densidad de vegetación y la eficacia de los algoritmos tras disminuir la resolución del ortomosaico aumentando el GSD.

GSD (m/pixel)	Densidad Vegetación	Total filas (uds)	Filas detectadas (software)	Falsos positivos filas	Filas detectadas (reales)	Total huecos (uds)	Huecos detectados
0.0116 (Original)	20.68 %	43	52 (121%)	9 (17.31%)	43 (100%)	1246	824 (66.13%)
0.05 (23.2% res)	21.38 %	“	44 (102.33%)	1 (2.27%)	43 (100%)	“	699 (56.1%)
0.10 (11.6% res)	22.38 %	“	44 (102.33%)	1 (2.27%)	43 (100%)	“	531 (42.62%)
0.15 (7.73% res)	22.85 %	“	44 (102.33%)	1 (2.27%)	43 (100%)	“	542 (43.50%)
0.20 (5.8% res)	23.59 %	“	44 (102.33%)	1 (2.27%)	43 (100%)	“	503 (40.37%)
0.25 (4.64% res)	23.71 %	“	44 (102.33%)	1 (2.27%)	43 (100%)	“	600 (48.15%)
0.30 (3.87% res)	23.79 %	“	39 (90.7%)	6 (15.38%)	33 (76.74%)	“	544 (43.66%)
0.35 (3.31% res)	23.41 %	“	52 (120.9%)	10 (19.23%)	42 (97.67%)	“	581 (46.63%)

0.40 (2.9% res)	23.25 %	“	46 (107%)	5 (10.87%)	41 (95.35%)	“	532 (42.7%)
0.45 (2.58% res)	22.88 %	“	47 (109.3%)	11 (23.4%)	36 (83.72%)	“	551 (44.22%)
0.50 (2.32% res)	22.79 %	“	53 (123.25%)	14 (26.41%)	39 (90.7%)	“	514 (41.25%)
1 (1.16% res)	14.9 %	“	31 (72.09%)	1 (3.23%)	30 (69.77%)	“	89 (7.14%)
2.5 (0.46% res)	6.28 %	“	4 (9.3%)	0 (0%)	4 (9.3%)	“	0 (0%)
5 (0.23% res)	3.82 %	“	1 (2.33%)	0 (0%)	1 (2.33%)	“	1 (0.08%)
10 (0.12% res)	0.64 %	“	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	“	0 (0%)

Tabla 11. Resultados del procesamiento del ortomosaico RGB Viña_espaldera_2.tif para distintos valores de GSD

- **Densidad Vegetación:** Porcentaje de vegetación objetivo.
- **Total filas (uds):** Número total de calles de cultivo contadas manualmente.
- **Filas detectadas (software):** Número de filas detectadas automáticamente por el algoritmo.
- **Falsos positivos filas:** Número total de detecciones automáticas erróneas de calles de cultivo.
- **Filas detectadas (reales):** Número de filas reales detectadas sin contar los falsos positivos.
- **Total huecos (uds):** Número total de huecos entre la vegetación (marras) contados manualmente.
- **Huecos detectados:** Número de huecos (marras) detectados automáticamente por el algoritmo.

Tras procesar la imagen es conveniente señalar algunas observaciones.

- Si las vides son demasiado pequeñas y no son detectadas, se detectarían las marras entre los segmentos que sí han sido detectados, las cuales contendrían a dichas pequeñas vides y a las correspondientes marras que hubiese entre ellos y que no están siendo contadas. Es por ello que hay un porcentaje alto de marras que no están siendo detectadas. Un ejemplo de esto puede verse en la ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***, en la que las marras centrales de las 2ª y 3ª filas englobarían realmente a las 7 y 4 marras que hay entre las vides pequeñas respectivamente.
- Las vides pequeñas también afectan a la detección de filas puesto que se ha intentado incluir solo algunos trozos pequeños teniendo en cuenta que la orientación y la relación anchura-altura de estas vides es peor cuanto más pequeñas sean y dificultan en gran medida la detección adecuada de las filas de cultivo.
- A la hora de ajustar los parámetros de los algoritmos se ha buscado maximizar la eficiencia a pesar de que los resultados muestren líneas que se cruzan (estos cruces son debidos especialmente a la orientación de las pequeñas vides) y otras líneas que no terminan de completar sus huecos (la falta de vides en esas zonas provocaba que

la distancia entre un segmento y otro fuese muy grande y si se aumentaba la distancia máxima permitida en los parámetros se acababan obteniendo aún más líneas cruzadas por las malas orientaciones de las vides de alrededor).

- A partir de 0.45 m/píxel como valor de GSD los resultados comienzan a empeorar aumentando el número de falsos positivos de filas por los cruces indeseados de calles y el número de huecos no detectados y por tanto una reducción del número de filas.

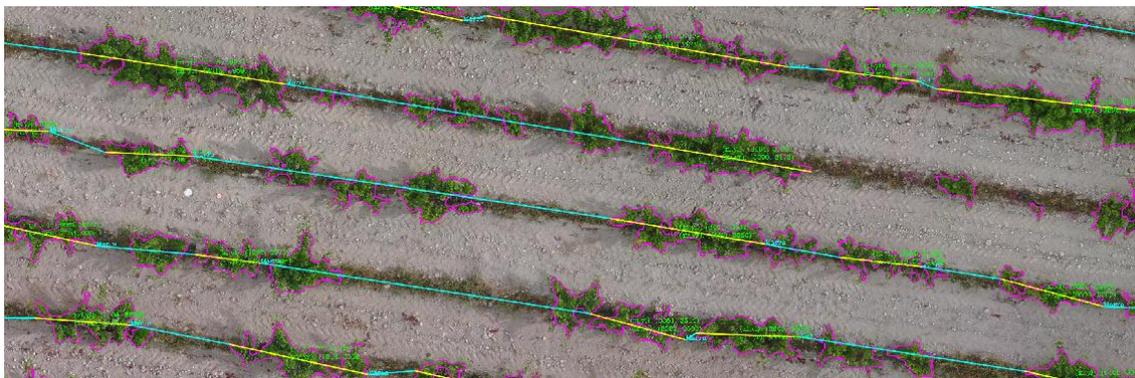


Ilustración 65. Ejemplo de la problemática en la detección de marras

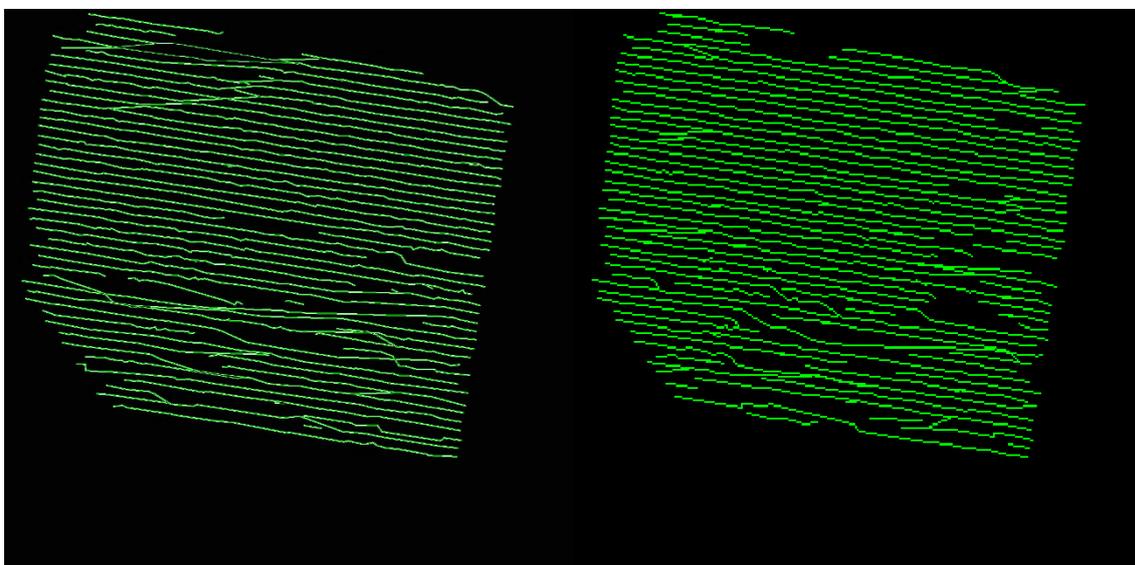


Ilustración 66. Efectos de la degradación en la máscara de líneas detectadas en Viña_espaldera_2.tif (0.1 GSD izquierda y 0.5 GSD derecha)

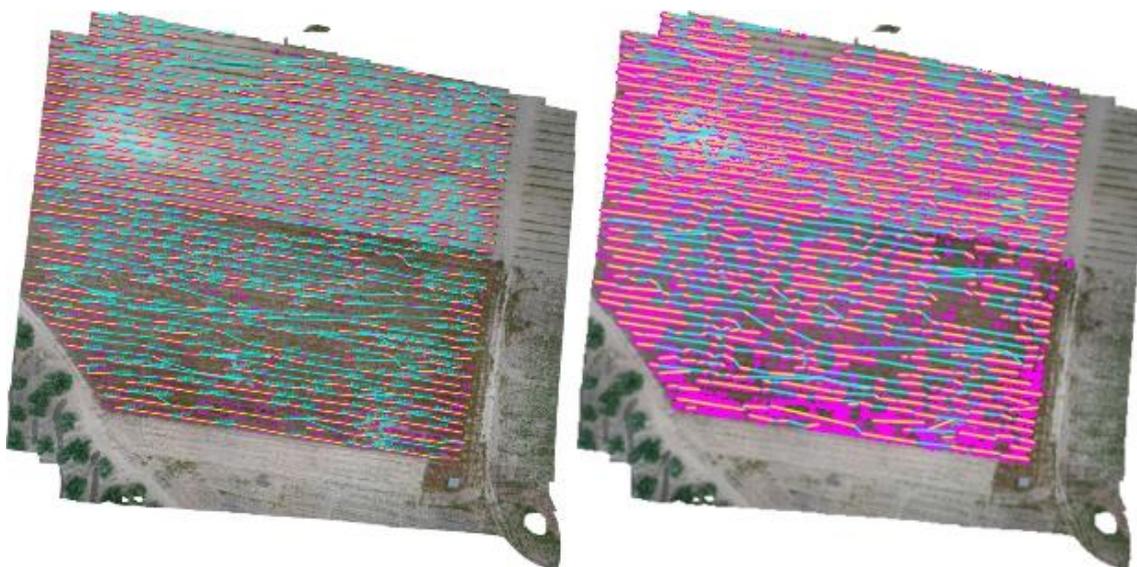


Ilustración 67. Efectos de la degradación en la imagen de filas detectadas en *Viña_espaldera_2.tif* (0.1 GSD izquierda y 0.5 GSD derecha)

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el tratamiento sobre el ortomosaico RGB para el resto de valores de GSD. Ruta **“Resultados / RGB / Viña_espaldera_2”**.

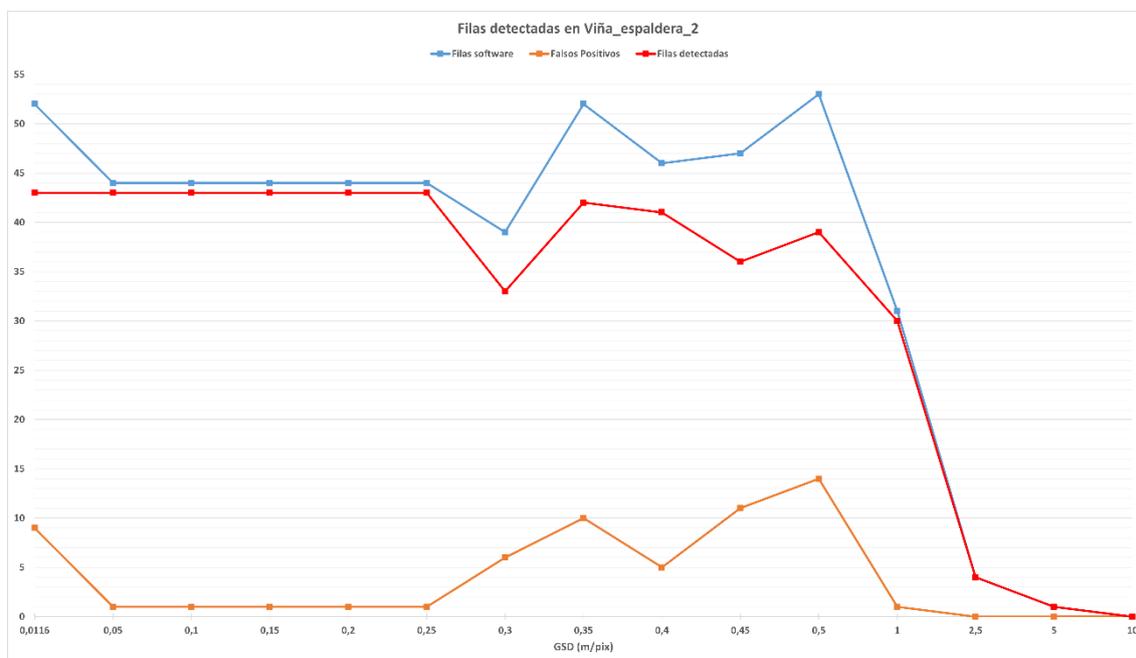


Ilustración 68. Efectos de la degradación en el nº de filas detectadas en *Viña_espaldera_2.tif*

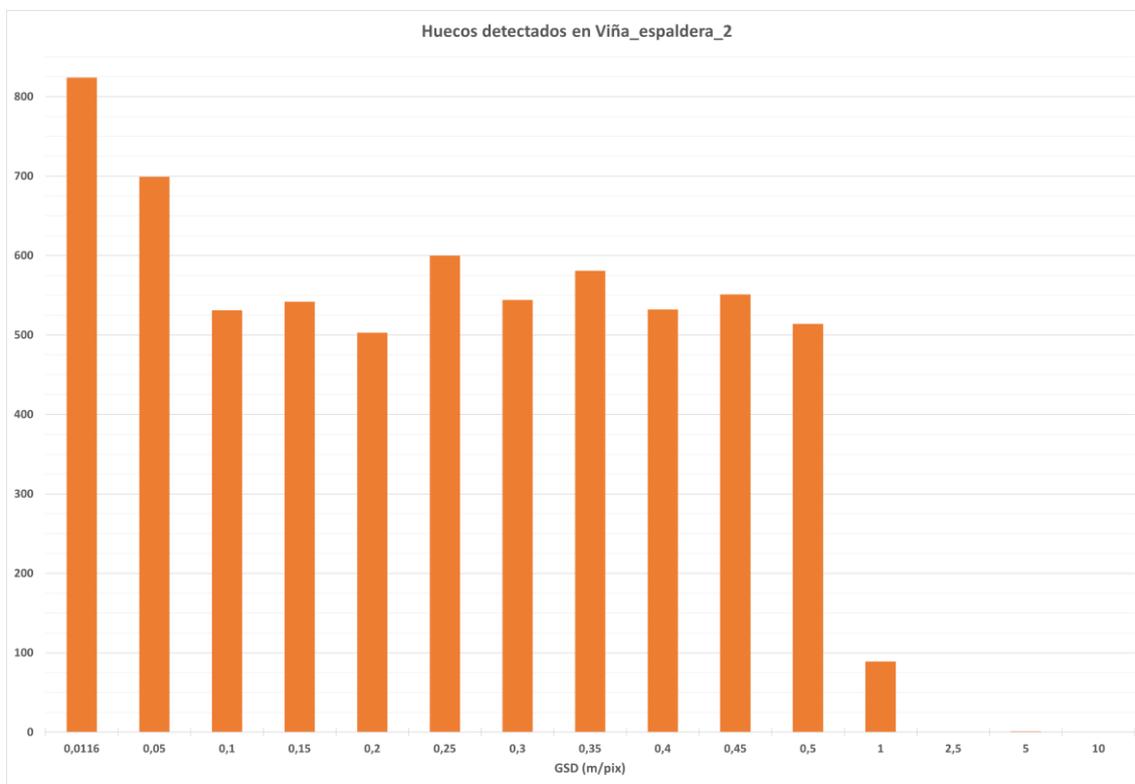


Ilustración 69. Efectos de la degradación en el nº de huecos detectados en Viña_espaldera_2.tif

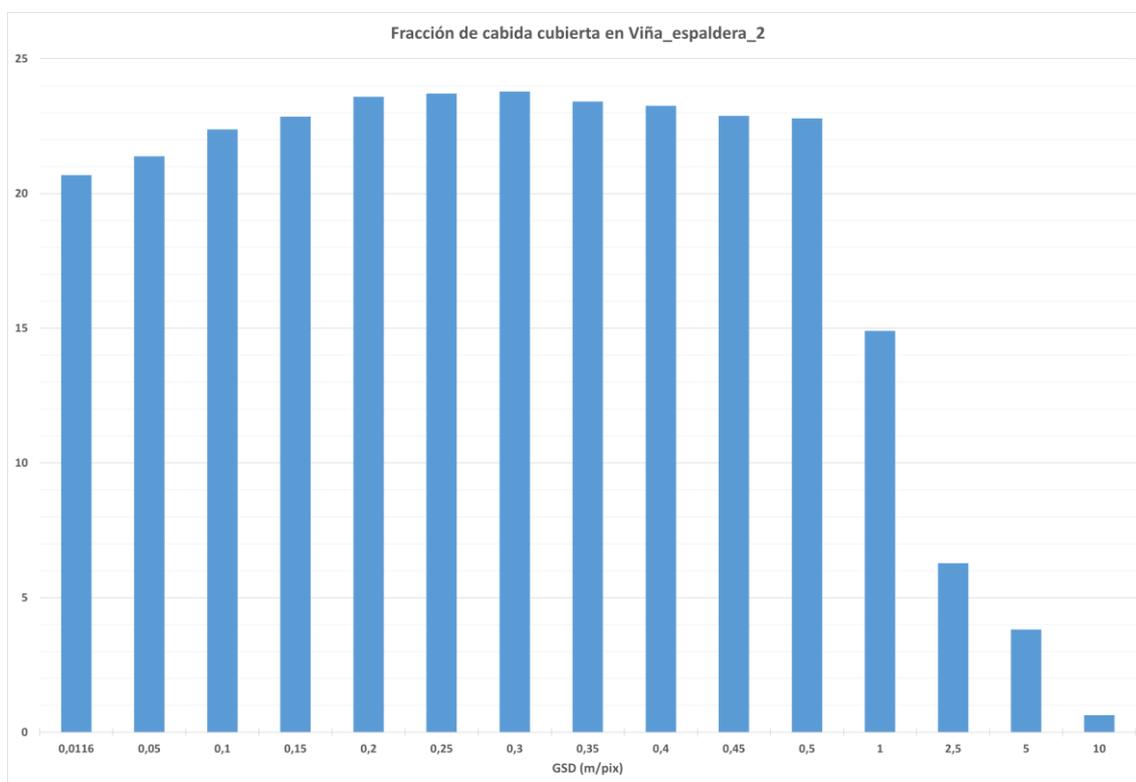


Ilustración 70. Efectos de la degradación en la fracción de cabida cubierta en Viña_espaldera_2.tif

C. Olivares

El tratamiento de imágenes RGB de olivares depende de si se trata de un cultivo de tipo tradicional o de tipo intensivo. Para los cultivos tradicionales de olivos, el procesamiento es prácticamente idéntico al que se ha explicado en el apartado de los almendros. La única diferencia reside en que en este caso, al no haber hierba que empeore la segmentación por color, no es necesario aplicar operaciones morfológicas agresivas sino que basta con realizar un par de operaciones morfológicas de apertura y cierre para posteriormente realizar la detección de contornos. En el caso de cultivos intensivos de olivos, el procesamiento sería idéntico al de los viñedos pues se basa en la detección de filas de cultivo.

1. Archivo Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif

El ortomosaico RGB de este olivar tradicional se puede observar en la Ilustración 71 mientras que la máscara binaria obtenida tras aplicar un filtro HSV puede verse en la Ilustración 72. La región de cultivo seleccionada para el procesamiento ha sido la que se muestra en la Ilustración 73 y la máscara binaria final puede observarse en la Ilustración 74. Finalmente, en la Ilustración 75 se muestra la imagen del ortomosaico con los contornos dibujados de los olivos detectados.

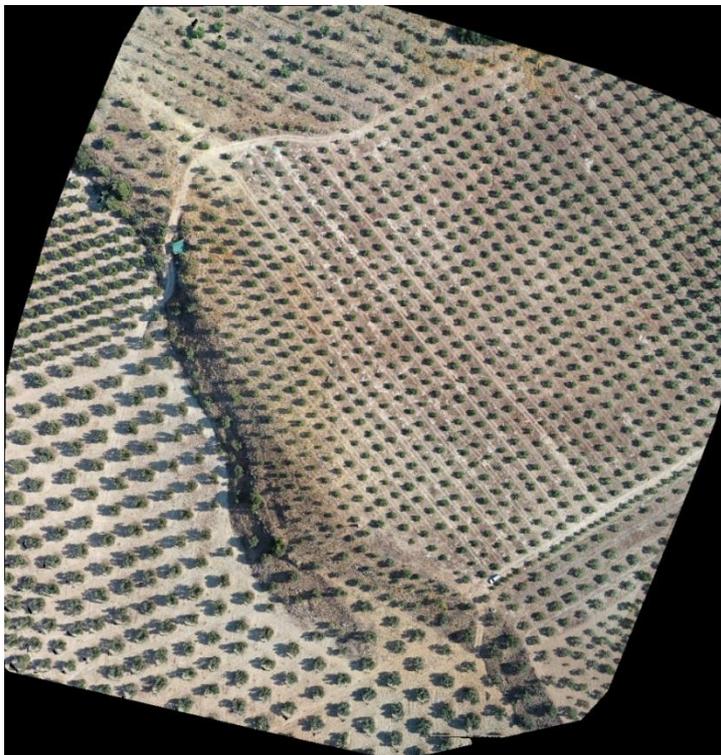


Ilustración 71. Ortomosaico RGB del olivar tradicional correspondiente al archivo Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif

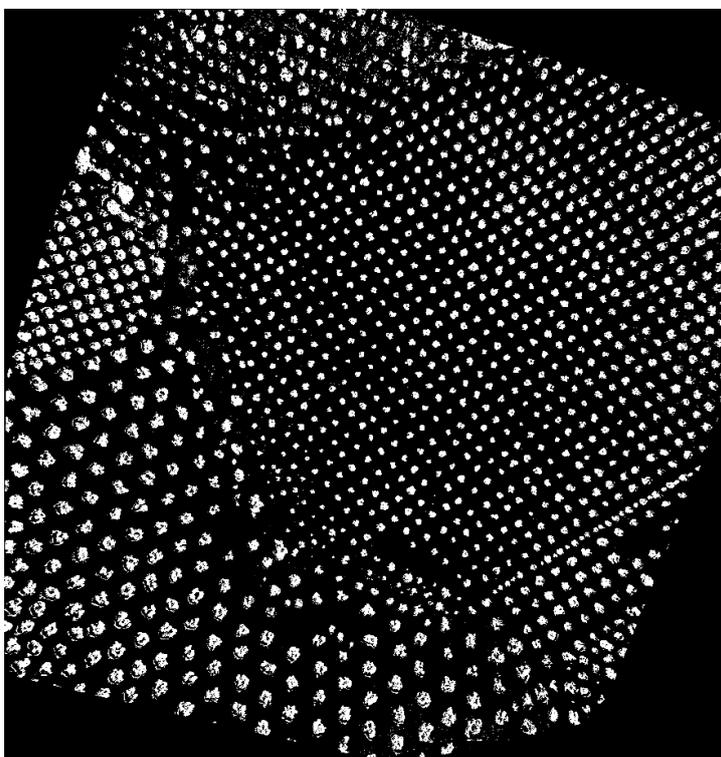


Ilustración 72. Máscara binaria de vegetación tras aplicar filtro HSV sobre el ortomosaico de Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif

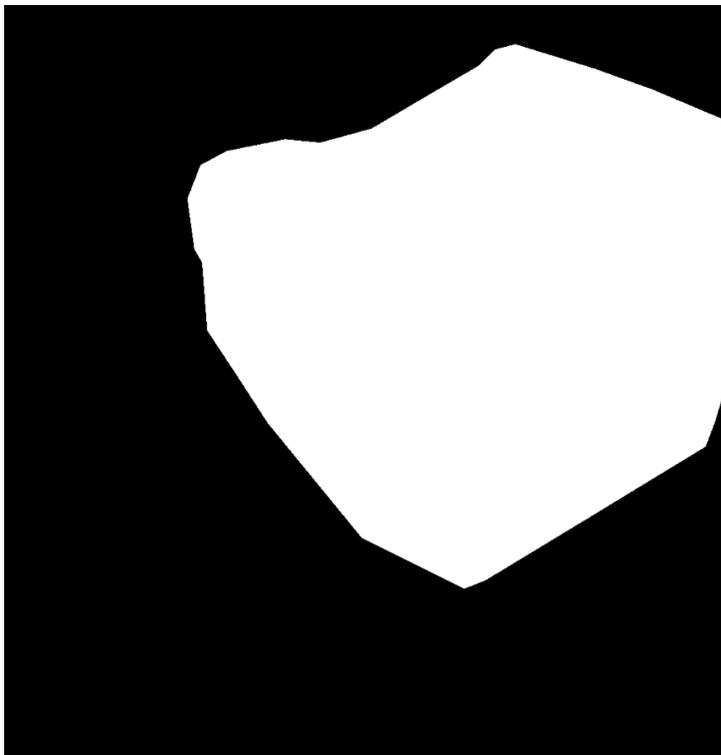


Ilustración 73. Región de cultivo correspondiente al archivo *Puente_Genil_Oliver_Tradicional.tif*

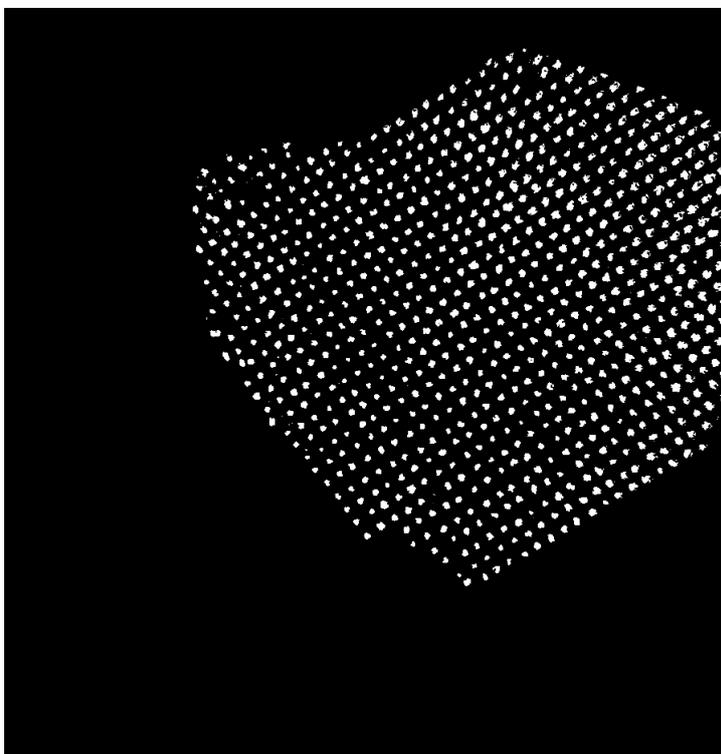


Ilustración 74. Máscara binaria final tras aplicar operaciones morfológicas sobre el ortomosaico de *Puente_Genil_Oliver_Tradicional.tif*

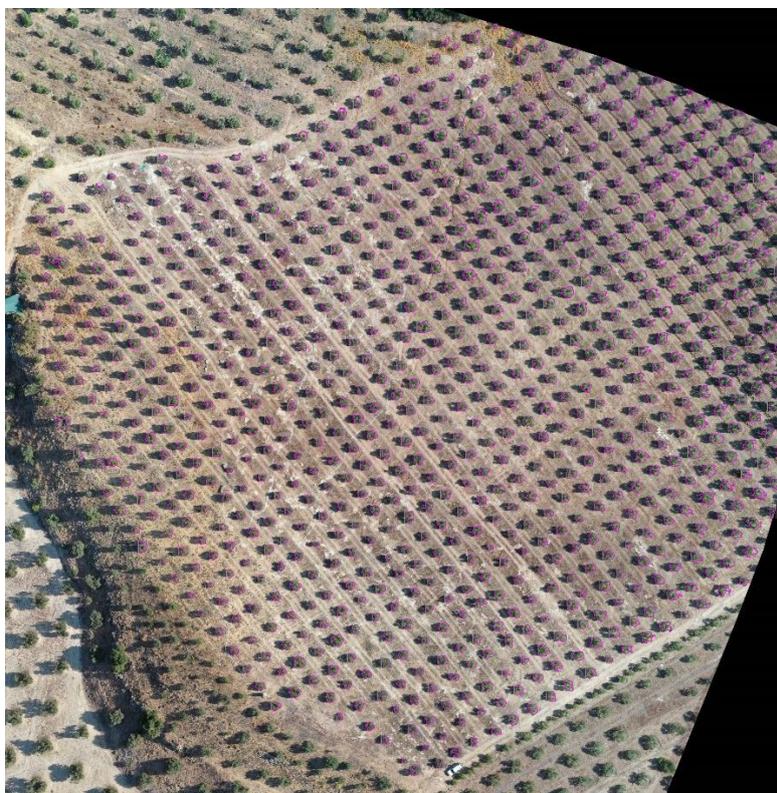


Ilustración 75. Olivos detectados en el ortomosaico del archivo *Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif*

A continuación, se muestra una tabla en la que se compara el número real de olivos con los resultados de ejecutar los algoritmos de detección y conteo automático. Se ha realizado también un análisis de la densidad de vegetación y la eficacia de los algoritmos tras disminuir la resolución del ortomosaico aumentando el GSD.

GSD (m/pix)	Total olivos (unidades)	Olivos detectados (software)	Falsos positivos	Olivos detectados (reales)	Densidad Vegetación
0.03211 (original)	828	825 (99.64%)	0 (0%)	825 (99.64%)	13.54 %
0.05 (64.22% res)	“	824 (99.52%)	0 (0%)	824 (99.52%)	13.68 %
0.10 (32.11% res)	“	825 (99.64%)	0 (%)	825 (99.64%)	13.85 %
0.15 (21.41% res)	“	827 (99.88%)	2 (0.24%)	825 (99.64%)	13.99 %
0.20 (16.06% res)	“	825 (99.64%)	0 (0%)	825 (99.64%)	14.11 %
0.25 (12.84% res)	“	825 (99.64%)	0 (0%)	825 (99.64%)	14.23 %
0.30 (10.70% res)	“	831 (100.36%)	5 (0.6%)	826 (99.76%)	14.35 %

0.35 (9.17% res)	“	832 (100.48%)	5 (0.6%)	827 (99.88%)	14.45 %
0.40 (8.03% res)	“	832 (100.48%)	7 (0.84%)	825 (99.64%)	14.57 %
0.45 (7.14% res)	“	828 (100%)	4 (0.48%)	824 (99.52%)	14.64 %
0.50 (6.42% res)	“	827 (99.88%)	1 (0.12%)	826 (99.76%)	14.69 %
1 (3.21% res)	“	824 (99.52%)	2 (0.24%)	822 (99.28%)	15.13 %
2.5 (1.28% res)	“	567 (68.48%)	5 (0.88%)	562 (67.87%)	12.03 %
5 (0.64% res)	“	15 (1.81%)	3 (0.2%)	12 (1.45%)	1.75 %
10 (0.32% res)	“	1 (0.12%)	0 (0%)	1 (0.12%)	0.25 %

Tabla 12. Resultados del procesamiento del ortomosaico RGB Puento_Genil_Olivar_Tradicional.tif para distintos valores de GSD

- **Total olivos (unidades):** Número total de olivos contados manualmente.
- **Olivos detectados (software):** Número total de olivos contados automáticamente sobre la imagen final filtrada.
- **Falsos positivos:** Número total de detecciones automáticas erróneas.
- **Olivos detectados (reales):** Número de olivos detectados sin contar los falsos positivos.
- **Densidad Vegetación:** porcentaje de vegetación de la región de cultivo o fracción de cabida cubierta.

Tras procesar la imagen es conveniente señalar algunas observaciones.

- El procesamiento de este cultivo es bastante bueno siempre y cuando se vayan optimizando los parámetros del algoritmo conforme se vaya aumentando el GSD. A partir de un GSD de 2.5 m/pix la detección empeora considerablemente, se van dejando de detectar los olivos con copas más pequeñas.

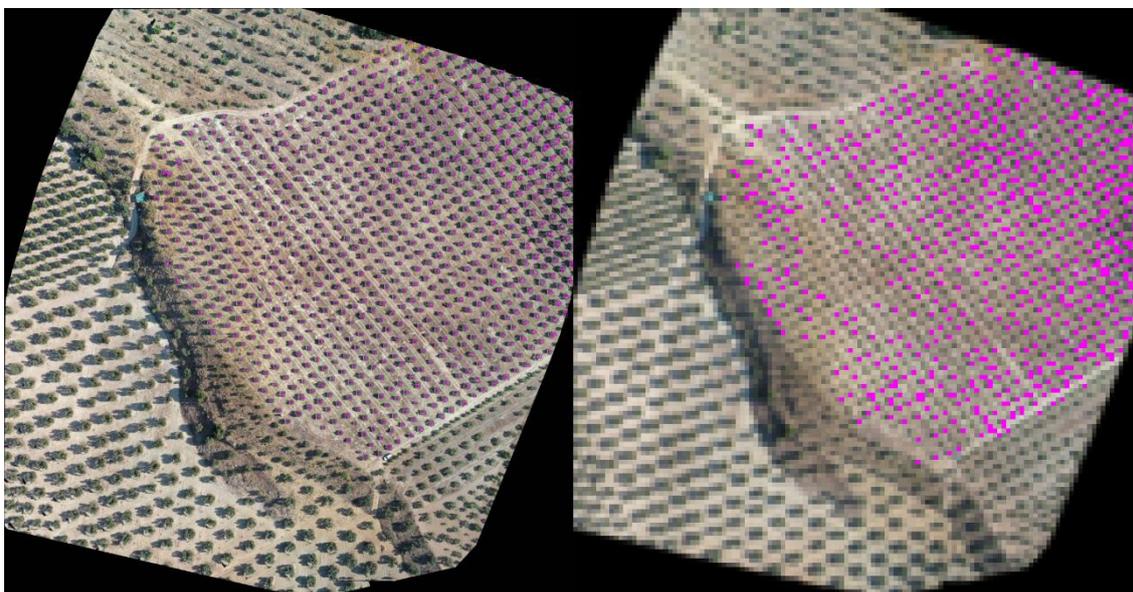


Ilustración 76. Efectos de la degradación en la imagen de olivos detectados en *Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif* (0.2 GSD izquierda y 2.5 GSD derecha)

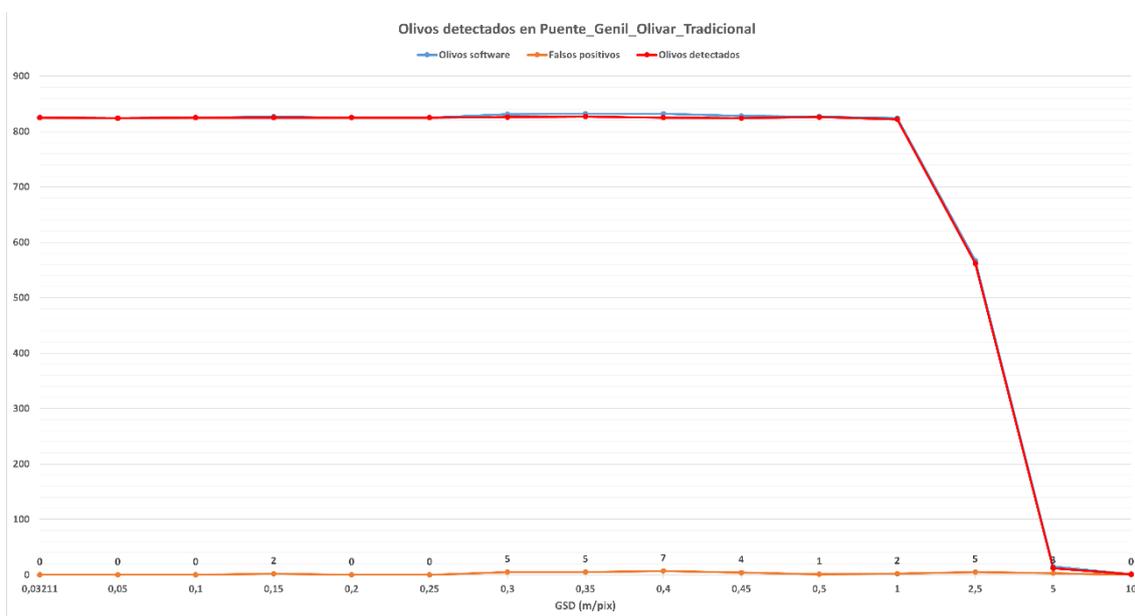


Ilustración 77. Efectos de la degradación en el nº de olivos detectados en *Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif*

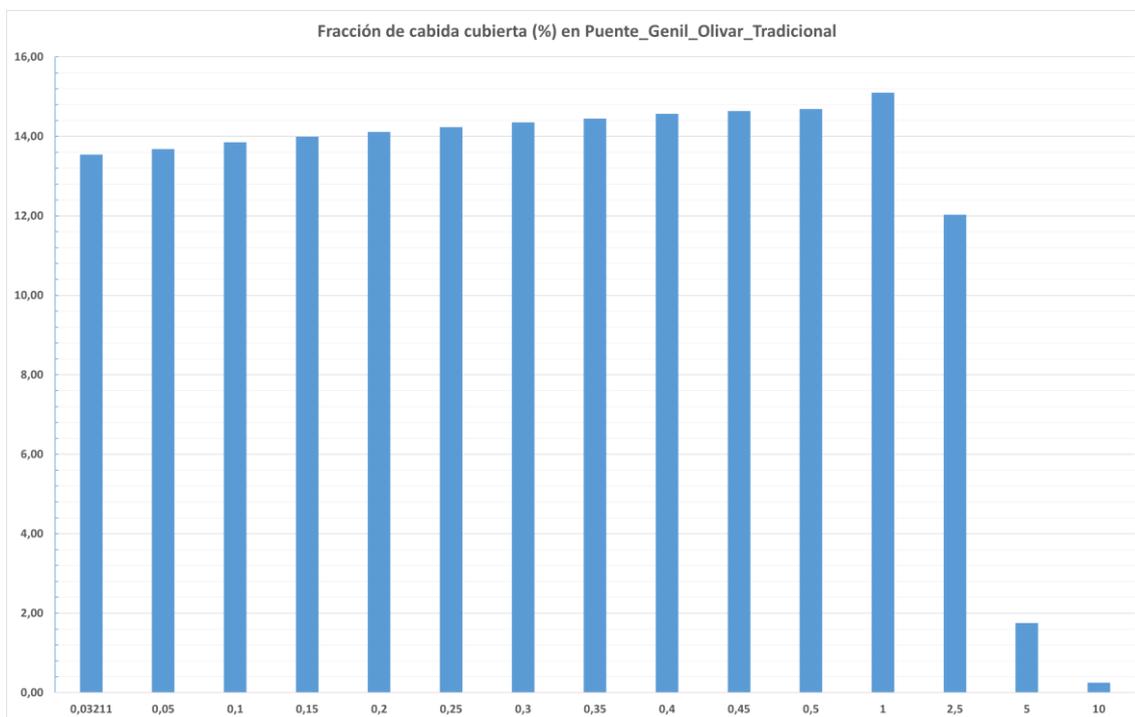


Ilustración 78. Efectos de la degradación en la fracción de cabida cubierta en Puente_Genil_Oliver_Tradicional.tif

Nota: En el fichero adjunto se pueden encontrar las imágenes resultantes de aplicar el tratamiento sobre el ortomosaico RGB para el resto de valores de GSD. Ruta **“Resultados / RGB / PuenteGenil_Oliver_Tradicional”**.

IV. Anexo

En este apartado se muestran algunas imágenes que contienen las detecciones resultantes de los procedimientos de tres valores de GSD distintos, uno a resolución original, otro con una degradación intermedia que funciona bien y un último con degradación alta y que presente malos resultados. Todo ello con el objetivo de comparar los resultados y observar el efecto de la degradación más detalladamente.

A. Almendros

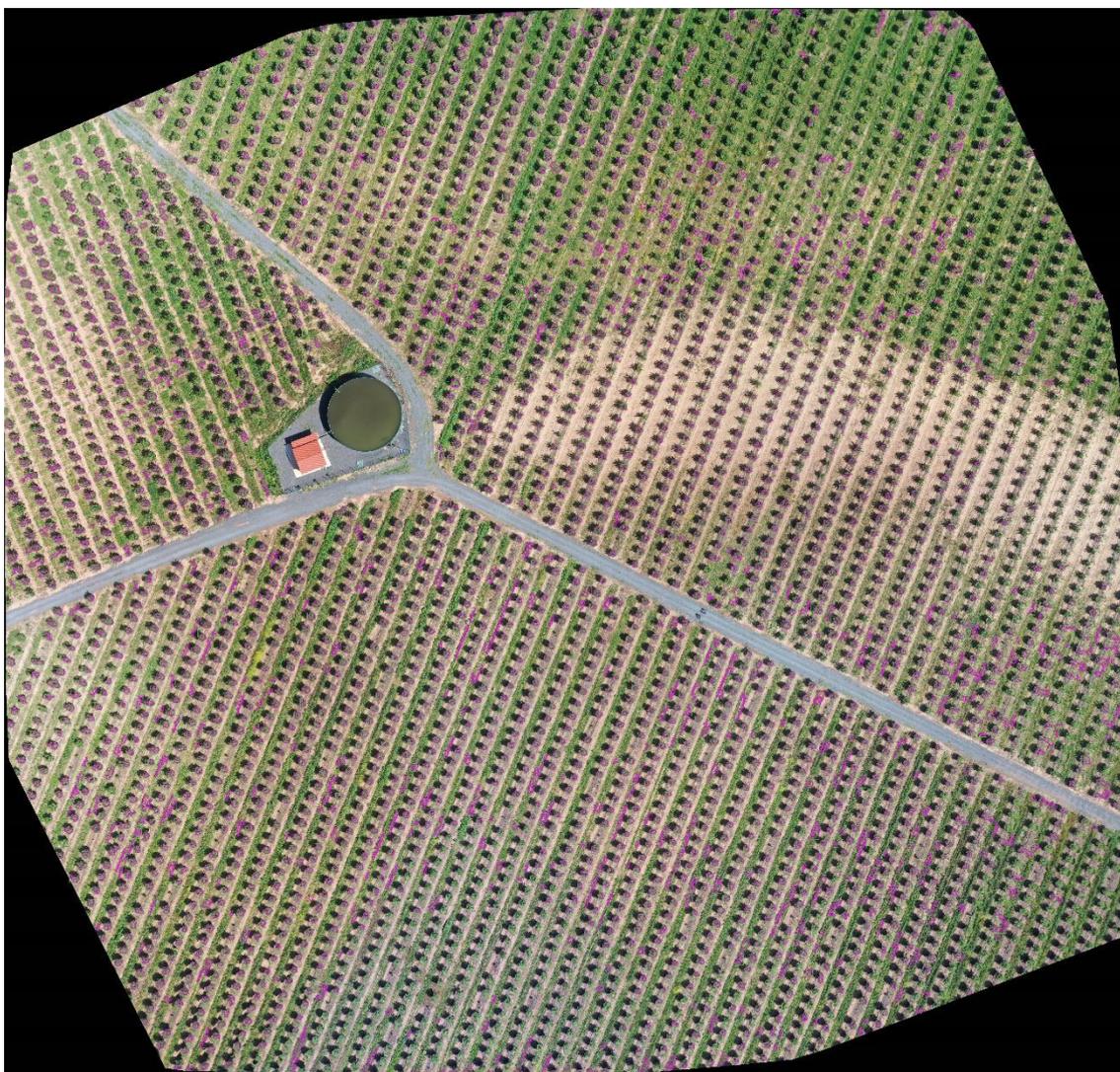


Ilustración 79. Detección de almendros sobre el ortomosaico RGB de Almendro_RGB.tif a resolución original



Ilustración 80. Detección de almendros sobre el ortomosaico RGB de Almendro_RGB.tif con un GSD de 0.25 m/pix

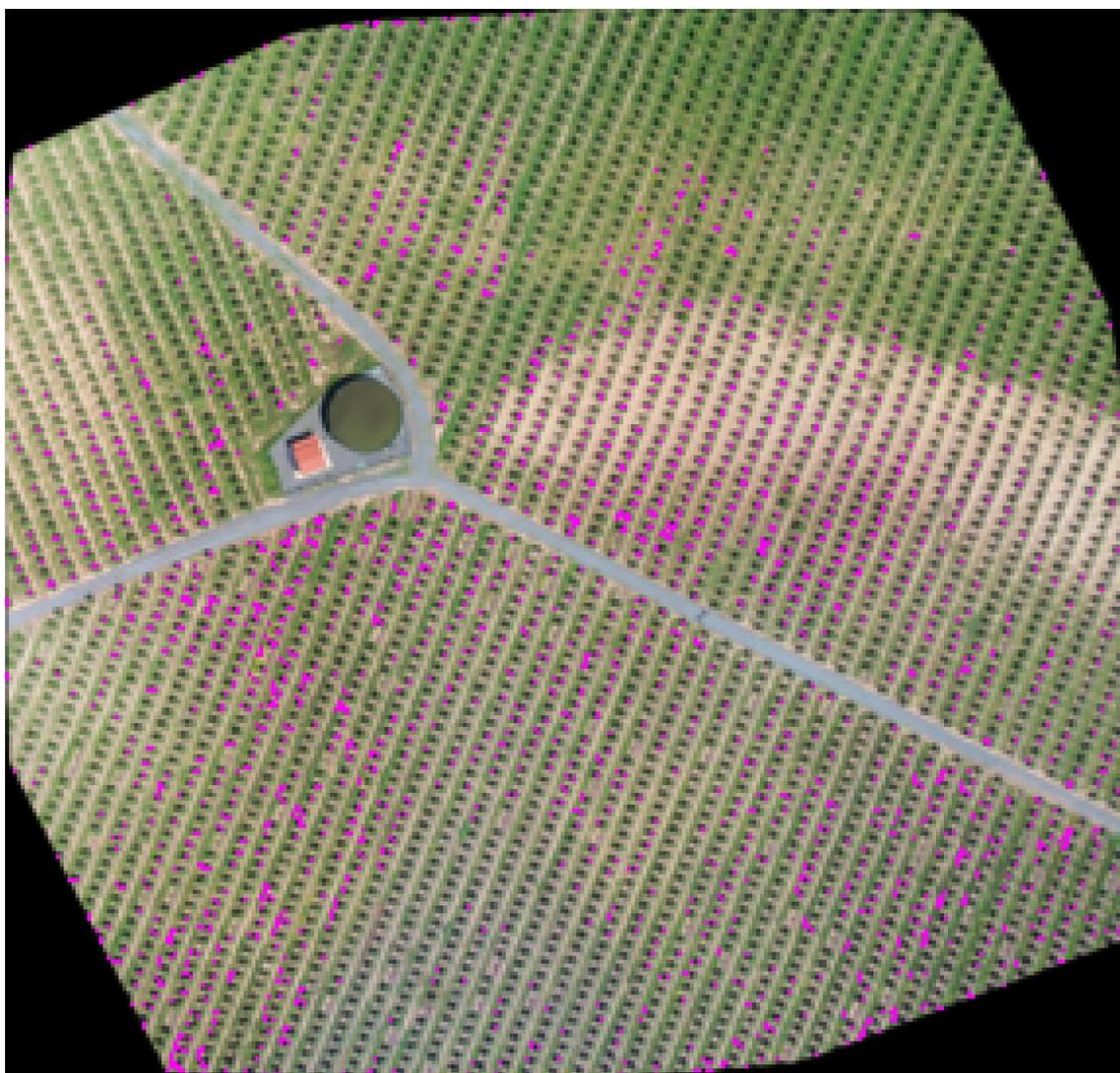


Ilustración 81. Detección de almendros sobre el ortomosaico RGB de Almendro_RGB.tif con un GSD de 1 m/pix

B. Olivares

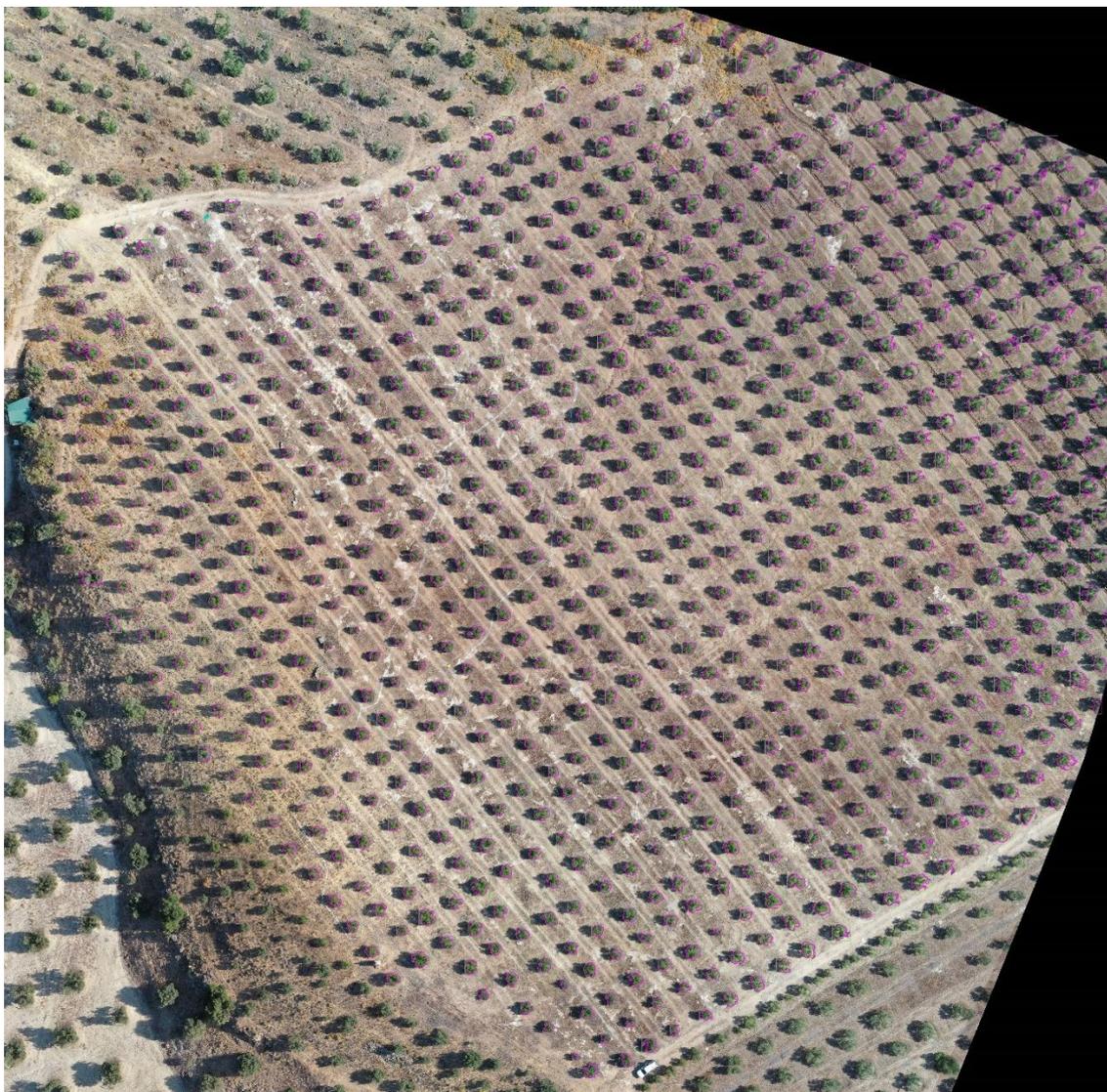


Ilustración 82. Detección de olivos sobre el ortomosaico RGB de Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif a resolución original

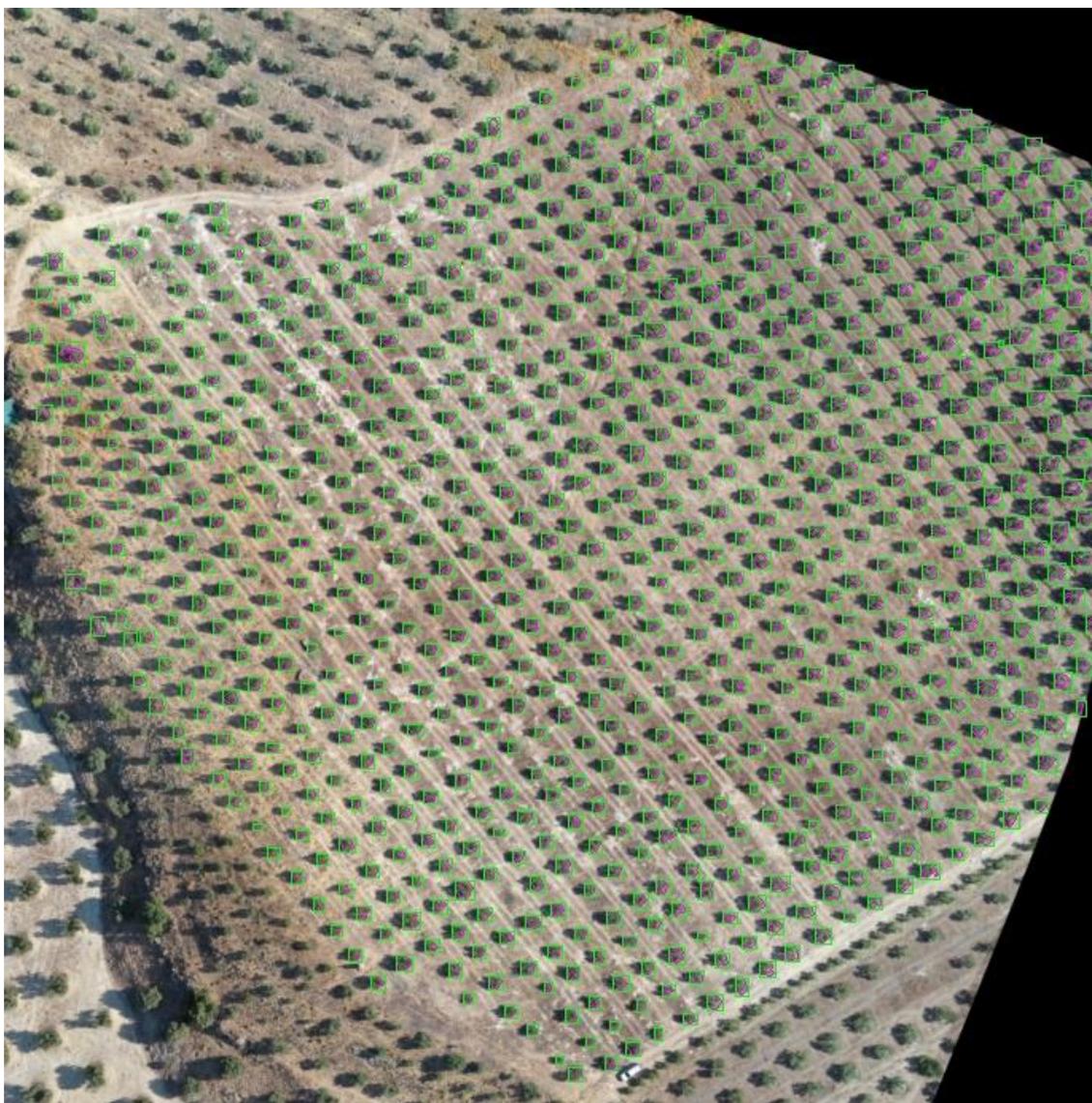


Ilustración 83. Detección de olivos sobre el ortomosaico RGB de `Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif` con un GSD de 0.35 m/pix

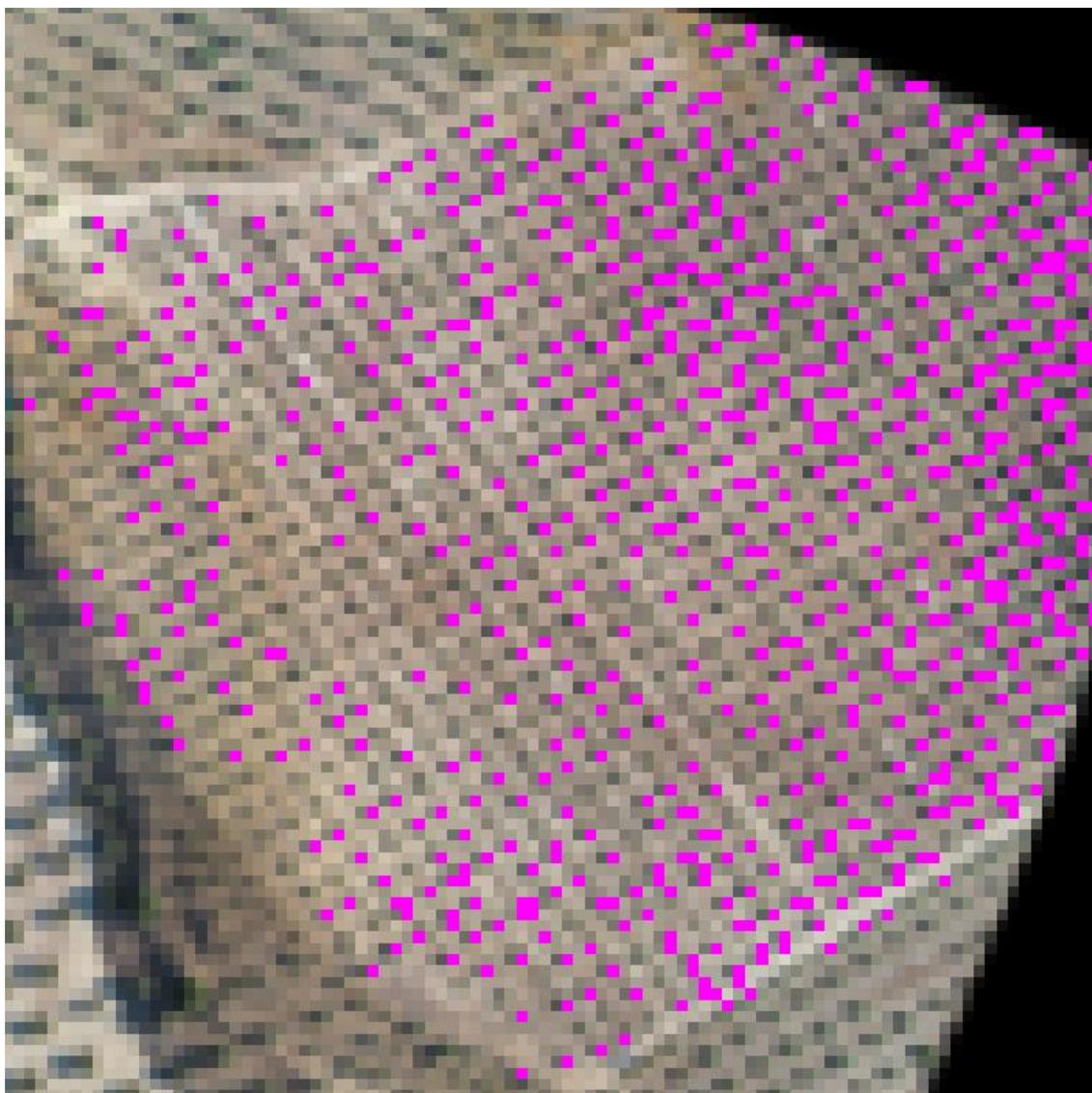


Ilustración 84. Detección de olivos sobre el ortomosaico RGB de *Puente_Genil_Olivar_Tradicional.tif* con un GSD de 2.5 m/pix

C. Viñedos

1. Archivo Viña_espaldera_2.tif



Ilustración 85. Detección de filas de cultivo y marras sobre el ortomosaico RGB de Viña_espaldera_2.tif a resolución original

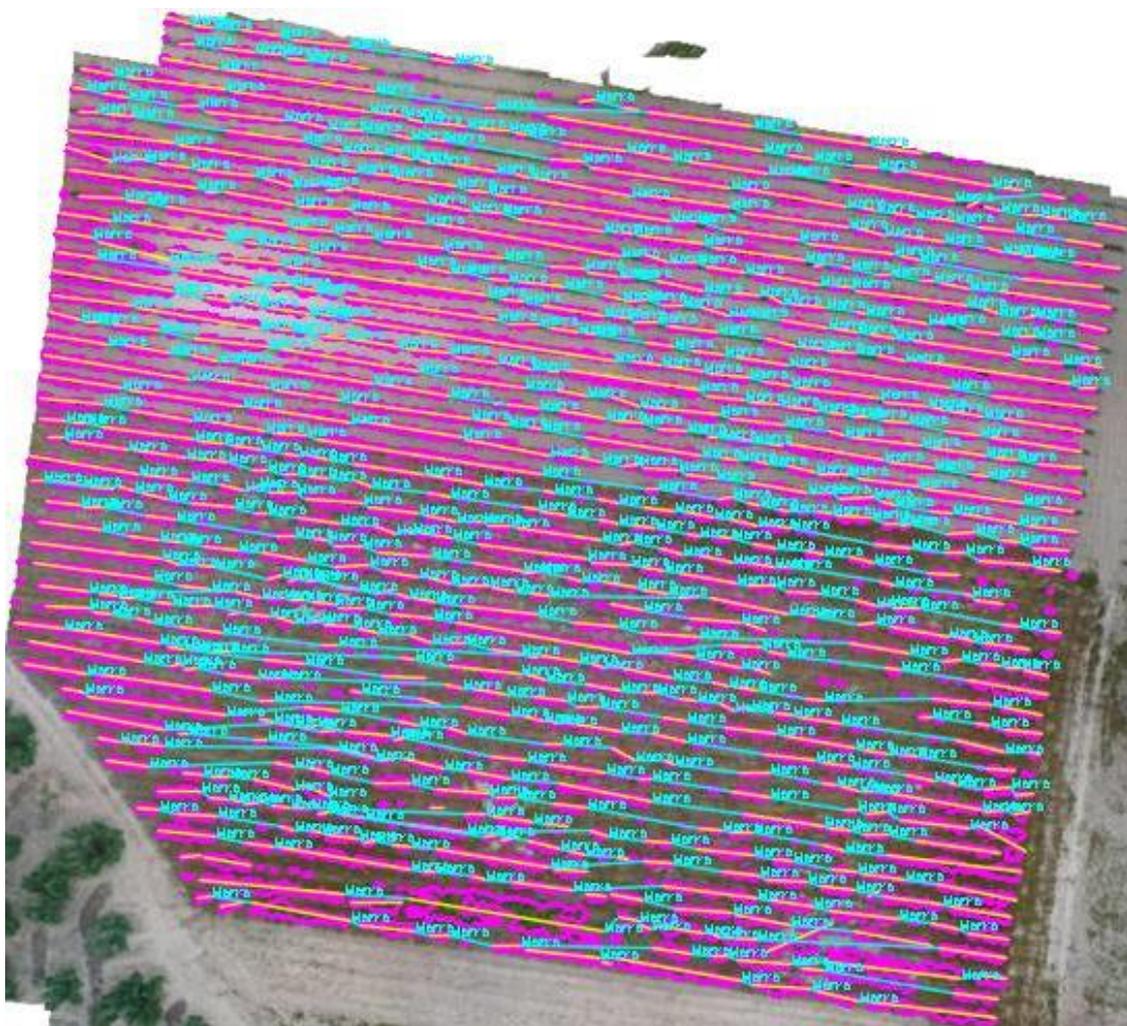


Ilustración 86. Detección de filas de cultivo y marras sobre el ortomosaico RGB de *Viña_espaldera_2.tif* con un GSD de 0.25 m/pix

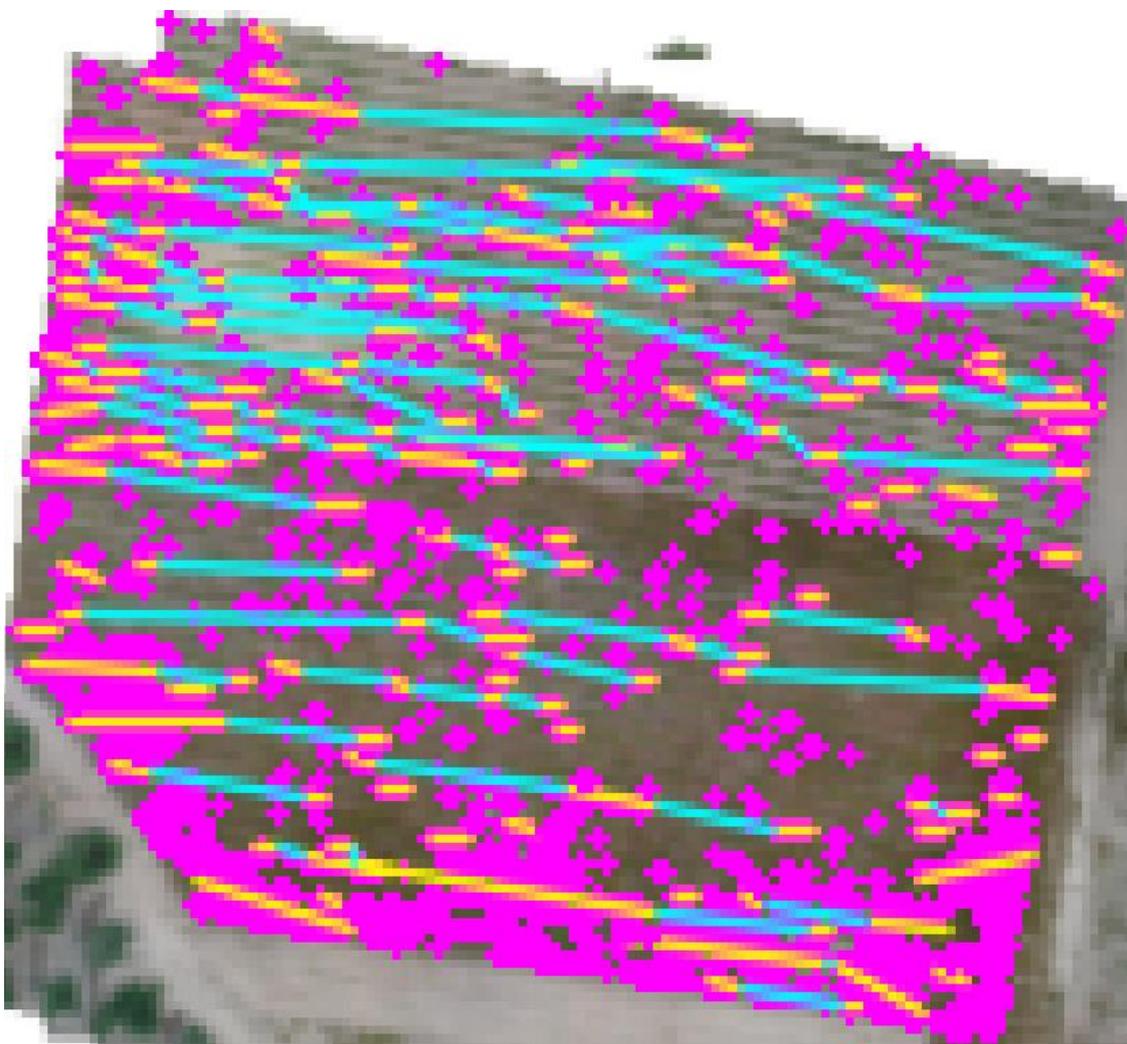


Ilustración 87. Detección de filas de cultivo y marras sobre el ortomosaico RGB de Viña_espaldera_2.tif con un GSD de 1 m/pix

2. Archivo Vineyard_Sequoia.tif

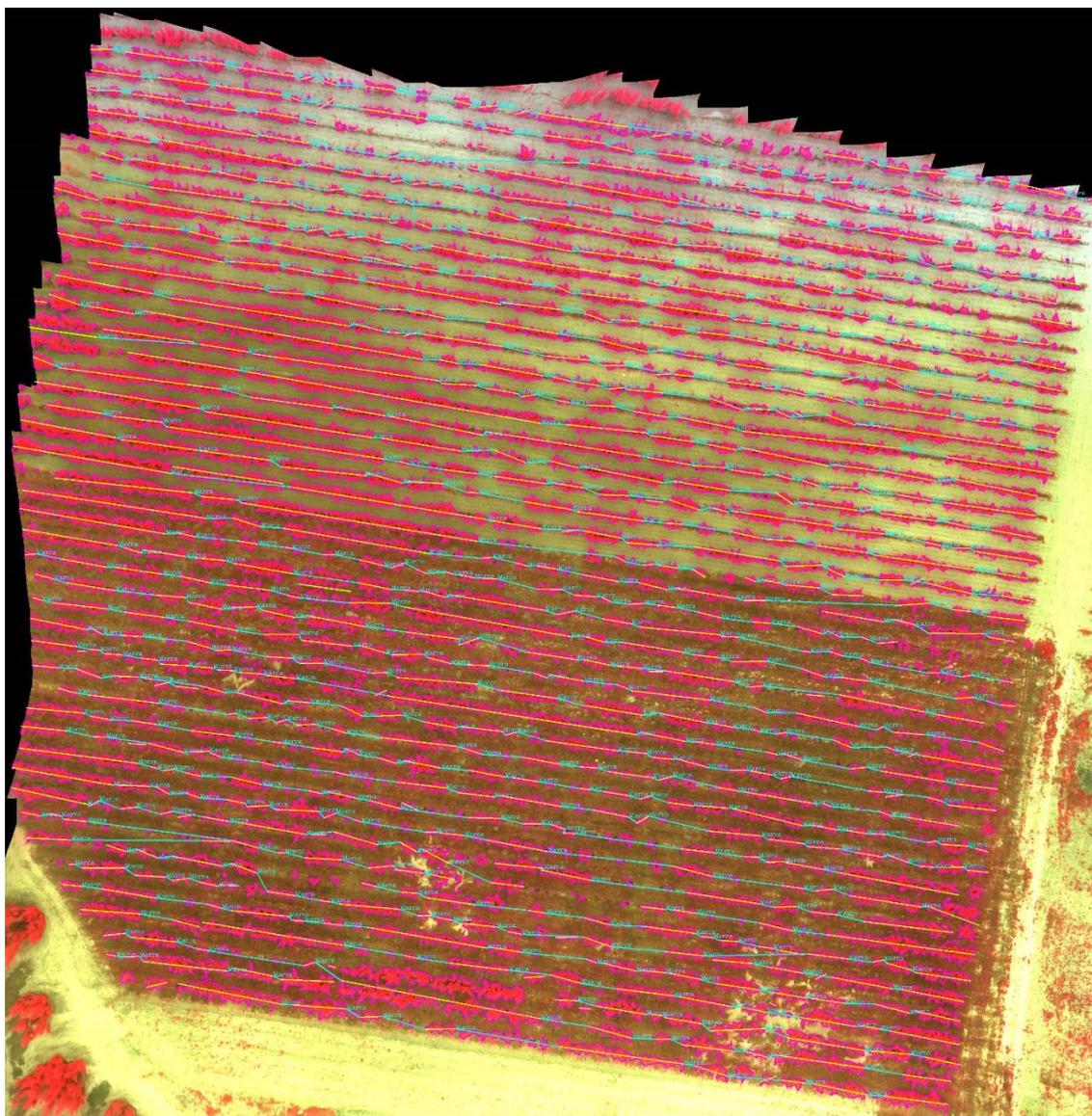


Ilustración 88. Detección de filas de cultivo y marras sobre el ortomosaico multiespectral de Vineyard_Sequoia.tif a resolución original

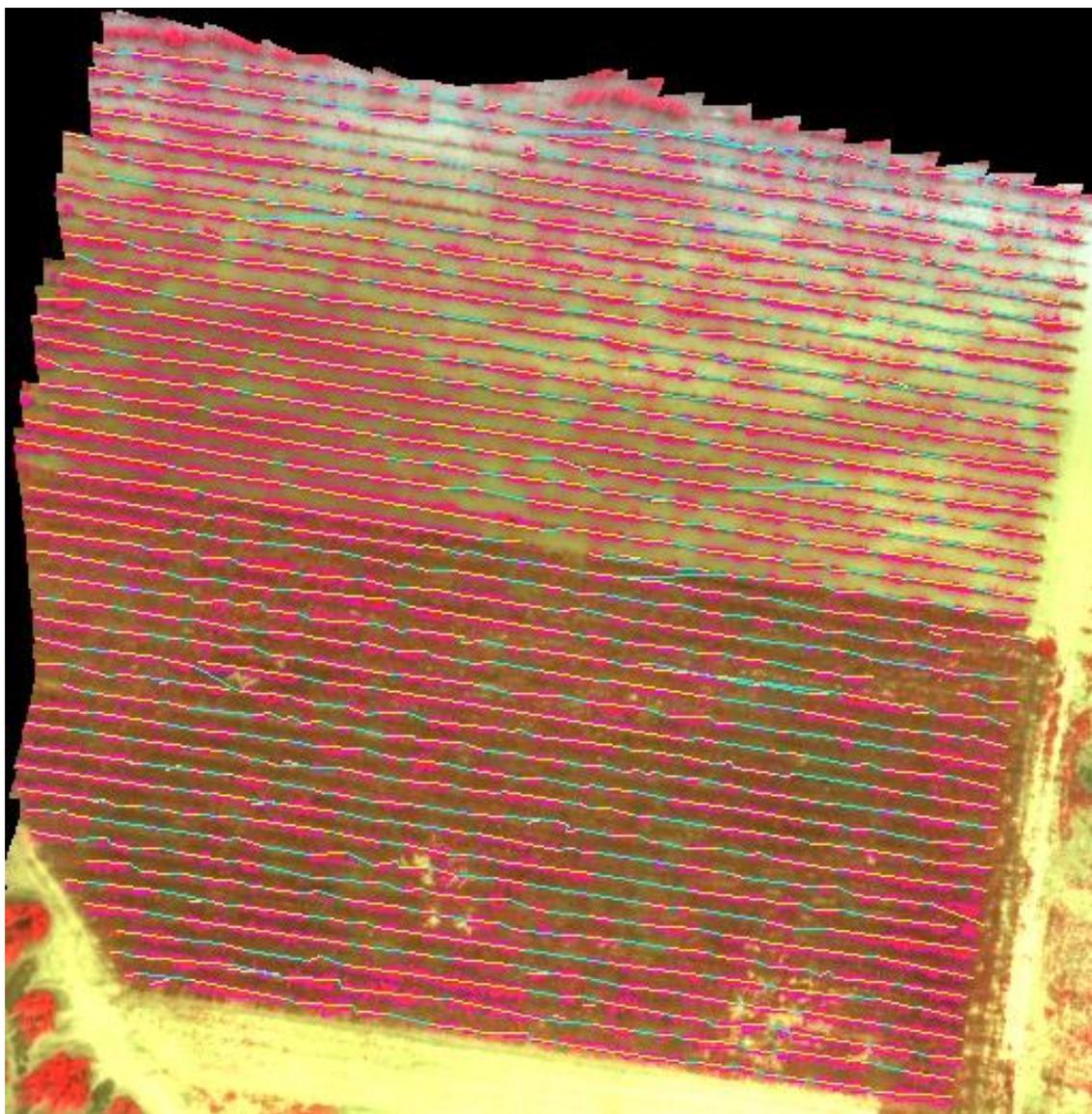


Ilustración 89. Detección de filas de cultivo y marras sobre el ortomosaico multiespectral de Vineyard_Sequoia.tif con un GSD de 0.25 m/pix

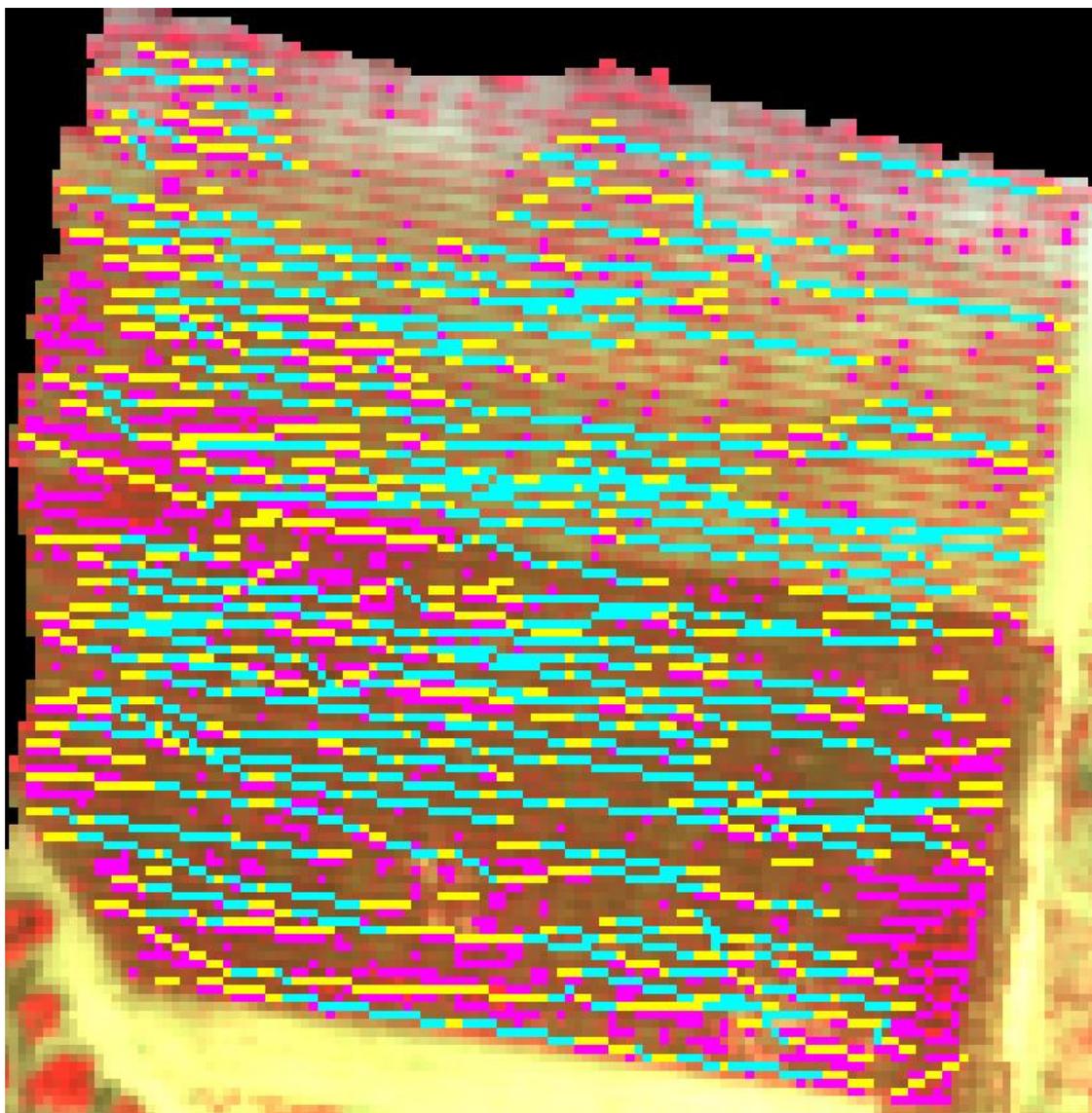


Ilustración 90. Detección de filas de cultivo y marras sobre el ortomosaico multiespectral de Vineyard_Sequoia.tif con un GSD de 1 m/pix

3. Archivo Vineyard_Sequoia_2.tif

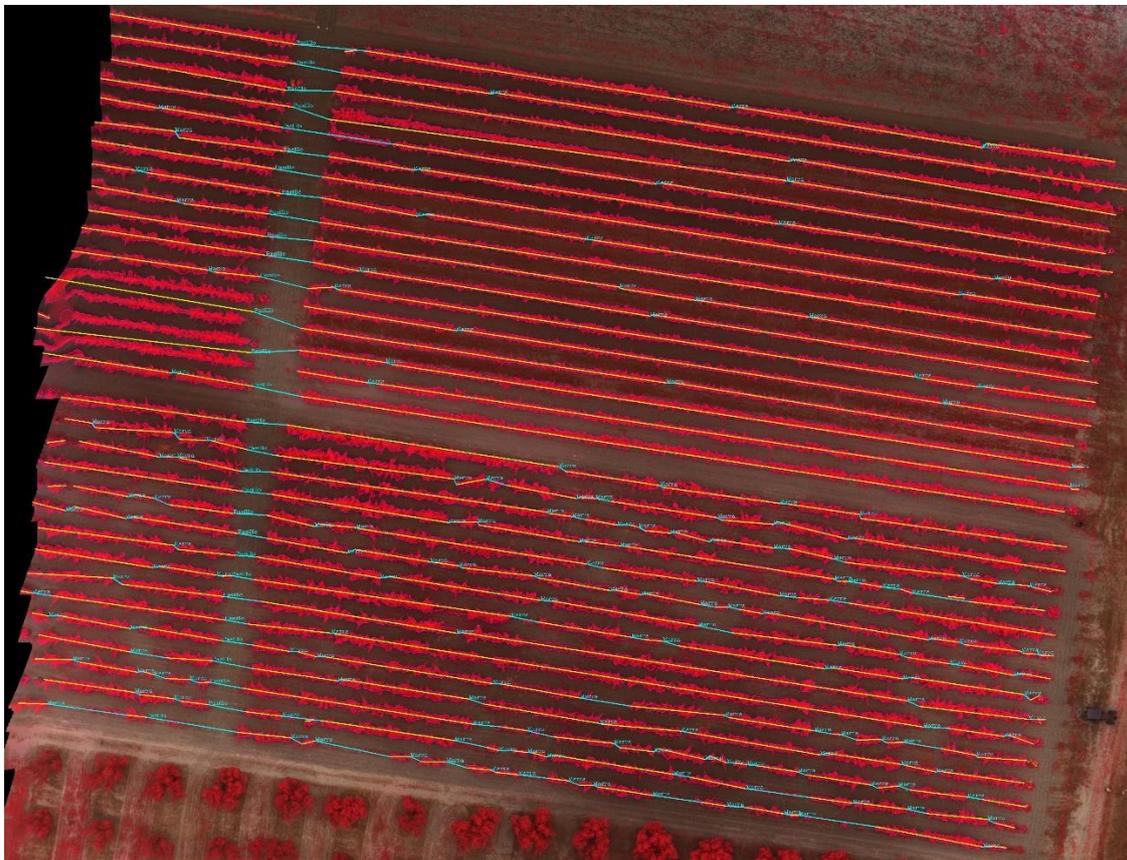


Ilustración 91. Detección de filas de cultivo y marras sobre el ortomosaico multiespectral de Vineyard_Sequoia_2.tif a resolución original

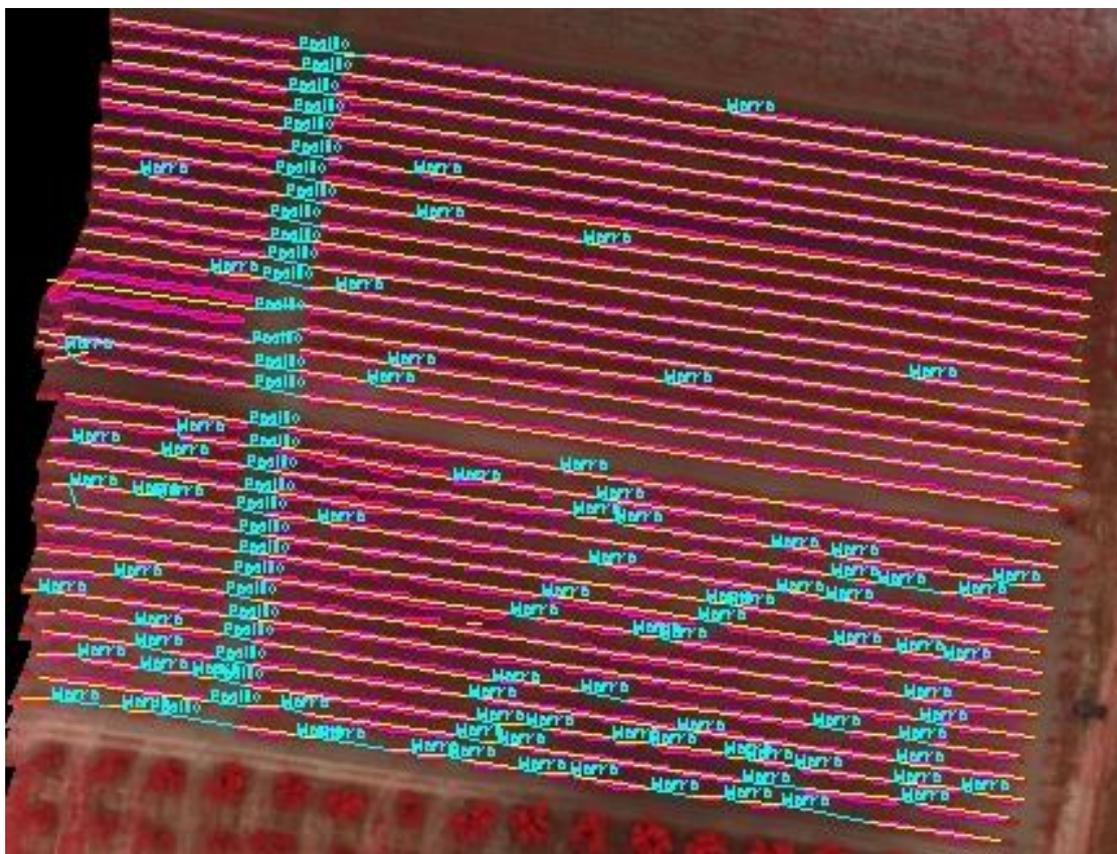


Ilustración 92. Detección de filas de cultivo y marras sobre el ortomosaico multispectral de Vineyard_Sequoia_2.tif con un GSD de 0.30 m/pix

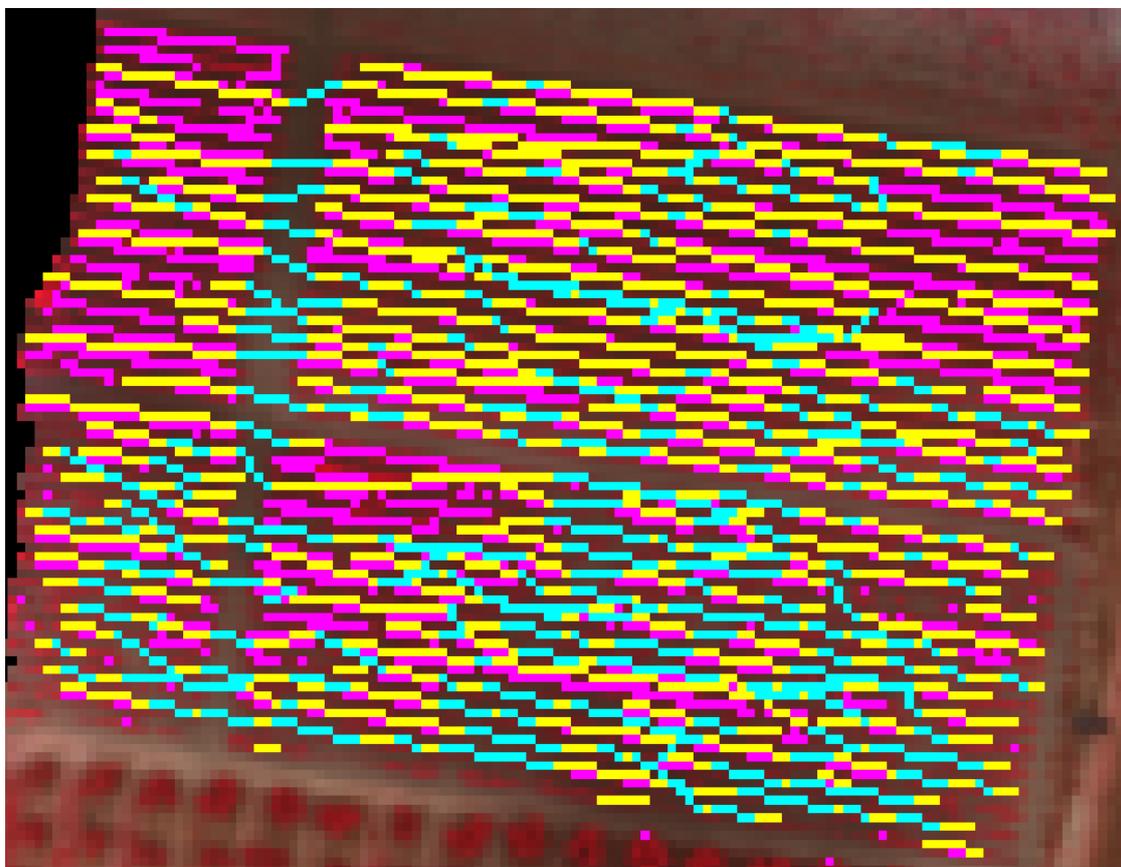


Ilustración 93. Detección de filas de cultivo y marras sobre el ortomosaico multiespectral de Vineyard_Sequoia_2.tif con un GSD de 1 m/pix

