

ZONIFICACIÓN DE PARCELAS FRUTÍCOLAS A PARTIR DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN DE IMÁGENES DEL SATÉLITE WORLDVIEW-2 CON FINES DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN



Autora: Carme Subirà Biosca

Tutores: José Antonio Martínez Casanovas y María del Pilar García Rodríguez

Máster en Tecnologías de la Información Geográfica

Curso 2012/2013

Universidad Complutense de Madrid

Agradecimientos,

A José Antonio, por su gran paciencia, por compartir su sabiduría y guiarme en todo momento.

A María del Pilar, por el apoyo y los ánimos recibidos.

A la Universitat de Lleida, por facilitarme el uso de sus instalaciones y equipos.

A la empresa Hermanos Espax, por permitirme realizar el proyecto en su finca agrícola.

A mi madre y mi familia, por animarme y aguantarme en los momentos difíciles.

A Marc, por hacerme ver el lado positivo del día a día.

Autora

Carme Subirà Biosca, licenciada en Geografía por la Universitat de Barcelona.
carmesubirbi@gmail.com

Tutores

José Antonio Martínez Casanovas, Universidad de Lleida, Campus ETSEA, Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo.

María del Pilar García Rodríguez, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Geografía e Historia, Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física.

Índice

1. Introducción y objetivos	1
2. Marco teórico y conceptual	3
2.1. Principios básicos de la Teledetección.....	3
2.2. La creciente tecnificación de la agricultura, hacia una agricultura de precisión.....	4
2.3. La importancia del sector frutícola en la región agraria de Lleida.....	6
2.4. Variabilidad espacial del vigor de los árboles en las plantaciones.....	7
3. Materiales y métodos	9
3.1. Área de estudio.....	9
3.1.1. Localización del área de estudio.....	9
3.1.2. Geología y suelos.....	16
3.1.3. Clima.....	20
3.2. Materiales utilizados.....	21
3.2.1. Imagen de satélite del satélite Worldview-2.....	21
3.2.2. Modelo digital de elevaciones.....	24
3.2.3. Receptor GPS.....	24
3.2.4. Programas.....	24
3.3. Métodos.....	24
3.3.1. Esquema metodológico general.....	25
3.3.2. Pre-procesamiento de la imagen de satélite: corrección radiométrica y geométrica.....	26
3.3.2.1. Corrección geométrica y ortorectificación de la imagen de satélite.....	26
3.3.2.2. Corrección radiométrica.....	27

3.3.3. Cálculo de los índices de vegetación.....	31
3.3.3.1. NDVI.....	31
3.3.3.2. GNDVI.....	33
3.3.4. Medida del diámetro de tronco.....	33
3.3.5. Zonificación de los índices de vegetación mediante análisis “clúster”.....	38
3.3.6. Análisis estadístico.....	39
3.3.6.1. Regresión lineal y coeficientes de correlación.....	39
3.3.6.2. Comparación de muestras múltiples (análisis de rango múltiples).....	39
4. Resultados.....	40
4.1. Índices de vegetación.....	40
4.2. Índices de vegetación y diámetro de tronco: resumen estadístico básico de los índices de cada punto GPS.....	43
4.3. Análisis estadístico de correlación entre diámetro de tronco y índices de vegetación.....	44
4.4. Análisis de clústers.....	45
4.5. Diferenciación de diámetros de tronco en las zonas de índices de vegetación.....	51
5. Discusión.....	54
6. Conclusiones.....	55
7. Referencias bibliográficas.....	56
8. Anexos	
8.1. Esquema procesos.....	59
8.2. Coeficientes de calibración de la imagen de satélite WV-2.....	66
8.3. Tabla excel, A1y2_FS_MEAN_MAJORITY_DEFINITIVA.....	70

Índice de figuras, tablas, gráficos y fotografías

Figuras

Figura 1: Esquema del proceso de teledetección.....	3
Figura 2: Localización de la finca de estudio.....	9
Figura 3. Localización de la finca de estudio en el entorno de los “Secans del Segrià i Utxesa”, de la Red Natura 2000.....	10
Figura 4. Parcelas de la finca de estudio.....	12
Figura 5: Comparación de la finca de estudio, año 1956-57 y 2011.....	14
Figura 6: Localización de las áreas de estudio.....	15
Figura 7: Geología de la finca de estudio.....	18
Figura 8: Tipo de suelos en las áreas de estudio 1 y 2.....	19
Figura 9. Imagen de satélite en color natural RGB532.....	22
Figura 10. Longitud de onda de las 8 bandas espectrales y pancromática del satélite WorldView-2.Fuente: Digital Globe.....	22
Figura 11: Esquema procesos realizados.....	25
Figura 12. Ortorectificación utilizando Modelo digital de elevaciones con el software ArcGIS 10.....	27
Figura 13. Ortorectificación de la imagen de satélite comparando con la ortofoto del 2011. A la izquierda imagen sin ortorectificar, a la derecha imagen ortorectificada. En el círculo, observar el desplazamiento del canal antes y después de la ortorectificación.....	27
Figura 14. Marco de plantación del área de estudio.....	33
Figura 15. Muestras de diámetro de tronco en el área de estudio 1.....	35
Figura 16. Muestras de diámetro de tronco en el área de estudio 2.....	36
Figura 17: Mapa del índice NDVI1 del área de estudio 1. A la izquierda, mapa con “efecto hilera”, a la derecha, mapa donde se aprecia la compensación del “efecto hilera”.....	38
Figura 18: Índices de vegetación del área de estudio 1.....	41

Figura 19: Índices de vegetación del área de estudio 2.....	42
Figura 20: Área de estudio 1 con 2 clústers.....	47
Figura 21: Área de estudio 1 con 3 clústers.....	48
Figura 22: Área de estudio 2 con 2 clústers.....	49
Figura 23: Área de estudio 2 con 3 clústers.....	50

Tablas

Tabla 1. Características de las parcelas de la finca de estudio.....	11
Tabla 2: Unidades geológicas de la finca de estudio.....	17
Tabla 3. Resumen anual de la precipitación y la temperatura media durante el período 2007-2012 a la Estación Meteorológica del SMC de Aitona. Fuente: METEOCAT).....	20
Tabla 4: Bandas y características del sensor multiespectral de WorldView-2. Fuente: Digital Globe.....	23
Tabla 5: Valores del factor de calibración absoluto para las bandas de la imagen WorldView-2. Fuente: DigitalGlobe.....	29
Tabla 6: Valores de ancho de banda para las bandas de la imagen WorldView-2. Fuente: Digital Globe.....	29
Tabla 7: Valores de irradiancia espectral para las bandas de la imagen WorldView-2. Fuente: Digital Globe.....	30
Tabla 8: Valores de reflectancia espectral para las bandas de la imagen de satélite de WorldView-2. Fuente: DigitalGlobe.....	31
Tabla 9: Estadísticas básicas de los índices de vegetación en los puntos de muestreo y del diámetro de tronco del área de estudio 1.....	43
Tabla 10: Estadísticas básicas de los índices de vegetación en los puntos de muestreo y del diámetro de tronco del área de estudio2.....	43
Tabla 11: Tabla de coeficientes de correlación en el área de estudio 1.....	44
Tabla 12: Tabla de coeficientes de correlación en el área de estudio 2.....	44
Tabla 13: Área de los clústers en el área de estudio 1 con 2 clústers (m ²).....	45

Tabla 14: Área de los clústers en el área de estudio 1 con 3 clústers (m ²).....	46
Tabla 15: Área de los clústers en el área de estudio 2 con 2 clústers (m ²).....	46
Tabla 16: Área de los clústers en el área de estudio 2 con 3 clústers (m ²).....	46
Tabla 17: Análisis de rangos múltiples en 2 y 3 zonas (clústers) en el área de estudio 1.....	52
Tabla 18: Análisis de rangos múltiples en 2 y 3 zonas (clústers) en el área de estudio 1.....	53

Gráficos

Gráfico 1. Evolución de la temperatura y de la precipitación a la Estación Meteorológica del SMC de Aitona durante el período 2007-2012. Fuente: elaboración propia a partir de datos del SMC.....	19
--	----

Fotografías

Fotografía 1: Vista parcial de la explotación frutícola de estudio, con alternancia de fondos de valle y divisorias convexas.....	13
Fotografía 2: Vista parcial de la explotación frutícola de estudio, con alternancia de fondos de valle y divisorias convexas.....	13
Fotografía 3. Medida del diámetro de tronco.....	37
Fotografía 4. Toma de puntos GPS.....	37

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Cada vez es mayor la capacidad de la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) para ofrecer información espacial útil y actualizada del territorio. La agricultura ha sido un campo en el que estas tecnologías se han venido utilizando para diferentes aplicaciones (p.e. inventario de cultivos, estimación de las dosis de riego, detección de plagas y enfermedades, etc.). Actualmente, la variabilidad espacial del vigor vegetativo de los cultivos, así como la estimación de diferentes variables biofísicas y bioquímicas pueden abordarse a partir de técnicas de percepción remota. Así, a través de la teledetección se puede obtener información sobre la vegetación a bajo coste en comparación con otro tipo de medidas *in situ*. Por su parte, los SIG constituyen el soporte lógico fundamental para poder almacenar, consultar y analizar dicha información.

Sin embargo, las posibilidades que los SIG y la teledetección brindan son aún poco conocidas por la mayoría de los agricultores o incluso por instituciones relacionadas con el sector agrícola. El relativamente elevado coste inicial en programas y equipos informáticos, así como la necesidad de un adiestramiento previo por parte del usuario, constituyen una limitación para que el agricultor considere ambas técnicas como una herramienta más en la gestión de su actividad. Por ello, la información debe ofrecerse en un soporte fácil y rápido de tratar que un usuario no iniciado en SIG y teledetección pueda entender y utilizar fácilmente (Casterad et al., 2008).

La variabilidad espacial de las propiedades del suelo y del rendimiento de los cultivos es de sobras conocido por los agricultores. Sin embargo, hasta hace pocos años no se disponían de las herramientas necesarias para medir efectivamente la variabilidad espacial o localizar los sectores con problemas de productividad dentro de las parcelas. Desde finales de la década de 1990, la disponibilidad de máquinas de cosecha equipadas con monitores de rendimiento, particularmente en cereales y posteriormente en viña, capaces de producir mapas de cosecha, ha permitido conocer la variabilidad intraparcilaria del rendimiento de los cultivos. El conocimiento de esta variabilidad ha despertado el interés por intentar homogeneizar la producción de la unidad de gestión (parcela), o bien el definir zonas de tratamiento o cosecha diferencial para diferenciar la calidad del producto final. Actualmente existen numerosos ejemplos de este tipo de aplicaciones (Kemerer et al., 2007; Martínez-Casasnovas et al., 2012; Fei Li et al., 2012 y Upadhyay et al., 2013), denominadas agricultura de precisión, en cereales de invierno, maíz y viña, sobre todo.

Sin embargo, en otro tipo de cultivos de alto rendimiento económico, como son las plantaciones frutales (p.e. fruta dulce: melocotón, pera, manzana), no se han desarrollado tantas aplicaciones con estas tecnologías, quizá debido a la dificultad de realizar los posibles tratamientos variables en diferentes zonas. No obstante, en las plantaciones frutales también se observa variabilidad en la cantidad y calidad de la cosecha, con diferencias en: a) e: Fruta de mayor o menor tamaño en relación al promedio varietal. Entre las causas se encuentran: exceso o falta de carga, mala relación hojas/frutos y debilitamiento

generalizado de la planta debido a deficiencias nutricionales o déficit de agua en períodos críticos del desarrollo de la fruta; b) Daño por heladas primaverales: Bajas temperaturas prolongadas en primavera dañan al fruto recién cuajado, estado fenológico de mayor sensibilidad. Con temperaturas menores a -1° C se necrosan, caen y se pierden definitivamente; c) Variabilidad espacial de las propiedades del suelo: En una misma parcela pueden encontrarse diferentes tipos de suelo, lo cual induce a crecimientos distintos de los árboles, que determinan una producción también variable e inferior al potencial de la planta.

Esto hace que haya un interés en explorar posibles aplicaciones de las tecnologías de la información geográfica (SIG y Teledetección) en la identificación de zonas de respuesta diferencial en plantaciones frutales con el objetivo de mejorar el rendimiento y calidad de la cosecha.

En España, una de las principales zonas frutícolas de fruta dulce es la provincia de Lleida, y en concreto la comarca del Segrià. La economía de esta comarca se ha centrado tradicionalmente en la agricultura, siendo el sector frutícola el más importante a partir de la década de 1960. La expansión de la fruticultura en la comarca fue acompañada, en una primera etapa, de un proceso de industrialización de la producción de materias primas agrarias, convirtiéndose de ese modo en agroindustria. La segunda etapa, se caracterizó por una tecnificación de las prácticas agrícolas en la cosecha, dónde las aplicaciones tecnológicas han ido ganando peso. Es en este contexto tecnológico dónde la agricultura de precisión puede suponer una ventaja para la fruticultura del Segrià.

Así, el objetivo del presente Trabajo Final de Máster es analizar las posibilidades de la utilización de tecnologías de la información geográfica, como los SIG y la Teledetección, en la determinación de distintas zonas de manejo en parcelas frutícolas mediante el cálculo de dos tipos de índices de vegetación (NDVI y GNDVI). Estos índices se calculan a partir de las bandas multiespectrales de una imagen de satélite de alta resolución espacial (WV-2).

Se analiza también la relación entre un parámetro físico del vigor (diámetro de tronco) con los índices de vegetación.

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Principios básicos de la Teledetección

Las imágenes obtenidas por los satélites de teledetección ofrecen una perspectiva única de la Tierra, diferente a la que el ojo humano puede observar.

La palabra “teledetección” proviene de la traducción francesa “télédétection” al término anglosajón “remote sensing”. Puede definirse como “la adquisición de información sobre un objeto a distancia, es decir, sin que haya contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador” (López et al., 1991 en Castaño et al., 1994).

Otra definición de teledetección es “conjunto de técnicas y métodos para captar a distancia mediante instrumentos adecuados –sensores remotos- parte de la energía electromagnética emitida o reflejada por los objetos de la superficie terrestre, destacando contrastes entre objetos o destacando fenómenos de interés en el medio dónde se encuentran” (Solé, 1991).

Cualquier objeto, como consecuencia de su interacción con las fuentes de energía propias o externas, emitirá y/o reflejará radiación electromagnética. Cada objeto o sistema posee una respuesta espectral propia, en términos de energía reflejada y energía emitida, la cual se conoce como firma espectral (Castaño et al., 1994). La teledetección tiene el objetivo de identificar los objetos, cubiertas y fenómenos que se ocurren en la superficie terrestre a partir de su firma espectral y cambios temporales, principalmente.

El proceso de teledetección consta de varios elementos fundamentales: la fuente de radiación electromagnética, el flujo energético, el objeto observado y el sensor. A parte, también cuenta con el preprocesamiento y tratamiento de la imagen y su posterior análisis (Figura 1).

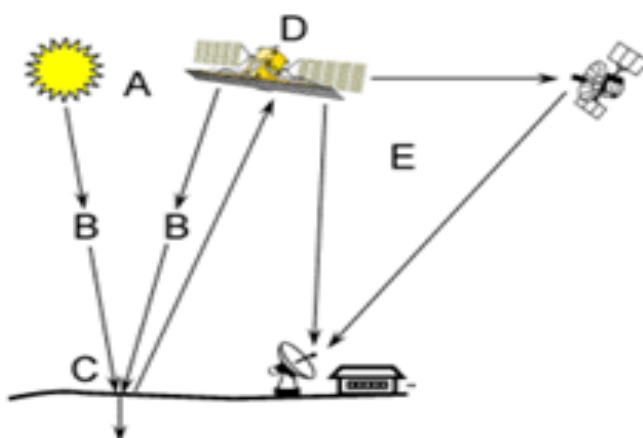


Figura 1: Esquema del proceso de teledetección. Fuente: modificado a partir de Arbelo, 2008.

A. Fuente de energía.

B. Radiación y Atmósfera. La radiación “viaja” desde la fuente a la superficie terrestre, entrará en contacto e interactuará con la atmósfera. Esta interacción tiene lugar una segunda vez cuando la energía “viaja” desde la superficie terrestre al sensor.

C. Interacción con la cubierta terrestre. Cada grupo de objetos de la cubierta (vegetación, agua, suelos, superficies urbanas, etc.), dependiendo de sus características y naturaleza reaccionan de forma distinta ante el flujo de energía incidente. Una parte de este flujo es absorbido por los objetos, otra es transmitida a los objetos vecinos y, finalmente, otra parte del flujo es reflejada.

D. Detección de la radiación reflejada por el sensor. Esta radiación es captada por el sensor y codificada digitalmente en un rango cuyos valores dependen de la resolución radiométrica del sensor.

E. Transmisión, Recepción y Procesamiento. La energía grabada por el sensor es transmitida a una estación de recepción y procesamiento, donde los datos son tratados y distribuidos como imágenes digitales.

Durante el procesamiento de las imágenes, el ordenador convierte el valor digital de cada píxel en un valor o tono en la escala de grises. La escala de gris monocromática se utiliza para representar imágenes pancromáticas, puesto que éstas se componen de valores de reflectancia de una sola parte del espectro o banda. En las imágenes multiespectrales, cada píxel tiene un color que se crea combinando niveles de brillo en rojo, verde y azul que se corresponden con los valores de la reflectancia en tres bandas diferentes. Las imágenes multiespectrales parecen fotografías en color debido a dicha combinación (Puentes, C. et al., 2013).

La energía reflejada por las cubiertas terrestres y captada por el sensor es diferente en cada una de las bandas espectrales. Por lo tanto, se pueden hacer combinaciones en color (combinaciones de tres bandas a las cuales se les asigna un color primario – rojo, verde y azul-), teniendo en cuenta el elemento o fenómeno que se quiera resaltar, con el fin de realizar la interpretación visual de las imágenes.

2.2. La creciente tecnificación de la agricultura, hacía una agricultura de precisión

La agricultura, como otros sectores, se ha ido tecnificando con el paso de los años, la maquinaria cada vez es más sofisticada y las técnicas agrícolas más concretas y eficientes.

En este contexto de innovación constante aparece el término de agricultura de precisión (AP), también llamada “tecnología de dosis variable (TDV)” o “manejo sitio específico (MSE)”.

La AP se puede definir como “concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de una importante variabilidad espacial a nivel de campo. Requiere del uso de varias herramientas tecnológicas dentro de las cuales destacan, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS),

sensores remotos, imágenes aéreas y/o satelitales junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones (Villalobos et al., 2009)".

Según Fountas et al. (2003), la AP se define como el "manejo de la variabilidad espacial y temporal a nivel de subparcela de campo, para mejorar el retorno económico y reducir el impacto ambiental". Por otro lado, el Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA) de Chile la define como "concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de variabilidad en campo".

Teniendo en cuenta dichas definiciones, la AP consiste en aplicar dosis variables de insumos considerando la variabilidad espacial que existe en una parcela agrícola, es decir, suministrar los insumos de acuerdo a las necesidades y/o potencial productivo. Esta forma de gestión contrasta claramente con la agricultura tradicional. En ella, la aplicación de insumos es fija y uniforme para toda la parcela agrícola sin tener en cuenta la variabilidad existente. En este sentido, Lory (1999) e Isik et al. (2000), mencionan que la práctica convencional de manejo de los fertilizantes nitrogenados consiste en asumir que los campos son homogéneos y aplicar una dosis uniforme. Sin embargo, los campos son heterogéneos en términos de las propiedades del suelo, pendiente, fertilidad, potencial de rendimiento, potencial de contaminación, distribución de plagas y calidad de los cultivos. La aplicación uniforme de nitrógeno causa una sobre aplicación en algunas áreas y sub-aplicación en otras, resultando en pérdidas de rendimiento y calidad de los cultivos y un aumento del potencial de contaminación por nitrógeno. Por lo contrario, la AP delimita distintas zonas de manejo dentro de una parcela, éstas tienen características relativamente homogéneas, las cuales requieren una cantidad de insumos específicos. De esta forma, se lleva a cabo una agricultura con un manejo localizado (se crean zonas dentro de una parcela) y preciso (se les aplica únicamente los insumos que requieren).

La AP se puede llevar a cabo utilizando distintas tecnologías, por ejemplo, GPS y monitor de rendimiento en máquinas de cosecha. De este modo la cantidad cosechada queda geolocalizada y se pueden realizar mapas de rendimiento. Otro tipo de tecnología es sobrevolar la parcela agrícola con una "avioneta" que incorpore una cámara multiespectral con el fin de cartografiar el vigor del cultivo. Las imágenes de satélite, son otra herramienta tecnológica para llevar a cabo la AP, ya que permite determinar el vigor, índice de área foliar, el contenido de clorofila de las plantas y otros parámetros biofísicos. La concentración de clorofila es un índice clave para monitorear el vigor y la expresión vegetativa de las plantas (Gross, 1991, en Villalobos, 2009).

La dimensión de la parcela es importante para llevar a cabo la AP. En parcelas de pequeñas dimensiones el agricultor puede conocer y gestionar la variabilidad existente, además es más difícil adoptar la AP por el coste que ésta comporta. Por el contrario, si se trata de parcelas de grandes dimensiones, la variabilidad es mucho mayor i más difícil de gestionar, además, la inversión queda más justificada.

Las principales causas para adoptar la AP son económicas y ambientales, no obstante, están orientadas en la misma dirección, ya que aplicar dosis variables supone mejorar el rendimiento (más beneficios económicos) y reducir la contaminación (beneficios ambientales). Algunos de los beneficios de la AP son los siguientes:

- Optimización de los recursos productivos (hídricos, edafológicos, etc.).
- Un mejor uso de los insumos (fertilizantes, agroquímicos, etc.).
- Un aumento de los niveles productivos del cultivo, más cercanos a su potencial.
- Una mayor optimización de labores y uso de mano de obra. Posibilidad de mejorar la calidad de los productos cosechables por un manejo más preciso y mejor manejo de los costos.
- Manejo general del huerto más amigable con el medio ambiente o menor impacto medioambiental (evita el exceso de uso de agroquímicos y/o fertilizantes).

Además, el uso de herramientas de alta precisión puede ser incorporado en una estrategia de marketing o imagen de la gestión de la empresa, asociándola con atributos que podrían ser muy apreciados por algunos clientes y consumidores, tales como un alto nivel de eficiencia y un uso más medido (“ecológico”) de los agroquímicos (Instituto de Desarrollo Agropecuario de Chile, 2013).

La agricultura de precisión es un concepto que ha ido tomando fuerza en las últimas décadas, debido a las ventajas que ofrece su aplicación, no obstante, no se ha desarrollado del mismo modo en todos los cultivos.

En cultivos como por ejemplo la viña, la agricultura de precisión ha tenido una gran expansión, una de sus aplicaciones ha sido, identificar las zonas con uvas de más calidad y realizar con éstas un vino de gama extra. Son numerosos los estudios centrados en viticultura de precisión (Arnó, 2008; Martínez-Casasnovas, 2005; Tagarakis, 2013; Ubalde, 2010). La agricultura de precisión también ha tenido un gran impacto en los cultivos de cereales, sobre todo en países que cuentan con grandes extensiones de estos, como por ejemplo, Argentina, Chile y Estados Unidos. Por el contrario, la agricultura de precisión ha tenido una incidencia poco remarcable en la fruticultura, son escasos los estudios de fruticultura de precisión (Escolà, 2010).

El presente estudio, centrado en fruticultura de precisión, supone una aportación en un campo tan poco investigado como es la fruticultura de precisión.

2.3. La importancia del sector frutícola en la región agraria de Lleida

La comarca del Segrià, de la cual Lleida es capital, forma parte de la Depresión del Ebro. Se trata de una comarca morfológicamente llana y climatológicamente semi-árida. A lo largo de los años se han construido canales de riego para combatir la aridez y así hacer posible el desarrollo de la agricultura de regadío.

La economía del Segrià, se ha basado tradicionalmente en la agricultura y la ganadería, con un peso específico muy importante del sector frutícola.

El año 1970 Ernest Lluch y Ramon Seró definían el próspero espacio agrícola que se había conformado en torno la ciudad de Lleida y sus comarcas adyacentes en su libro *“La Región frutera de Lleida”*.

La consolidación de dicha región se produjo por los cambios ocurridos en los años 1960:

- El abandono del cultivo tradicional de secano por la introducción de frutales gracias a la implantación del regadío.
- Nacimiento de las primeras cooperativas frutícolas.
- Creciente demanda de fruta, tanto interior como exterior.
- Generalizan los recursos tecnológicos modernos durante la década de 1970 y 1980. También los sistemas de mecanización, sistemas de formación y poda, riego, material vegetal y la frigoconservación.

De modo que la agricultura se integró en unas estructuras capitalistas, es decir, se pasa de una economía de subsistencia a una economía de mercado.

En el año 2009¹, la superficie agraria utilizada (SAU) de la comarca del Segrià (139.600 ha) tenía una superficie regada de 53.170 ha, mientras que la no regada era de 1.980 ha. La superficie dedicada a la fruta dulce era de 23.915 ha (datos extraídos del Institut d'Estadística de Catalunya –IDESCAT-), fundamentalmente de pera, manzana y melocotón. Además, algunas de las comarcas que rodean el Segrià, Pla d'Urgell, Urgell, Noguera y Garrigues, también cuentan con importantes extensiones de fruta dulce. Así como comarcas limítrofes de Aragón.

Solamente la provincia de Lleida posee una superficie de 38.500 ha de fruta dulce, constituyendo así la mayor concentración de España y una de las más importantes de la Unión Europea. Es la primera provincia española en producción de frutas de pepita y una de las primeras en frutas de hueso (Pascual et al., 2006). Además de esto, la ciudad de Lleida se ha consolidado como ciudad de la zona de producción frutícola, cuenta con una importante presencia de centros de formación, investigación y transferencia tecnológica vinculados al sector agrario y asienta uno de los mayores campos agrarios del Estado Español (Pascual et al., 2006).

2.4. La variabilidad espacial del vigor de los árboles en las plantaciones.

La variabilidad espacial de las propiedades del suelo y de los rendimientos de los cultivos ha sido reconocida desde los inicios de la agricultura. No obstante, hasta hace pocos años, los agricultores no

¹ El año 2009 es la fecha del último censo agrario realizado.

disponían de las herramientas necesarias para medir efectivamente la variabilidad espacial o localizar los sectores con problemas de productividad dentro de la parcela.

La agricultura de precisión permite conocer la variabilidad espacial que existe en una parcela, de ese modo, el agricultor puede orientar los trabajos de campo en manejar esta variabilidad con la finalidad de homogeneizar la parcela según sean sus necesidades. Con la homogenización de la parcela se logra cultivar el producto deseado en toda la superficie, lo que supone un mayor beneficio al optimizar la tierra.

En el presente estudio se pretende conocer la variabilidad espacial del vigor, con ello se puede manejar la plantación con la finalidad de homogenizar sus características, como por ejemplo, la regulación del crecimiento, optimización del riego, obtención de calibres más homogéneos, lograr la calidad deseada, etc.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

3.1.1. Localización del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en una explotación frutícola comercial, situada en el extremo sudeste del término municipal de Aitona, en la comarca del Segrià (Lleida) (Figura 2).

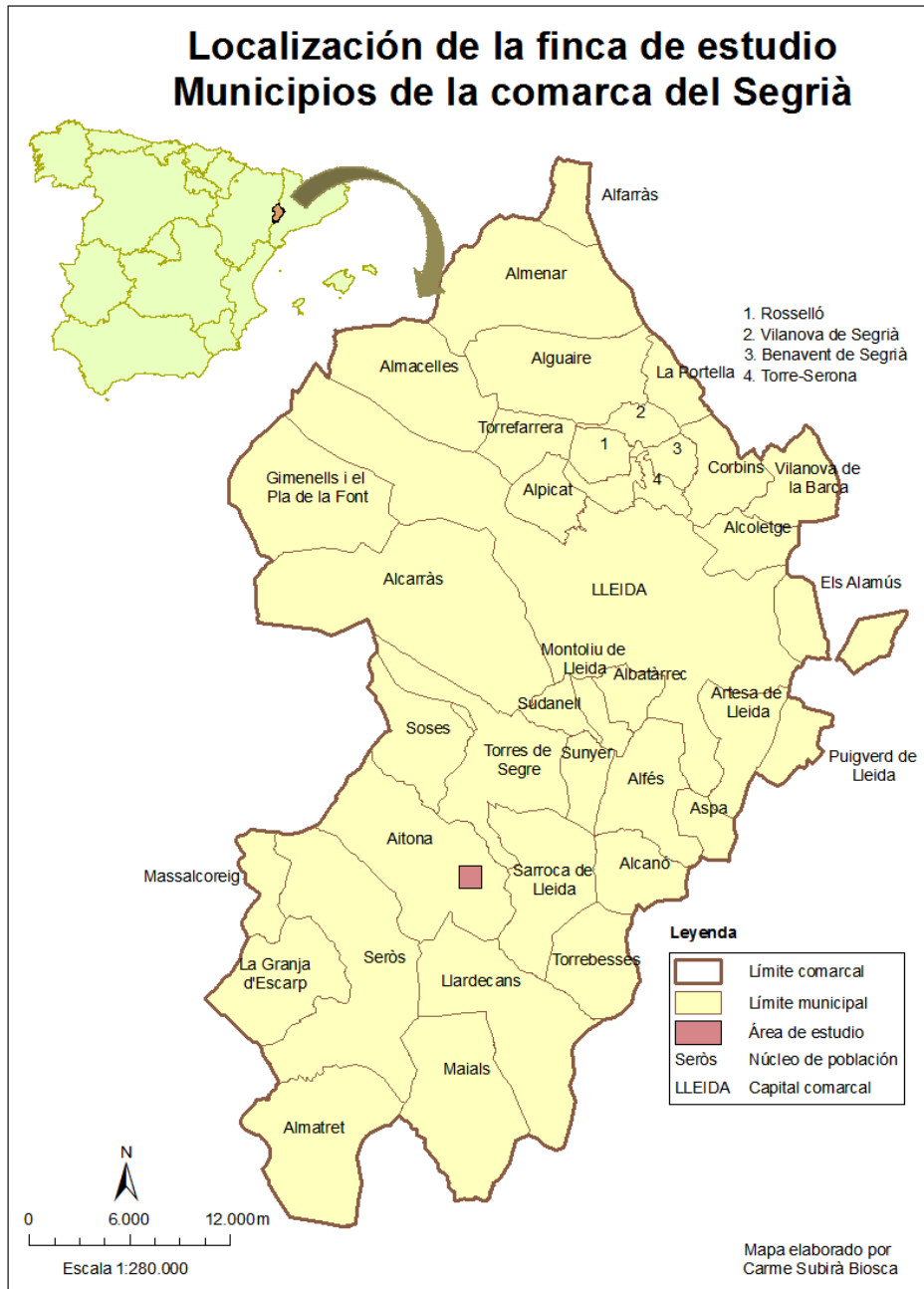


Figura 2: Localización de la finca de estudio

Des del punt de vista físic, la zona de estudi se encuentra en el centro de la Depressió del Ebro, al marge esquerre del riu Segre. El Segre provee de aigua al Pantano de Utxesa, que se encuentra al norte de la explotació frutícola en qüestió. A su vez, se encuentra dentro de los límites de los “Secans del Segrià i Utxesa”, de la Red Natura 2000 (Figura 3).

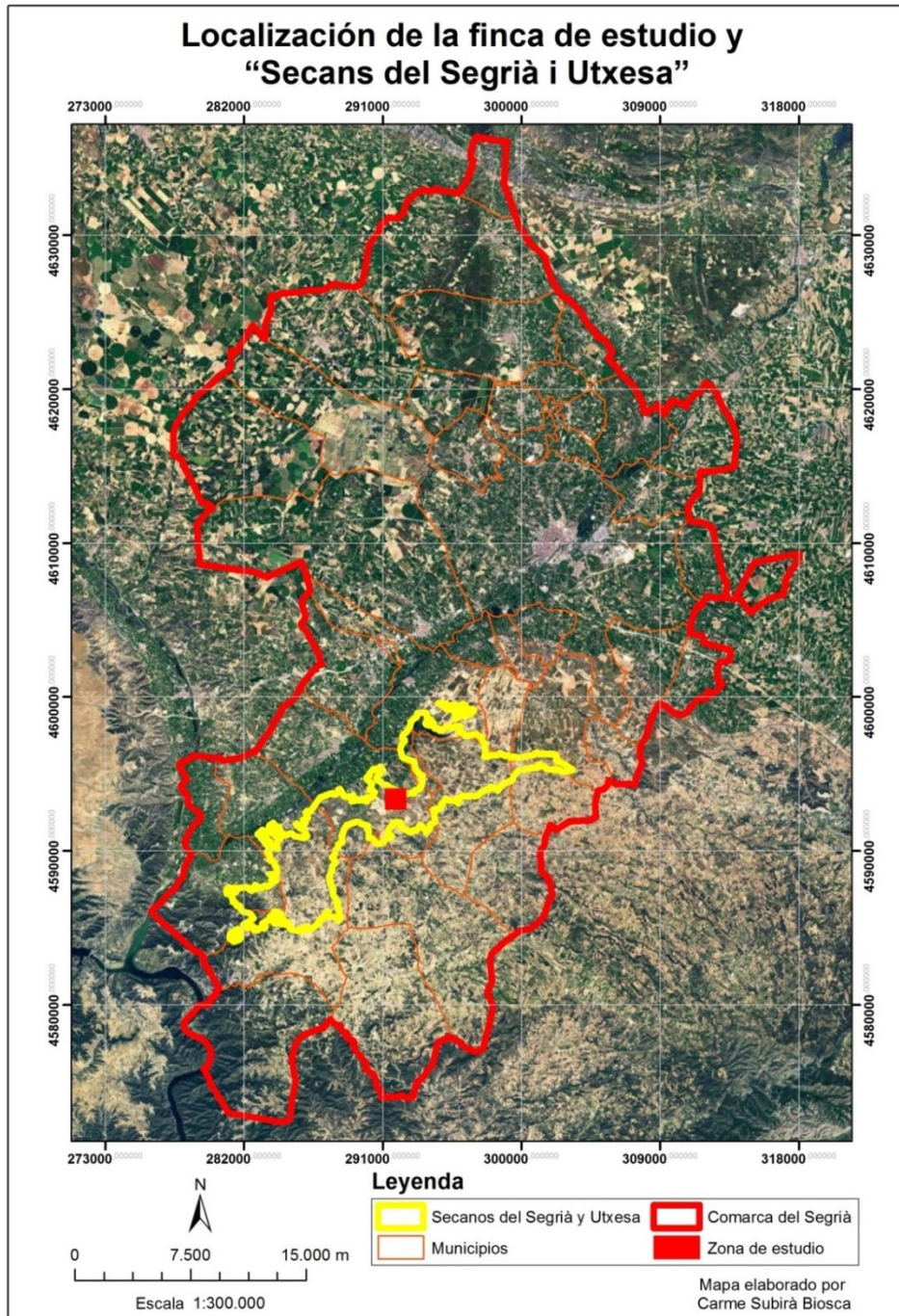


Figura 3. Localización de la finca de estudio en el entorno de los “Secans del Segrià i Utxesa”, de la Red Natura 2000.

La explotación frutícola donde se llevó a cabo el estudio tiene una extensión aproximada de 105 ha, distribuidas en 13 parcelas, dónde se cultivan distintas variedades de melocotón, nectarina y paraguayo (Tabla 1 y Figura 4).

Tabla 1. Características de las parcelas de la finca de estudio

Parcela	Fruta	Variedad	Superficie (ha)
1	Nectarina	Big Top	11
2	Nectarina	Fire Top	12
3	Melocotón	Roig d'Albesa	9
4	Nectarina	Crimson Baby	23
5	Melocotón	Early Rich	9
6	Melocotón	Summer Rich	6
7	Melocotón	M-104	12
8	Nectarina	Honey Blaze	2
9	Nectarina	Honey Blaze	11
10	Nectarina	Early Top	4
11	Nectarina	Platerina	1
12	Paraguayo	UFO 4	3
13	Paraguayo	UFO 3	2

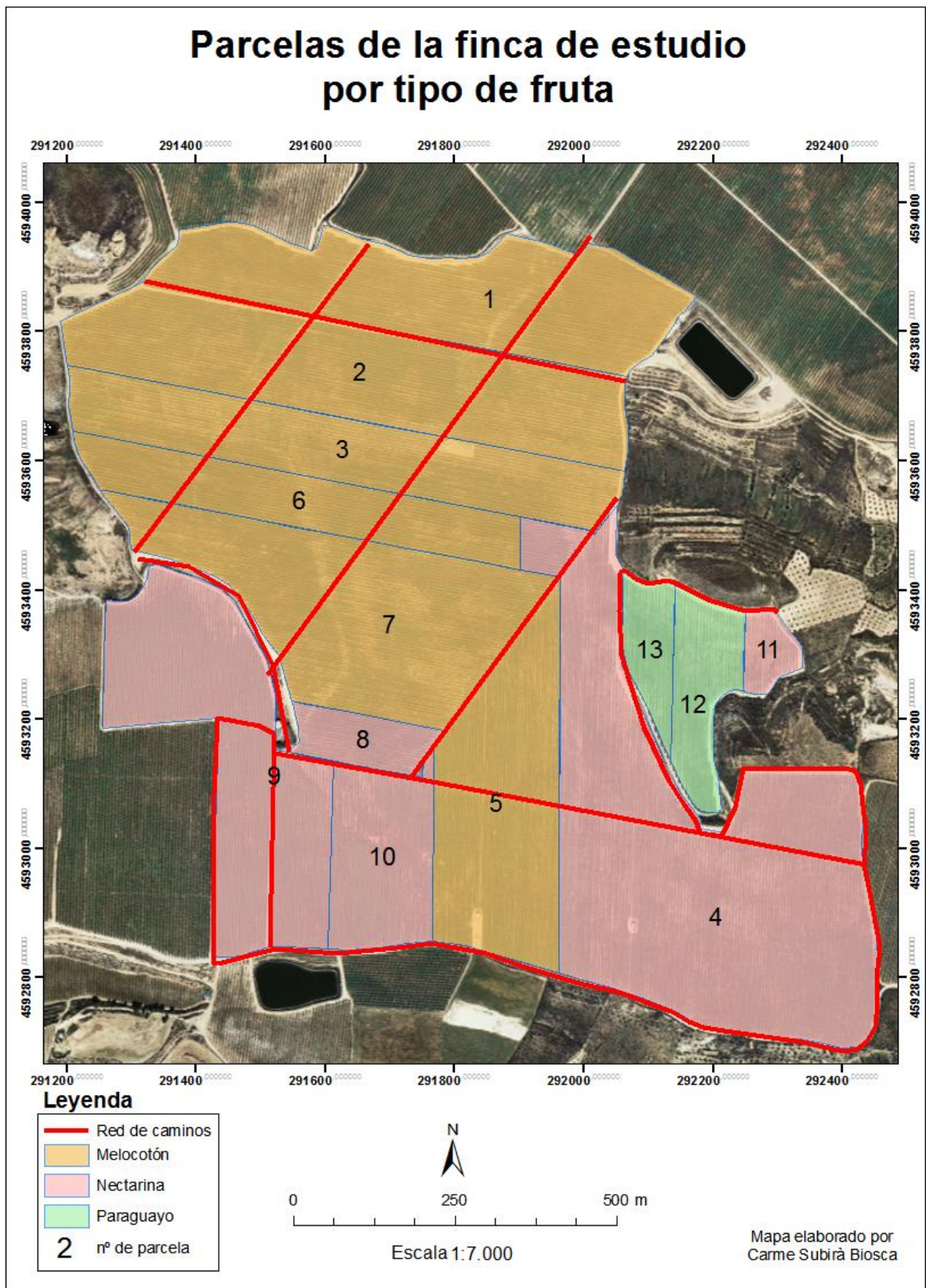


Figura 4. Parcelas de la finca de estudio

La zona presenta un relieve ondulado, con diversos fondos de valle (Fotografía 1 y Fotografía 2). No obstante, la morfología actual no es genuina, sino que es fruto de la roturación y nivelación de tierras llevada a cabo antes de establecer la plantación actual. Anteriormente, el relieve de la zona, se caracterizaba por la presencia de cerros de baja altura y de cultivos de muy poca extensión en terraza (Figura 5).



Fotografía 1: Vista parcial de la explotación frutícola de estudio, con alternancia de fondos de valle y divisorias convexas.



Fotografía 2: Vista parcial de la explotación frutícola de estudio, con alternancia de fondos de valle y divisorias convexas.

Situación de la finca de estudio.
Comparación del vuelo americano 1956-57
y ortofoto del año 2011



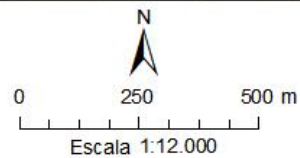
Vuelo americano 1956-57



Ortofoto del año 2011

Leyenda

- Red de caminos
- Parcelas



Mapa elaborado por
Carme Subirà Biosca

Figura 5: Comparación de la finca de estudio, año 1956-57 y 2011

Para el presente estudio se eligieron dos áreas de trabajo de la finca. Teniendo en cuenta que el trabajo tiene fines de agricultura de precisión, se seleccionaron parcelas con muestra de variabilidad espacial en una imagen de satélite WorldView-2 adquirida para el proyecto. Para ello se realizó una composición en color de la imagen de satélite, RGB 742. En la imagen resultante se pueden observar las distintas variedades de fruta así como la variabilidad que existe en ellas (Figura 6).

La primera área de trabajo está situada en el extremo sudeste de la finca y corresponde a un sector de la parcela 4. La segunda área de estudio corresponde a una parte de la parcela 6, situada en medio de la finca (Figura 6). El área de estudio 1 tiene una extensión de 8,1 ha mientras que la de la 2 es de 3,8 ha.

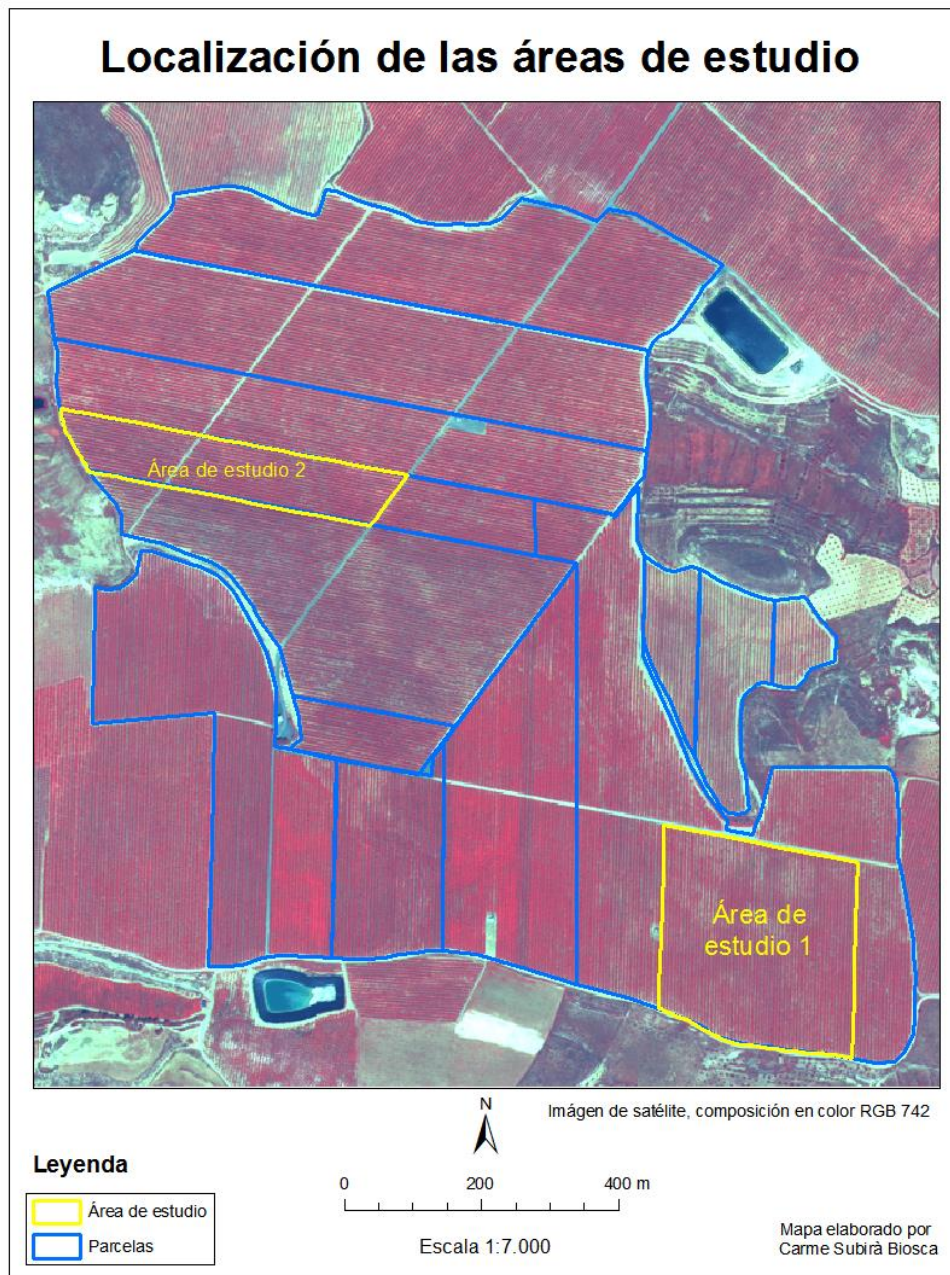


Figura 6: Localización de las áreas de estudio

3.1.2. Geología y suelos

Teniendo en cuenta la cartografía geológica MAGNA a escala 1: 50.000 del “Instituto Geológico Nacional (IGN)” existen 4 unidades en el área de estudio (Tabla 2 y Figura 7).

La primera unidad corresponde a arcillas, limos, margas y arenisca fina, se sitúa en el norte y el centro de la finca. La segunda la constituyen calizas, margas y areniscas, y se encuentra a lo largo de la parte inferior de la finca. La tercera se trata de depósitos de los lechos actuales de las rieras y de los torrentes, se ubica en una franja horizontal en el centro de la finca, con alguna ramificación hacia el sur. Finalmente, la cuarta unidad geológica está compuesta por depósitos coluviales y arcillas con cantos rodados angulosos dispersos. Únicamente existe una pequeña mancha en el extremo noroeste de la finca (Figura 7).

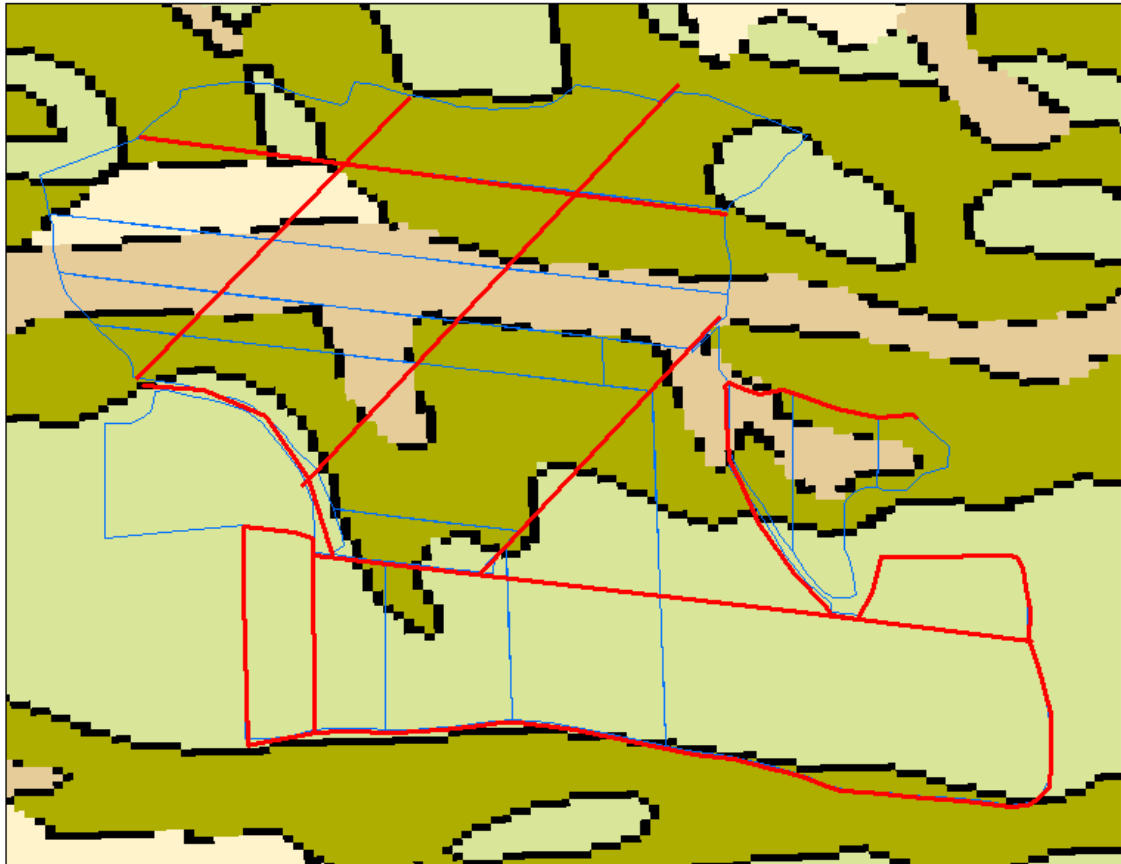
Los suelos del área de estudio fueron cartografiados por Martínez-Casasnovas et al (1992) con objeto de evaluar la aptitud para diferentes tipos de usos agrícolas y de riego de la zona para el proyecto de regadío del canal Segarra-Garrigues. En concreto, la parcela del área de estudio 1 se encuentra situada en una plataforma estructural elevada con una pendiente general < 2% (unidad Aa2 de la Figura 8). Aquí se encuentran suelos muy poco profundos, de drenaje rápido y con texturas francas, los cuales se han desarrollado sobre rocas calizas de origen lacustre. Los suelos alcanzan profundidades de entre 30 – 60 cm como máximo. Pueden encontrarse inclusiones o zonas con suelos de la misma tipología pero algo más profundos, lo que puede inducir a variabilidad del crecimiento de los árboles dentro de la parcela. Los suelos se clasifican como Torriorthent lítico xérico (SSS, 1990) o Regosol calcareo (FAO, 1988) (los menos profundos) y Xerochrept calcixerólico (SSS, 1990) o Calcisol háplico (FAO, 1988) (los más profundos).

Respecto a la parcela en el área de estudio 2, ésta se encuentra localizada en un fondo de valle, con parte de la unidad también en el tramo final de una vertiente de escasa pendiente (unidades Ba1, Be y Ca3 de la Figura 8). Son suelos, en general, muy profundos (> 120 cm), bien drenados y de texturas franco arcillo limosas o franco limosas. Estos suelos se han desarrollado a partir de materiales finos en fondos de valle de pendiente muy suave (<5%). Una particularidad que los diferencia de suelos de fondo de valle en zonas cercanas, es que son no salinos. La variabilidad espacial en estas zonas de fondo de valle puede ser inducida por niveles freáticos circulantes con grados variables de salinidad y algún afloramiento rocoso en los bordes de la forma. Los suelos de esta zona se clasifican como Xerofluvent típico (SSS, 1990) o Fluvisol calcareo (FAO, 1988).

Tabla 2: Unidades geológicas de la finca de estudio

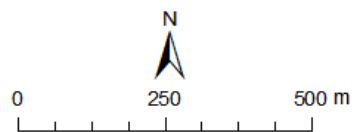
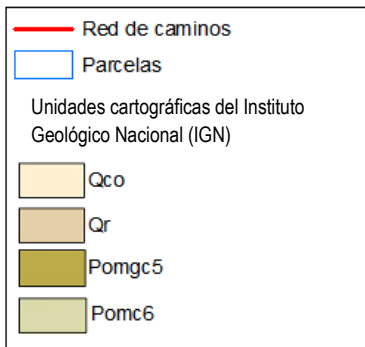
Unidad geológica	Era	Período	Época	Edad	Descripción	Clasificación litológica	Clasificación edad
POmc5	Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno	Chattiense	Arcillas, limos, margas y arenisca fina.	Sedimentarias	Rocas sedimentarias del Paleógeno
POmc6	Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno sup.	Chattiense	Calizas y margas greses.	Sedimentarias	Rocas sedimentarias del Paleógeno
Qr	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	-	Depósitos de los lechos actuales de las rieras y de los torrentes.	Sedimentarias	Depósitos sedimentarios del cuaternario.
Qco	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	-	Depósitos coluviales. Arcillas con cantos rodados angulosos dispersos.	Sedimentarias	Depósitos sedimentarios del cuaternario.

Geología de la finca de estudio



Unidades cartográficas del Instituto Geológico Nacional (IGN)

Leyenda



Escala 1:10.000

Mapa elaborado por
Carme Subirà Biosca

Figura 7: Geología de la finca de estudio

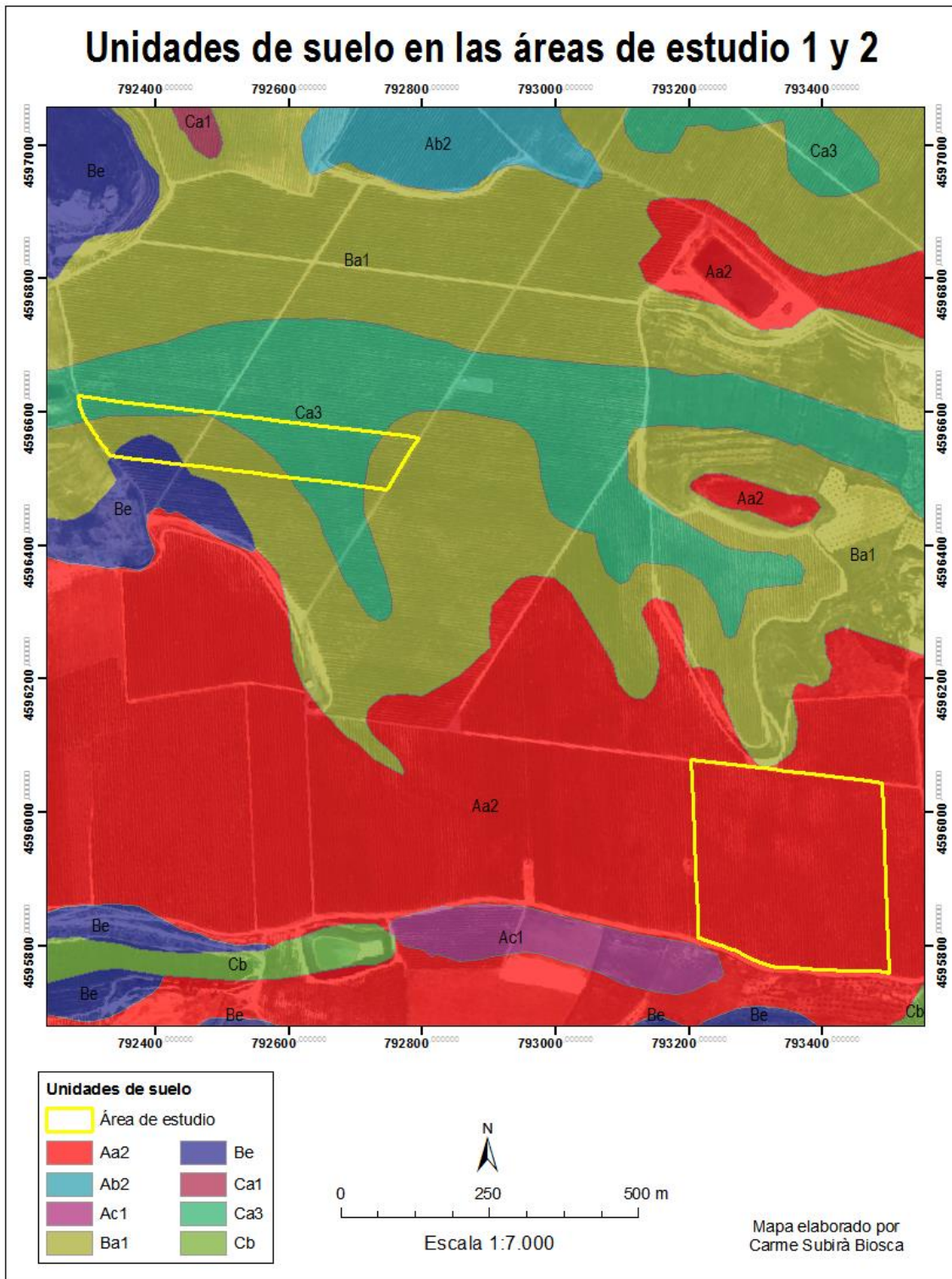


Figura 8: Tipo de suelos en las áreas de estudio 1 y 2

3.1.3. Clima

El clima de la comarca del Segrià es Mediterráneo Continental Seco, con una distribución de la precipitación irregular y un total anual escaso. Destaca la carencia de lluvias importantes durante el período estival, siendo así una estación árida. El máximo de precipitaciones se produce en primavera en el norte de la comarca, mientras que en el centro y el sud, donde se encuentra el área de estudio, el pico de precipitaciones se da en otoño. El régimen térmico es caluroso en verano y frío en invierno, de manera que se genera una amplitud térmica alta. El período sin heladas corresponde entre los meses de mayo y octubre, ambos incluidos (Servei Meteorològic de Catalunya).

La estación meteorológica más representativa de la “Xarxa d’Estacions Meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya” para el presente estudio es la que se encuentra en el mismo municipio de Aitona (Tabla 3 y Gráfico 1).

Tabla 3. Resumen anual de la precipitación y la temperatura media durante el período 2007-2012 a la Estación Meteorológica del SMC de Aitona. Fuente: METEOCAT).

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Temperatura media (°C)	14,3	14,6	15,3	14,3	15,4	15,1
Precipitación acumulada (mm)	230,3	436,5	337,1	456,7	294,3	321,5

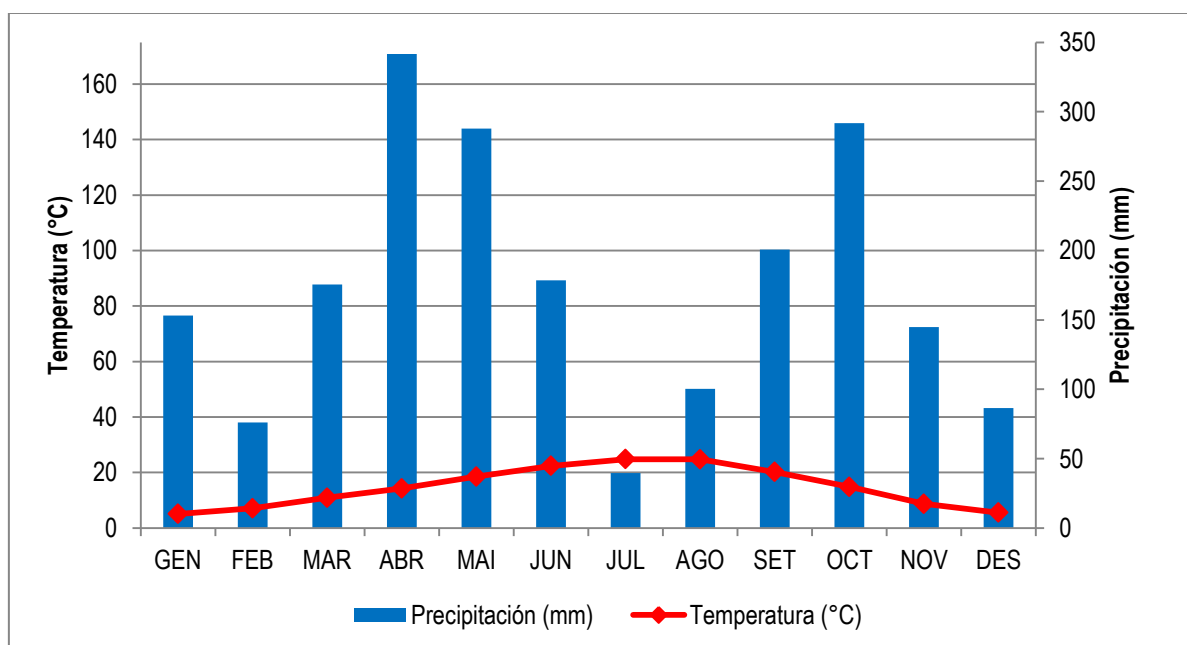


Gráfico 1. Evolución de la temperatura y de la precipitación a la Estación Meteorológica del SMC de Aitona durante el período 2007-2012. Fuente: elaboración propia a partir de datos del SMC.

3.2. Materiales utilizados

3.2.1. Imagen de satélite del satélite WorldView-2

WorldView-2 (WV2) es un satélite multispectral puesto en órbita en Octubre de 2009. WV2 es el primero satélite comercial con 8 bandas multispectrales y de alta resolución (Silva et al., 2011). Su órbita es heliosincrónica². El satélite pertenece a la compañía DigitalGlobe.

La imagen de satélite para la realización de este estudio fue adquirida el 20 de mayo de 2010 a las 11:03 de la mañana.

Resolución espacial:

La imagen tiene una resolución espacial de 0,46 metros en la banda pancromática y de 1,84 en las bandas multispectrales.

La resolución espacial se refiere al objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen y lo determina el tamaño del píxel, que se mide en metros sobre el terreno. La resolución espacial depende de la altura del sensor, en este caso se encuentra a 770 km, del ángulo de visión, la velocidad de escaneado (200 km en 10 segundos) y las características ópticas del sensor.

Tamaño de la escena/cobertura:

El tamaño de una escena/cobertura de una imagen de satélite viene determinado por la anchura de franja del sensor, que en este caso es de 16,4 km. El sensor recoge miles de medidas de reflectancia a lo largo de esta franja, este caudal de mediciones se divide habitualmente en escenas/coberturas de dimensiones cuadradas. Para el presente estudio se adquirió una ventana de 5 x 5 km de la escena captada por el satélite (Figura 9).

² Suelen ser casi polares, estando inclinadas 90° respecto al plano del Ecuador. La órbita es perpendicular al movimiento de rotación de la Tierra por lo que es posible observar zonas distintas del planeta en cada pasada. Suelen sobrevolar el Ecuador a la misma hora, de tal manera que registran imágenes en condiciones de iluminación homogéneas en las mismas épocas. Suelen orbitar a altitudes comprendidas entre 600 y 900 km. Esta órbita es la más habitual en los satélites de recursos naturales de media y alta resolución espacial como Landsat, SPOT, IRS, IKONOS, etc. (Martínez et al., 2008).



Figura 9. Imagen de satélite en color natural RGB532.

Resolución espectral

Se refiere al número y ancho de las bandas espectrales registradas por un sensor que son capaces de medir la energía reflejada. El satélite WV2 tiene 2 sensores: uno pancromático (450-880 nm) y el otro multiespectrales con 8 bandas: *Coastal Blue* (400-450 nm), *Blue* (450-510 nm), *Green* (510-580 nm), *Yellow* (585-625 nm), *Red* (630-690 nm), *Red-Edge* (705-745 nm), *NIR1* (770-895 nm) y *NIR2*(860-1040 nm) (Figura 10; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Tabla 4).

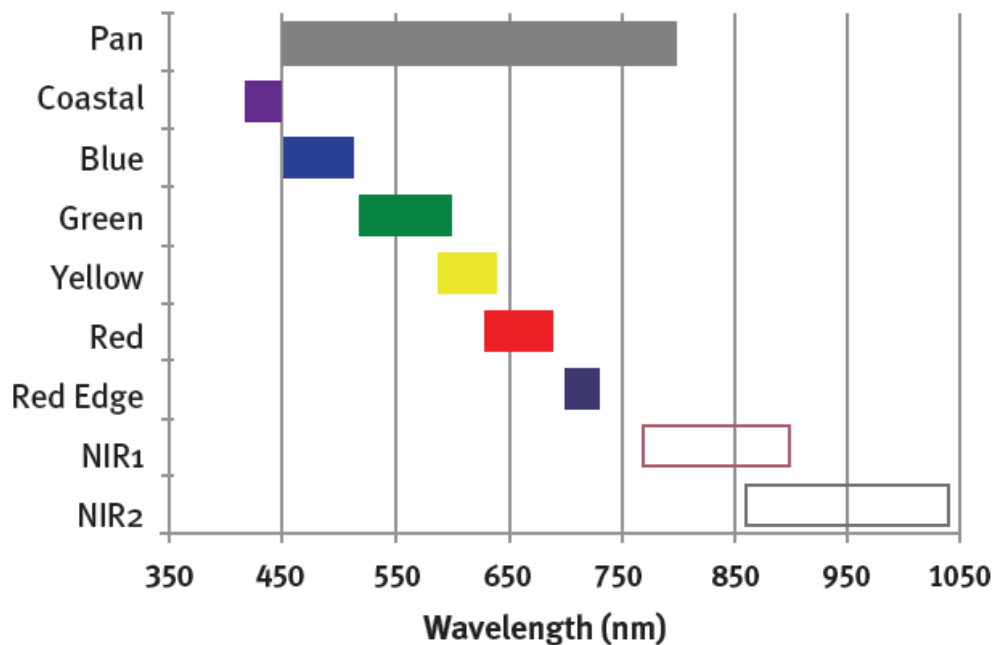


Figura 10. Longitud de onda de las 8 bandas espectrales y pancromática del satélite WorldView-2. Fuente: Digital Globe.

Tabla 4: Bandas y características del sensor multispectral de WorldView-2. Fuente: Digital Globe.

Bandas tradicionales	Bandas nuevas
<p>Blue (450-510 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Idéntica a la banda tradicional. ▪ Proporciona una buena penetración del agua, por lo que ayuda en estudios marino-costeros y del agua. 	<p>Coastal Blue (400-450 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor penetración en el agua, hasta 30 m. ▪ Muy útil en los estudios batimétricos. ▪ Tiene el potencial para mejorar las técnicas de corrección atmosférica.
<p>Green (510-580 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite centrarse con mayor precisión en el pico reflectancia de la vegetación sana. ▪ Ideal para el cálculo de vigor de la planta. ▪ Muy útil para discriminar entre tipos de material de la planta cuando se usa en conjunción con la banda amarilla. 	<p>Red-Edge (705-745 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Centrada estratégicamente en el inicio de la parte de alta reflectividad de la respuesta de la vegetación. ▪ Muy valiosa para medir la salud de las cubiertas vegetales e incluso a nivel de árbol individual. ▪ Ayuda en la clasificación de la vegetación. ▪ Mejora los estudios de índices de vegetación hasta ahora realizados con el rojo tradicional.
<p>Red (630-690 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Más estrecha que la banda Red tradicional. ▪ Mejor centrado en la absorción de la luz roja por la clorofila en los materiales vegetales sanos. ▪ Muy útil en la clasificación de los suelos desnudos, carreteras y elementos geológicas. 	<p>Yellow (585-625 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Muy importante para la clasificación de elementos. ▪ Detecta el "amarillez" particular de vegetación, tanto en tierra como en el agua. ▪ Importante en la cartografía geológica mineral.
<p>NIR1 (770-895 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Muy eficaz para la estimación del contenido de biomasa y contenido de humedad de la vegetación. ▪ Ayuda en la separación de cuerpos de agua y vegetación, ayuda en la identificación de tipos de vegetación y en la separación entre tipos de suelos. 	<p>NIR2 (860-1040 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Superpone la banda NIR1, de esa manera esta menos afectada por la influencia atmosférica y por lo tanto supone unos resultados más confiables. ▪ Ayuda en la cartografía y exploración mineral.

Las bandas, *Red* (630-690 nm), *RedEdge* (705-745 nm), *NIR1* (770-895 nm) y *NIR2* (860-1040 nm) son útiles para estudios relacionados con la vegetación (Upadhyay et al., 2013).

3.2.2. Modelo digital de elevaciones (MDE)

Para llevar a cabo la ortorectificación de la imagen de satélite se utilizó un modelo digital de elevaciones producido por el Instituto Cartográfico de Catalunya (ICC), y que tiene una resolución espacial de 5 x 5 metros.

3.2.3. Receptor GPS

Con el fin de localizar espacialmente las medidas de diámetro de tronco tomadas en el campo en puntos de muestreo se utilizó un GPS (Global Positioning System). El modelo de receptor GPS utilizado en el presente proyecto fue un Trimble GeoExplorer XH.

3.2.4. Programas

En el presente estudio se utilizaron fundamentalmente dos programas. Todos los geoprosesos se llevaron a cabo con el software ArcGIS 10.1 de la empresa ESRI. Mientras que el análisis estadístico utilizó el programa Statgraphics Plus 5.1. Enterprise Edition.

3.3. Métodos

3.3.1. Esquema metodológico general

La Figura 11 muestra, de un modo esquemático, los procesos que se llevaron a cabo en el presente estudio, no obstante, en el Anexo 1, se exponen de forma más detallada.

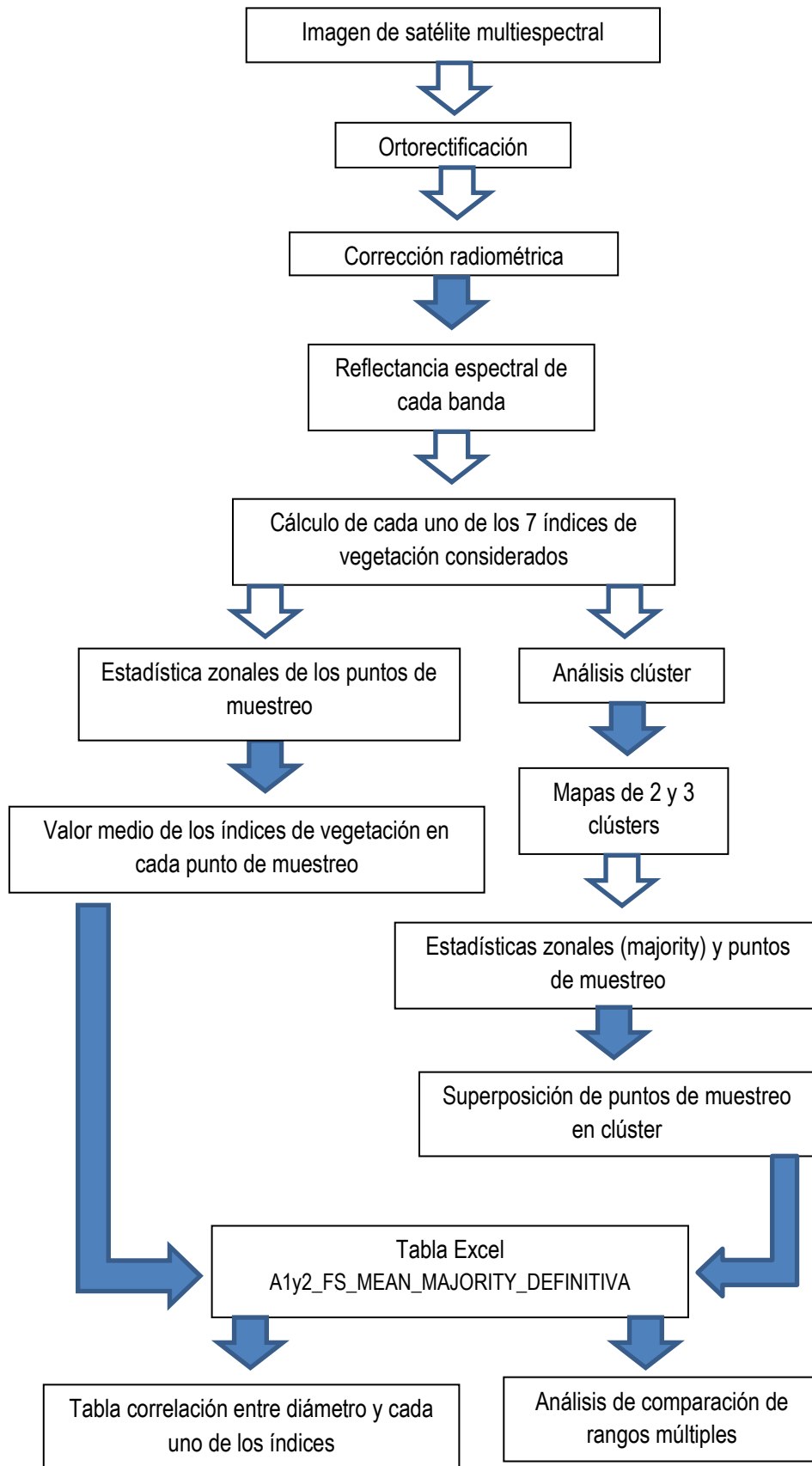


Figura 11: Esquema procesos realizados.

3.3.2. Pre-procesamiento de la imagen de satélite: corrección geométrica y radiométrica

La energía captada por un sensor remoto pasa por una serie de interacciones que deben ser comprendidas para procesar los datos adecuadamente y extraer información en posteriores análisis e interpretaciones. Más allá de restricciones como la resolución espacial, espectral, temporal y radiométrica y la complejidad de los elementos naturales, hay que considerar que la energía captada por el sensor sufre una serie de interacciones con la atmósfera antes de llegar a él. Consecuentemente, la radiancia registrada por el sensor no es una representación exacta de la radiancia efectivamente reflejada por las cubiertas. Esto significa que la imagen adquirida en formato numérico presenta una serie de anomalías con respecto a la escena real detectada. Estas anomalías están en la localización de los píxeles y en los niveles digitales de los píxeles que componen la matriz de datos. Las operaciones de preprocesamiento pretenden minimizar estas alteraciones. Como producto se obtiene una imagen corregida que es lo más próximo posible, geométrica y radiométricamente, a la verdadera energía radiante y características espaciales del área de estudio al momento de la colección de datos.

3.3.2.1. Corrección geométrica y ortorectificación de la imagen de satélite

En una imagen de satélite, existen dos tipos de errores geométricos, sistemáticos (predecibles) y no sistemáticos (aleatorios).

Los sistemáticos son errores internos, introducidos por el mismo sistema de sensores remotos; tienen que ver con la esfericidad, rotación de la tierra, inclinación de la órbita, ángulo de observación y proyección cartográfica. Por otro lado, los errores no sistemáticos tienen que ver con los cambios del relieve y los movimientos de la plataforma.

La corrección geométrica tiene como objetivo eliminar dichos errores. No obstante, se tiene que tener en cuenta que las imágenes de satélite WV-2 ya tienen los errores sistemáticos corregidos, de modo que en la imagen que concierne sólo es necesario eliminar los errores no sistemáticos, de ese modo cada pixel se ubicara en su posición planimétrica correspondiente.

Para la corrección geométrica de dicha imagen de satélite, se tendrá en cuenta el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) mencionado en el apartado 3.2.2., con la finalidad de corregir los errores producidos por el relieve. El programa utilizado para realizar la corrección geométrica fue ArcGis 10, procediendo a una "ortorectificación utilizando la elevación", en concreto el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) (Figura 12).

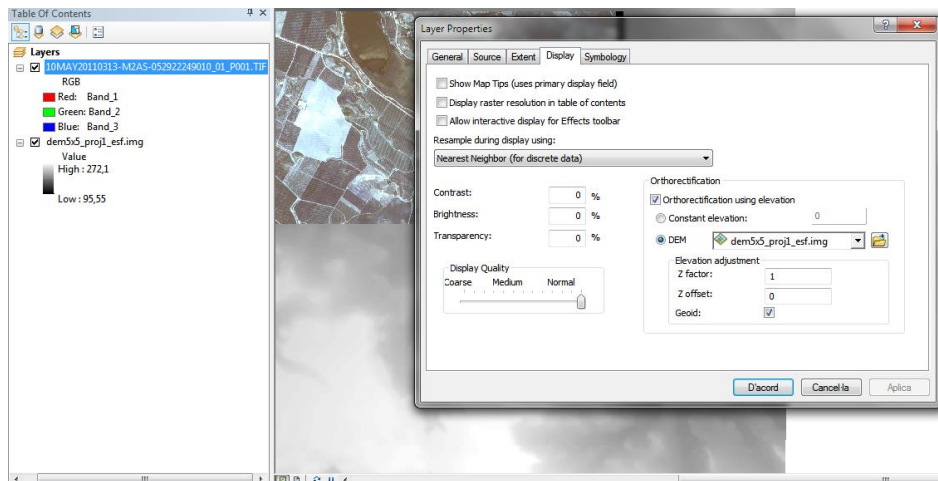


Figura 12. Ortorectificación utilizando Modelo digital de elevaciones con el software ArcGIS 10

La imagen de satélite sin ortorectificar tenía un error de 25,4 metros entre la imagen de satélite y la ortofoto de referencia utilizada. Después de la ortorectificación el error medio fue de 3,1 metros (Figura 13).

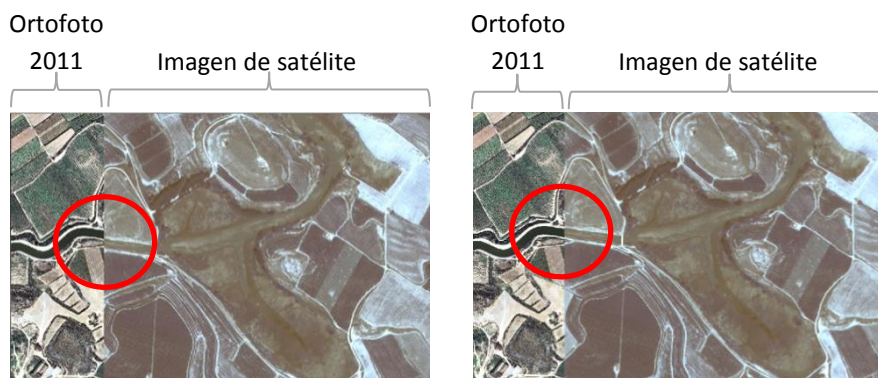


Figura 13. Ortorectificación de la imagen de satélite comparando con la ortofoto del 2011. A la izquierda imagen sin ortorectificar, a la derecha imagen ortorectificada. En el círculo, observar el desplazamiento del canal antes y después de la ortorectificación.

3.3.2.2. Corrección radiométrica

Debido a que el satélite con el sensor se encuentra situado a una altura de unos 705 km, la respuesta radiométrica que le llega desde la superficie se modifica a consecuencia de su paso por la atmósfera. Uno de los efectos más importantes de la atmósfera en las radiaciones visibles e infrarrojas próximas es debido a la dispersión producida por las moléculas de los gases (dispersión de Rayleigh). Otros efectos de dispersión atmosférica pueden ser debidos a la presencia de partículas de aproximadamente el mismo tamaño que las longitudes de onda (aerosoles), pero son más esporádicos y suelen presentarse únicamente en días de atmósferas poco nítidas.

La corrección radiométrica tiene en cuenta, entre otros factores, la órbita del satélite, el relieve de la zona de estudio (ángulos de incidencia y sombras proyectadas), la posición solar, la distancia entre el la Tierra

y el Sol en el momento que se adquiere la imagen, la dispersión atmosférica en los recorridos de ida y vuelta de la radiación, la radiación atmosférica y parámetros estándares, para cada canal, la irradiancia extratmosférica solar y la calibración del sensor (dadas que son facilitadas por la empresa distribuidora de la imagen).

Digital Globe distribuye la imagen de satélite del WV-2 en unidades de radiancia relativa, grabadas como valores digitales. Para hacer la conversión de estos valores digitales a radiancia y finalmente a reflectancia, Digital Globe proporciona un manual de calibración radiométrica, *Radiometric Use of WorldView-2 Imagery*. Este método de corrección radiométrica se desarrolla en dos fases:

1. En primer lugar se calcula la **radiancia espectral**³, $L_{\lambda Pixel, Band}$. Esta se obtiene multiplicando cada uno de los píxeles originales de la imagen por un factor radiométrico de calibración absoluto que depende de las características del sensor [$W m^{-2} sr^{-1} a^{-1}$], el resultado es la radiación integrada para cada banda espectral [$W m^{-2} sr^{-1}$]. Este valor se divide por el ancho de banda eficaz (μm), obteniéndose la radiación espectral media por banda, [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$]. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_{\lambda Pixel, Band} = \frac{(absCalFactor_{Band} \times q_{pixel, band})}{\Delta\lambda_{band}}$$

Dónde:

- $L_{\lambda pixel, band}$: $absCalFactor_{Band} \times q_{pixel, band}$: es la radiancia integrada a la banda espectral considerada [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$].
- $absCalFactor_{Band}$: corresponde al factor de calibración absoluto [$W m^{-2} sr^{-1} a^{-1}$]. Se halla en los documentos adjuntos a la imagen de satélite adquirida (Anexo 2 y Tabla 5).

³ Radiancia: L es el flujo radiante (Φ) que abandona una unidad de área en una dirección particular siguiendo un ángulo sólido particular. Las unidades en que se mide son $W m^{-2} sr^{-1}$. Su importancia estriba en que es la magnitud que detecta el sensor. Cuando se refiere a una porción concreta del espectro electromagnético se trata de **radiancia espectral**, L_{λ} .

Tabla 5: Valores del factor de calibración absoluto para las bandas de la imagen WorldView-2. Fuente: DigitalGlobe.

Banda espectral	absCalFactor _{Band}
Coastal	0,009295654
Blue	0,01783568
Green	0,01364197
Yellow	0,006810718
Red	0,01851735
Red Edge	0,006063145
NIR1	0,020582
NIR2	0,009042234

- $q_{\text{pixel, band}}$: valor digital del píxel en una banda espectral original.
- $\Delta\lambda_{\text{band}}$: Ancho de banda [μm]. También se halla en los documentos adjuntos a la imagen de satélite adquirida (Anexo 2 y Tabla 6).

Tabla 6: Valores de ancho de banda para las bandas de la imagen WorldView-2. Fuente: Digital Globe

Banda espectral	μm
Coastal	0,0473
Blue	0,05430
Green	0,063
Yellow	0,0374
Red	0,0574
Red Edge	0,0393
NIR1	0,0989
NIR2	0,096

2. En segundo lugar, se calcula la **reflectancia espectral**⁴ terrestre, para ello se utiliza la siguiente ecuación: (θ_s)

$$R = \frac{L \times d^2 \times \pi}{E \times \cos\theta}$$

⁴ Reflectancia: ρ , es la parte de la irradiancia que refleja la superficie receptora, es decir, la relación existente entre la energía incidente y la reflejada. Es diferente para cada superficie receptora y para cada cuerpo. Se mide en tantos por uno y se considera, por lo tanto, adimensional.

O lo que es lo mismo (ecuación que consta en *Radiometric Use of WorldView-2 Imagery -Technical Note-*, de DigitalGlobe):

$$\rho_{\lambda}^{\text{Pixel,Band}} = \frac{L_{\lambda}^{\text{Pixel,Band}} \times d_{\text{ES}}^2 \times \pi}{E_{\text{sun}\lambda}^{\text{Band}} \times \cos(\theta_s)}$$

Dónde:

- $L_{\lambda}^{\text{Pixel,Band}}$: corresponde a la radiancia espectral [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$]. Es decir, el valor calculado en la ecuación anterior.
- d_{ES}^2 : distancia entre el Sol y la Tierra en unidades astronómicas. El documento *Radiometric Use of WorldView-2 Imagery*, de DigitalGlobe, propone los siguientes cálculos para hallarlo:

$$D = \text{JD} - 2451545$$

$$d_{\text{ES}} = 1,00014 - 0,01671 * \cos(g) + 0,00014 * \cos(2g)$$

$$g = 357,529 + 0,98560028 * D$$

Teniendo en cuenta que la imagen fue adquirida el 20/05/2010 a las 11:03:13, le corresponde el *Julian Day* (JD) 2455336,96057, por lo tanto:

$$D = 2455336,96057 - 2451545 = 3791,96057$$

$$d_{\text{ES}} = 1,01193286 \rightarrow d_{\text{ES}}^2 = 1,024008$$

$$g = 357,529 + 0,98560028 * 3791,96057 = 4094,886399$$

- $E_{\text{sun}\lambda}^{\text{Band}}$: irradiancia espectral solar exotmosférica. Dichos valores están especificados en el documento *Radiometric Use of WorldView-2 Imagery*, de DigitalGlobe (Tabla 7).

Tabla 7: Valores de irradiancia espectral para las bandas de la imagen WorldView-2. Fuente: Digital Globe.

Banda espectral	Irradiancia espectral [$\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$]
Panchromatic	1580,8140
Costal	1758,2229
Blue	1974,2416
Green	1856,4104
Yellow	1738,4791
Red	1559,4555
Red Edge	1342,0695
NIR1	1069,7302
NIR2	861,2866

- θ_s : 90° menos el ángulo de elevación solar. La imagen de satélite adquirida tiene un ángulo de elevación de 66,1°, tal y como se especifica en el documento *Radiometric Use of WorldView-2 Imagery*, de DigitalGlobe. Por lo tanto el θ_s es de 23,9, y su coseno 0,91425.

Finalmente, se han hallado los valores de reflectancia espectral de cada banda de la imagen de satélite (Tabla 8).

Tabla 8: Valores de reflectancia espectral para las bandas de la imagen de satélite de WorldView-2.

Fuente: DigitalGlobe.

Banda espectral	Reflectancia espectral
Coastal blue	0 - 0,481804
Blue	0 - 0,63227
Green	0 - 0,75193
Yellow	0 - 0,754499
Red	0 - 0,953574
Red Edge	0 - 0,828014
NIR1	0 - 1,14526
NIR2	0 - 0,787706

3.3.3. Cálculo de los índices de vegetación

3.3.3.1. NDVI

En teledetección existen un conjunto de parámetros numéricos que permiten estimar y evaluar el estado de salud de la vegetación en base a la medición de la radiación que las plantas emiten o reflejan.

Estos parámetros permiten la construcción de índices, dentro de los cuales el más conocido y usado es el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index). Este índice fue introducido con el objetivo de separar la vegetación del brillo que produce el suelo (Rouse et al., 1974 en Upadhyay et al., 2013).

Este índice se basa en que, el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permite determinar la vigorosidad de la planta.

Los valores del NDVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el Infrarrojo Cercano (NIR).

Mientras que en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, en el NIR, las paredes de las células de las hojas, que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía. En contraste, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, ya sea por presencia de plagas o por sequía, la cantidad de agua disminuye en las paredes celulares por lo que la reflectividad disminuye el NIR y aumenta paralelamente en el rojo al tener menor absorción clorofílica. Esta diferencia en la respuesta espectral permite separar con relativa facilidad la vegetación sana de otras cubiertas.

El cálculo del NDVI implica el uso de una simple fórmula con dos bandas, el Infrarrojo Cercano (NIR) y el rojo (RED).

$$NDVI = \frac{\varphi_{NIR1} - \varphi_{RED}}{\varphi_{NIR1} + \varphi_{RED}}$$

Donde NIR es la reflectancia espectral del canal infrarrojo cercano y RED representa la reflectancia en el canal rojo del visible. Esta fórmula indica que existe una relación inversa entre el valor de reflectancia de estas bandas, por lo que es posible su uso para discriminación de cubiertas vegetales.

Los valores de este índice fluctúan entre -1 y 1. Diversos estudios y publicaciones señalan que valores por encima de 0.1 indican presencia de vegetación, y entre más alto sea el valor las condiciones de vigor son mejores.

No obstante, las imágenes de satélite del WV-2 cuentan, además, con dos bandas de infrarrojo (NIR1 y NIR2) y dos bandas de rojo (RED y RED-EDGE).

Existe una creciente evidencia que incorporar la banda espectral Red-Edge mejora la precisión y sensibilidad de los estudios relacionados con plantas (DigitalGlobe, 2013). En el presente estudio se pretende calcular y analizar las cuatro posibles combinaciones del índice de vegetación que permiten las cuatro bandas anteriormente mencionadas, son las siguientes fórmulas:

$$NDVI1 = \frac{\varphi_{NIR2} - \varphi_{RED-EDGE}}{\varphi_{NIR2} + \varphi_{RED-EDGE}}$$

$$NDVI3 = \frac{\varphi_{NIR1} - \varphi_{RED}}{\varphi_{NIR1} + \varphi_{RED}}$$

$$NDVI2 = \frac{\varphi_{NIR2} - \varphi_{RED}}{\varphi_{NIR2} + \varphi_{RED}}$$

$$NDVI4 = \frac{\varphi_{NIR1} - \varphi_{RED-EDGE}}{\varphi_{NIR1} + \varphi_{RED-EDGE}}$$

Además, también se pretende incluir el índice recomendado por Digital Globe, es la siguiente fórmula:

$$NDVIO = \frac{\varphi_{RED-EDGE} - \varphi_{RED}}{\varphi_{RED-EDGE} + \varphi_{RED}}$$

3.3.3.2. GNDVI

Además de estos cinco índices, se ha calculado otro índice, el GNDVI. Éste es, una variante del NDVI que utiliza la banda del verde en lugar de la del rojo (Kemerer, 2007). Su fórmula es la siguiente:

$$GNDVI = \frac{\varphi_{NIR} - \varphi_{GREEN}}{\varphi_{NIR} + \varphi_{GREEN}}$$

Como en el cálculo del NDVI, también se realizarán las dos posibles combinaciones que permite el satélite WV-2, es decir, con la banda del NIR1 y la banda del NIR2.

$$GNDVI1 = \frac{\varphi_{NIR2} - \varphi_{GREEN}}{\varphi_{NIR2} + \varphi_{GREEN}}$$

$$GNDVI2 = \frac{\varphi_{NIR1} - \varphi_{GREEN}}{\varphi_{NIR1} + \varphi_{GREEN}}$$

Para calcular los índices mencionados se ha utilizado la herramienta "Calculadora raster" de ArcGIS 10.0.

3.3.4. Medida del diámetro de tronco

La medida física de vigor que se pretende comparar con los índices de vegetación NDVI y GNDVI es el diámetro de tronco. El diámetro de tronco guarda relación con el vigor del árbol, ya que influye en las dimensiones del árbol (Navarra Agraria, 2013). En el presente estudio la medida del diámetro de tronco se llevó a cabo, en las dos parcelas estudiadas según el siguiente patrón de muestreo.

Toda la finca tiene el mismo marco de plantación, 2,5 x 5m, es decir, la distancia entre árboles en hilera es de 2,5 metros y 5 metros de separación entre hileras de árboles (Figura 14).

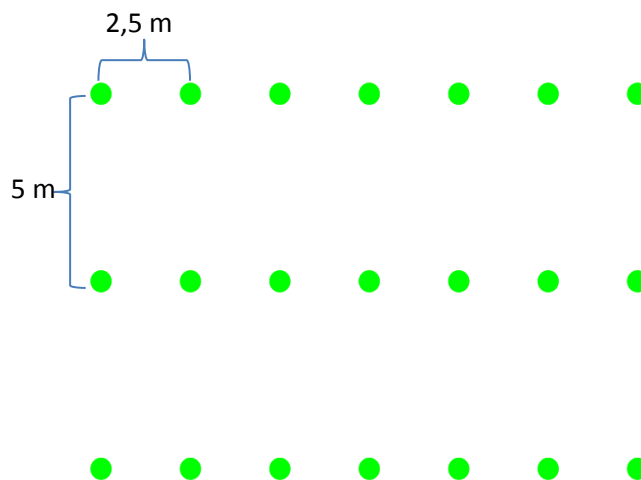


Figura 14: Marco de plantación del área de estudio

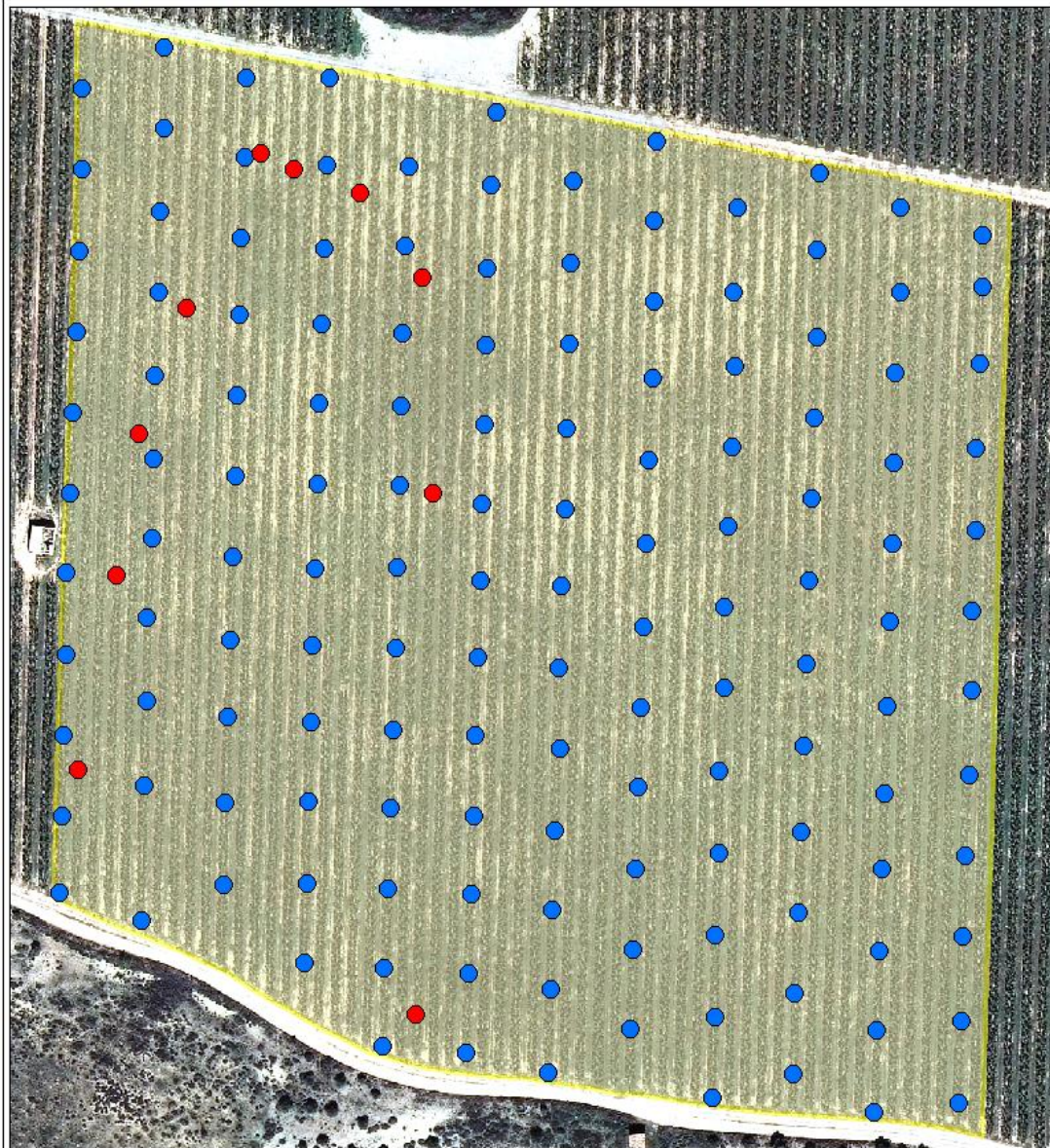
Para llevar a cabo el muestreo, en el campo se fijó una malla de muestreo de 25 x 25 metros, es decir, se tomaron muestras cada 5 filas y 10 árboles. Además, se tomaron muestras aleatorias, para tener en cuenta el factor de aleatoriedad.

Las muestras en el área de estudio 1 se tomaron el día 11 de julio del 2013. Se tomaron 152 muestras en total, 142 teniendo en cuenta la malla de muestreo fijada y 10 de aleatorias (Figura 15).

En la parcela 2, las muestras fueron tomadas el día 16 de julio del 2013. La dimensión de ésta es mucho menor, si bien se tuvieron en cuenta los mismos parámetros de medición. En total se tomaron 101 muestras, 75 teniendo en cuenta la malla de muestreo fijada y 26 de aleatorias (Figura 16).

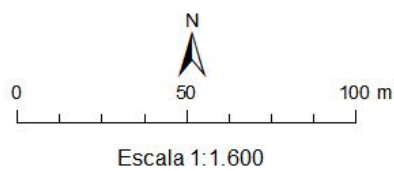
No obstante, se eliminaron los puntos de muestreo 21, 45, 70, 94, 118 del área de estudio 1 y los puntos 58 y 66 del área de estudio2, debido a errores en la toma de datos, o bien porque quedaban al límite del área de estudio y, por lo tanto, no eran incluidos en el análisis.

Muestras de diámetro de tronco tomadas en el área de estudio 1



Leyenda

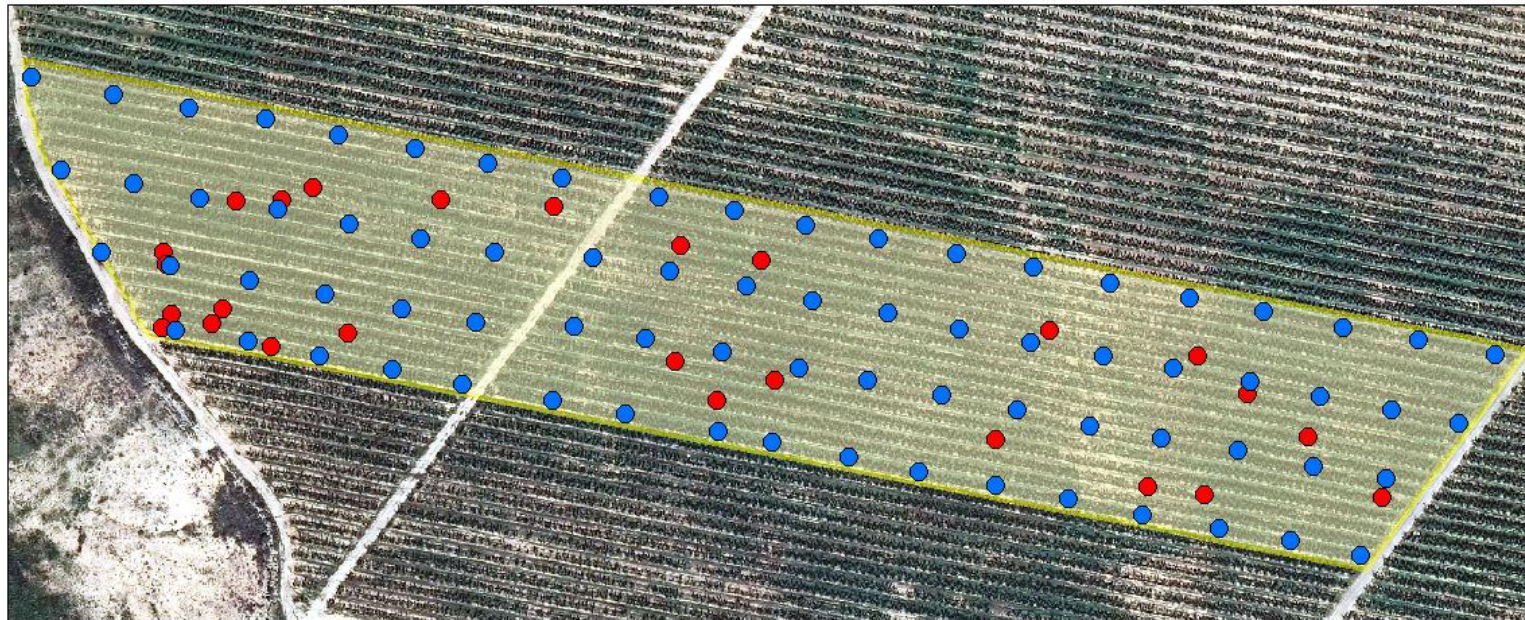
- Muestras regulares
- Muestras aleatorias
- Área de estudio



Mapa elaborado por
Carme Subirà Biosca

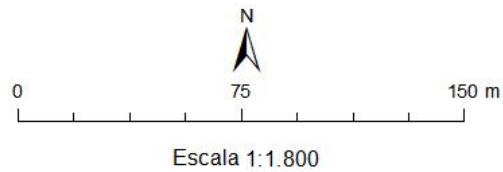
Figura 15. Muestras de diámetro de tronco en el área de estudio 1.

Muestras de diámetro de tronco tomados en el área de estudio 2



Leyenda

- Muestras regulares
- Muestras aleatorias
- Área de estudio



Mapa elaborado por
Carme Subirà Biosa

Figura 16. Muestras de diámetro de tronco en el área de estudio 2.

La medición del diámetro de tronco se realizó con una cinta métrica. La medida fue tomada antes de la bifurcación de las ramas (Fotografía 3).



Fotografía 3. Medida del diámetro de tronco.

Junto con la medición del diámetro también se tomaron las coordenadas de los puntos de muestreo mediante el GPS, para ello se situó el GPS en medio de las dos hileras de árboles con el fin de evitar interferencias en la señal (Fotografía 4).



Fotografía 4. Toma de puntos GPS

Los datos fueron volcados al programa Pathfinder Office, dónde se realizó la corrección diferencial en post-proceso, que redujo el error de 0,9 a 0,4 metros. Finalmente se situó cada punto GPS sobre las filas de la plantación con la ayuda de la ortofoto.

Para cada punto de muestreo se creó un área de influencia de 2 metros, mediante la herramienta de análisis *buffer* de ArcGIS 10.0, tanto en el área de estudio 1 como en la 2. El objetivo fue usar estas áreas *buffer* como áreas donde obtener un promedio del valor de los índices alrededor de cada árbol.

3.3.5. Zonificación de los índices de vegetación mediante análisis “clúster”

El análisis de clúster es un tipo de clasificación de datos que se lleva a cabo mediante agrupación de los elementos analizados. El objetivo fundamental de este tipo de análisis es el de clasificar n objetos en k ($k > 1$) grupos, llamados clústers, mediante la utilización de p ($p > 0$) variables. Los grupos se forman según el grado de similitud entre los miembros del mismo clúster.

En el presente trabajo se pretendió obtener mapas de 2 ó 3 clústers (zonas), agrupando los píxeles de valores similares en cada uno de los índices de vegetación anteriormente calculados, tanto de la parcela 1 como de la 2.

Previamente al análisis de clústers, y con el objetivo de minimizar el efecto de la vegetación entre hileras de árboles, el cual es difícil de eliminar dada la resolución espacial de la imagen utilizada, se procedió a la aplicación de una operación de análisis focal o vecindad para promediar los valores de los índices en ventanas de 3x3 píxeles (Figura 17).

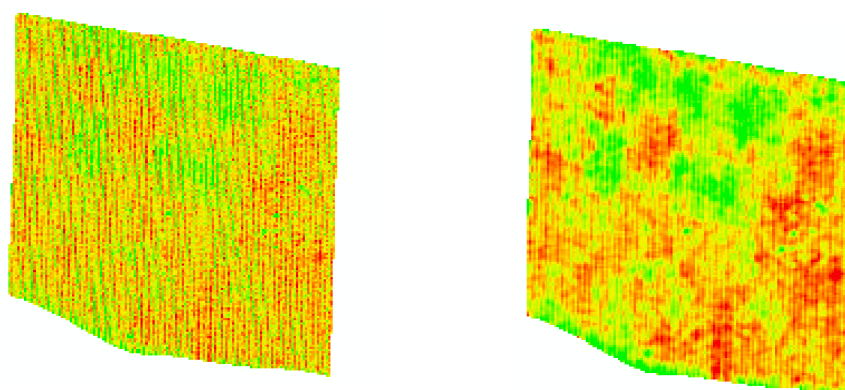


Figura 17: Mapa del índice NDVI1 del área de estudio 1. A la izquierda, mapa con “efecto hilera”, a la derecha, mapa donde se aprecia la compensación del “efecto hilera”

A partir de aquí, se aplicó la herramienta “Iso cluster”, que utiliza un algoritmo clustering de datos ISO para determinar las características de los grupos naturales de celdas en un espacio de atributos multidimensional y almacena los resultados en un archivo de firma ASCII de salida. Esta herramienta crea un archivo de firmas, imprescindible para realizar el siguiente paso, la clasificación de máxima verosimilitud.

En una tercera fase del análisis se aplicó la herramienta “Maximum likelihood classification”, que ejecuta una clasificación de máxima verosimilitud sobre un conjunto de bandas de ráster, en este caso sólo una, y crea un ráster clasificado como salida, teniendo en cuenta el archivo firmas.

3.3.6. Análisis estadístico

En primer lugar, y para obtener un dato de cada índice de vegetación para cada punto de muestreo (para comparar con los valores de diámetro de tronco), se realizó una estadística zonal “Zonal Statistics as table” con los buffer alrededor de los puntos de muestreo y los índices de vegetación. Los archivos de entrada utilizados fueron el resultado del “Focal Statistics” de los índices y el buffer de los puntos de muestreo.

Por otro lado, también se quería conocer en qué “clúster” se encontraba cada punto de muestreo. Para ello se volvió a utilizar la herramienta “Zonal Statistics as Table” pero ahora calculando la moda. Los archivos de entrada utilizados fueron el resultado del “Maxium Likelihood Classification” y el buffer de los puntos de muestreo. Este proceso se realizó para cada uno de los índices calculados, en las dos parcelas y, en cada parcela, con 2 y 3 clústers (zonas).

Con el valor promedio de los índices vegetación por cada punto de muestreo del área de estudio 1 y 2, y el clúster dónde se encuentra cada punto de muestreo del área de estudio 1 y 2 por 2 y 3 clústers, se creó una hoja de cálculo, que contenía también el valor del diámetro de cada punto de muestreo (Anexo 3).

3.3.6.1. Regresión lineal y coeficientes de correlación

Para conocer si existe alguna relación entre el diámetro y cada uno de los índices se realizó una regresión lineal. De ese modo se pudo conocer el grado de correlación existente entre las variables, dos a dos.

El coeficiente de correlación es una medida de la intensidad de la relación lineal entre dos variables, en este caso entre el diámetro y la media de cada uno de los índices. Este coeficiente puede tomar cualquier valor de -1.00 a 1.00, siendo estos valores los que indican una correlación perfecta y/o fuerte, mientras que los valores cerca de 0.0 indican una correlación débil.

Para llevar a cabo este tipo de análisis se utilizó el programa Statgraphics Plus 5.1- Enterpirse Edition. Las variables para crear la matriz fueron el valor del diámetro de tronco y la media de los índices de vegetación en cada punto de muestreo.

3.3.6.2. Comparación de muestras múltiples (análisis de rango múltiples).

Con los valores de los diámetros por un lado, y la media de los índices de vegetación por otro lado, clasificados según el clúster al que pertenecen, se llevó a cabo una comparación de varias muestras, tanto en el área de estudio 1 por 2 y 3 clases como en el área de estudio 2 por 2 y 3 clases, mediante el software Statgraphics Plus.

Dentro de este análisis se tuvo en cuenta el test ANOVA (ANalysis Of VAriance) y el Tests de Rangos Múltiples. El test ANOVA compara si hay alguna diferencia significativa entre las medias, si las hay, los Tests de Rangos Múltiples indican las medias que son significativamente diferentes unas de otras.

4. RESULTADOS

4.1. Índices de vegetación

Teniendo en cuenta las bandas resultantes después de llevar a cabo las operaciones de preprocesamiento y del análisis focal (cálculo de la media) para minimizar el efecto hilera, se obtuvieron los mapas de cada uno de los índices de vegetación de las dos parcelas de estudio (Figura 18 y Figura 19).

El área de estudio 1, mostró una distribución del vigor heterogénea. Cada uno de los índices del área de estudio 1 mostró poca variabilidad en cuanto a zonas de vigor, es decir, todos los índices originaron, visualmente, las mismas zonas de vigor. Por lo general, la mitad superior del área de estudio 1 se trata de zonas de bajo vigor, árboles con menor desarrollo vegetativo pero probablemente con una importante carga frutal. El resto del área de estudio es heterogéneo, apareciendo valores altos de vigorosidad (árboles con mayor desarrollo vegetativo y probablemente menor carga frutal).

No obstante, los rangos de cada uno de los índices son distintos, los índices NDVI1 y NDVI4 tuvieron unos rangos similares, 0,0675-0,2181 y 0,1424-0,2902 respectivamente. Por otro lado, los índices NDVI2 y NDVI3 también presentaron rangos semejantes, 0,2637-0,6435 y 0,3352-0,6889 respectivamente, finalmente los índices NDVI0, GNDVI1 y GNDVI2, 0,0161-0,5064, 0,2949-0,5333 y 0,3717-0,5870 respectivamente.

En el área de estudio 2, la distribución del vigor se puede considerar heterogénea. Las zonas de vigor de cada uno de los índices no coinciden de forma tan clara como en el área de estudio 1. Existen zonas que coinciden en cada uno de los índices, no obstante están definidas con más o menos precisión dependiendo del índice, por ejemplo, la zona de alto vigor en el extremo este aparece de forma nítida en todos los índices menos en el índice GNDVI 1.

Los rangos tienen un comportamiento similar al área de estudio 1, los índices NDVI1 y NDVI4 tienen unos valores parecidos, 0,2472-0,0628 y 0,3024-0,1221 respectivamente, mientras que los índices NDVI2 y NDVI3 tienen unos rangos de 0,7056-0,1425 y 0,7389-0,2006. Por último, los índices NDVI0, GNDVI1 y GNDVI2 tienen un rango de 0,0628-0,5676, 0,5803-0,1362 y 0,6250-0,2710 respectivamente.

Índices de vegetación del área de estudio 1.

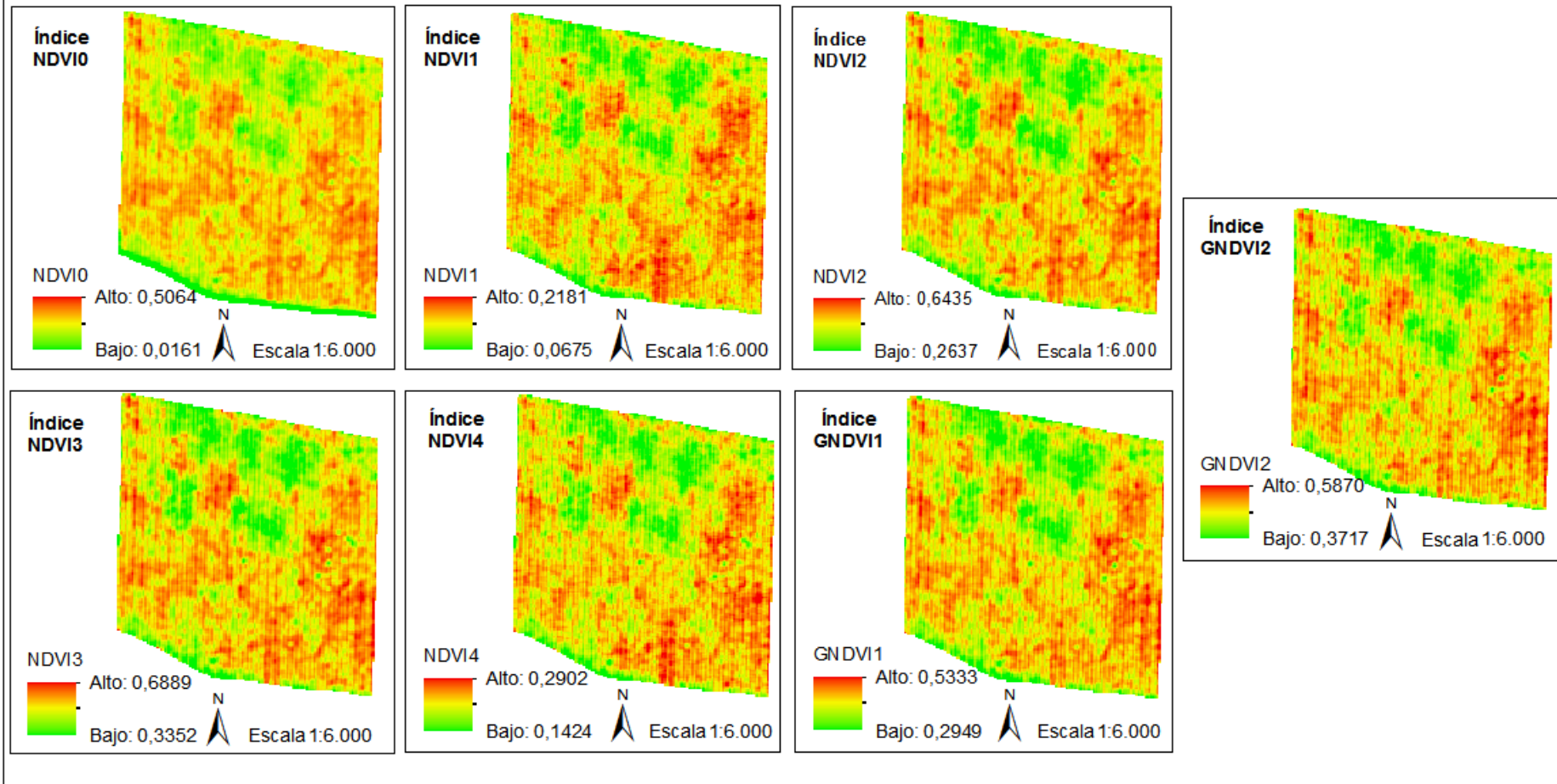


Figura 18: Índices de vegetación del área de estudio 1.

Índices de vegetación del área de estudio 2.

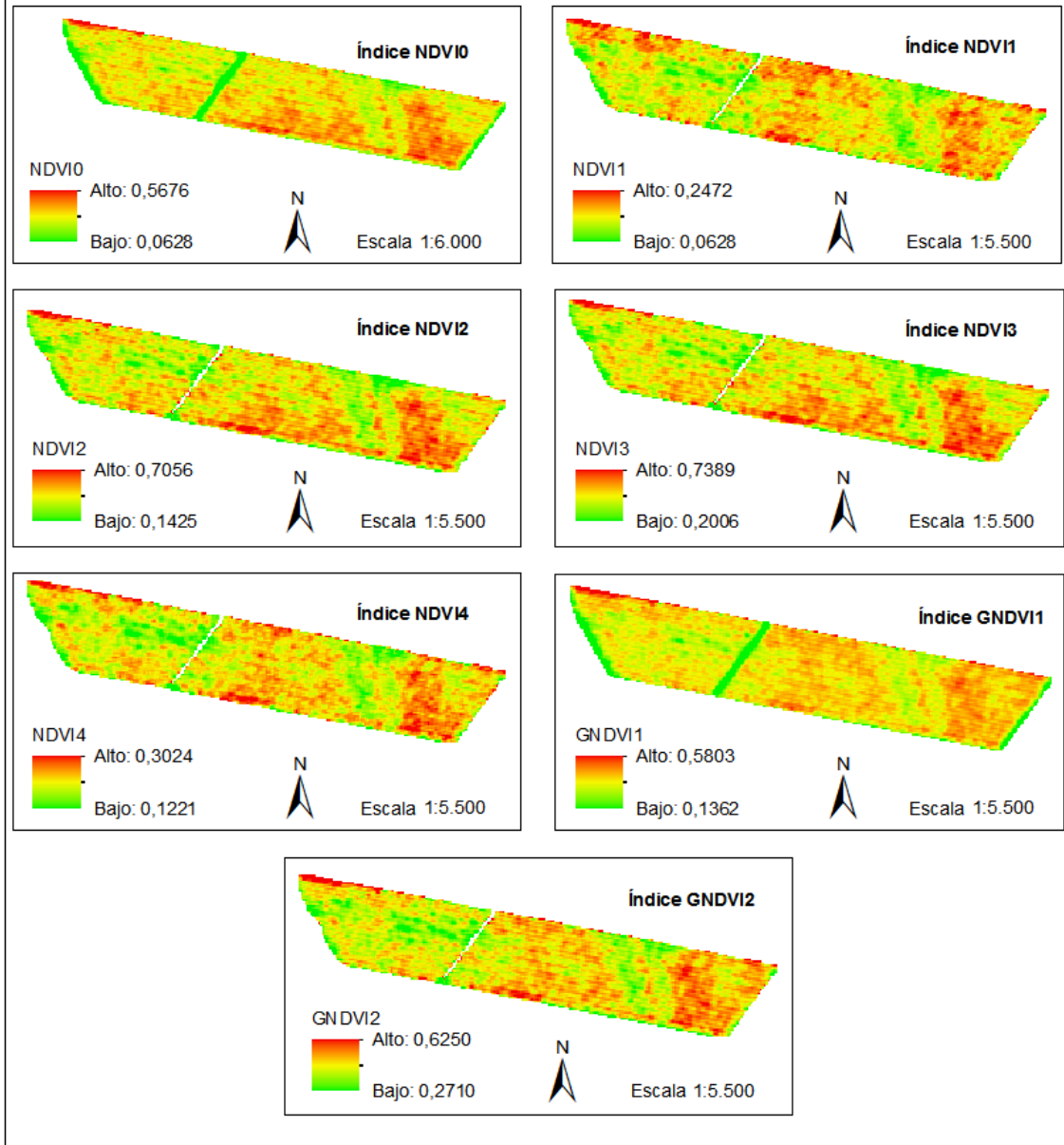


Figura 19: Índices de vegetación del área de estudio 2.

4.2. Índices de vegetación y diámetro de tronco: resumen estadístico básico de los índices de cada punto GPS

Con los 151 valores (puntos de muestreo tomados con GPS) para el área de estudio 1 y con los 100 valores para el área de estudio 2 se ha realizado un resumen estadístico básico del diámetro de tronco y de los índices de vegetación (Tabla 9 y Tabla 10).

Tabla 9: Estadísticas básicas de los índices de vegetación en los puntos de muestreo y del diámetro de tronco del área de estudio 1.

	NDVI0	NDVI1	NDVI2	NDVI3	NDVI4	GNDVI1	GNDVI2	Diámetro cm
Media	0,3639	0,1698	0,5092	0,5588	0,2371	0,4561	0,5096	48,7
Desviación estándar	0,0534	0,0138	0,0437	0,0409	0,0136	0,0217	0,0206	5,6018
Máximo	0,1979	0,1979	0,5918	0,6357	0,2635	0,4908	0,5436	64,5
Mínimo	0,1583	0,1350	0,3916	0,4495	0,2003	0,3956	0,4530	32,0

Tabla 10: Estadísticas básicas de los índices de vegetación en los puntos de muestreo y del diámetro de tronco del área de estudio2.

	NDVI0	NDVI1	NDVI2	NDVI3	NDVI4	GNDVI1	GNDVI2	Diámetro cm
Media	0,3886	0,1846	0,5342	0,5809	0,2499	0,4557	0,5092	45,1
Desviación estándar	0,0423	0,0127	0,0431	0,0424	0,0150	0,0237	0,0227	4,4934
Máximo	0,4763	0,2096	0,6223	0,6682	0,2836	0,4964	0,5535	55,4
Mínimo	0,2074	0,1224	0,3578	0,4059	0,1769	0,3321	0,4160	36,0

El área de estudio 1 y 2 muestran valores muy similares en la media de sus índices. En el área de estudio 1, el valor más alto lo ocupa el NDVI3, seguido por el GNDVI2, NDVI2, GNDVI1, NDVI0, NDVI4 y NDVI1, por otro lado, el área de estudio 2, sigue el mismo orden pero cambiando la posición del NDVI2 y GNDVI2.

Referente la desviación estándar, tanto el área de estudio 1 como la 2 tienen cifras semejantes. Los índices NDVI0, NDVI2 y NDVI3 son los más elevados, oscilan entre el 0,0409 a 0,0534 en el caso del área de estudio 1, y del 0,0423 a 0,0431 en el caso del área de estudio 2. Los índices GNDVI1 y GNDVI2, van del 0,0206 al 0,0217, en el área de estudio 1 y des del 0,0227 al 0,0237 en el área de estudio 2. Por último, los índices NDVI1 y NDVI4, son los que muestran unos valores más bajos, en el caso del área de estudio 1 fluctúan entre el 0,0136 y el 0,0138, por otro lado, en el área de estudio 2, van del 0,0127 al

0,0150. Por lo tanto, los índices que muestran una dispersión mayor son el NDVI0, NDVI2 y NDVI3, por el contrario, los índices GNDVI1 y GNDVI2 son los que tienen una dispersión menor.

4.3. Análisis estadístico de correlación entre diámetro de tronco y índices de vegetación

Teniendo en cuenta el diámetro del tronco y la media de cada uno de los índices de vegetación en cada punto de muestreo, se obtuvo una tabla que muestra el coeficiente de correlación entre estos para cada una de las áreas de estudio (Tabla 11 y Tabla 12).

Tabla 11: Tabla de coeficientes de correlación en el área de estudio 1.

	NDVI 0	NDVI 1	NDVI 2	NDVI 3	NDVI 4	GNDVI 1	GNDVI 2
Diámetro	0,2562 **	0,2753 ***	0,2669 **	0,2709 ***	0,2895 ***	0,2713 ***	0,2772 ***
NDVI 0	-	0,9279 ***	0,9879 ***	0,9873 ***	0,9289 ***	0,9618 ***	0,9554 ***
NDVI 1		-	0,9629 ***	0,9573 ***	0,9789 ***	0,9582 ***	0,9406 ***
NDVI 2			-	0,9987 ***	0,9604 ***	0,9771 ***	0,9688 ***
NDVI 3				-	0,9651 ***	0,9772 ***	0,9744 ***
NDVI 4					-	0,9612 ***	0,9657 ***
GNDVI 1						-	0,9942 ***
GNDVI 2							-

* P-valor < 0,05, ** P-valor < 0,01, *** P-valor < 0,001

Tabla 12: Tabla de coeficientes de correlación en el área de estudio 2.

	NDVI 0	NDVI 1	NDVI 2	NDVI 3	NDVI 4	GNDVI 1	GNDVI 2
Diámetro	0,0920 -	0,2410 *	0,1534 -	0,1484 -	0,2107 *	0,1839 -	0,2159 *
NDVI 0	-	0,7758 ***	0,9569 ***	0,9580 ***	0,8495 ***	0,8879 ***	0,8677 ***
NDVI 1		-	0,8668 ***	0,8531 ***	0,9536 ***	0,9100 ***	0,9024 ***
NDVI 2			-	0,9977 ***	0,9201 ***	0,8881 ***	0,9339 ***
NDVI 3				-	0,9252 ***	0,8831 ***	0,9379 ***
NDVI 4					-	0,9175 ***	0,9580 ***
GNDVI 1						-	0,9419 ***
GNDVI 2							-

* P-valor < 0,05, ** P-valor < 0,01, *** P-valor < 0,001

De las tablas 11 y 12 se deduce que los coeficientes de correlación entre índices de vegetación y diámetro de tronco son bajos ($< 0,30$). Esto indica una baja correlación entre las variables, tanto en el área de estudio 1 como en la 2. Por el contrario, los coeficientes de correlación son elevados ($> 0,75$), siendo esto lógico por tratarse de índices calculados con bandas que están correlacionadas entre sí.

Referente al p-valor, en el área de estudio 1 se muestra una relación estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 99% entre los índices NDVI0 y NDVI2 y el diámetro, mientras que los índices NDVI1, NDVI3, NDVI4, GNDVI1 y GNDVI2 y el diámetro muestran una relación estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 99,9%.

En el área de estudio 2, la relación estadísticamente significativa entre índices y diámetro sólo se da en los índices NDVI1, NDVI4 y GNDVI2 para un nivel de confianza del 95%. Los índices NDVI0, NDVI2, NDVI3 y GNDVI1 en relación con el diámetro muestran una relación estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 90% o inferior.

Estos resultados indican una mejor correlación entre los índices de vigor y el diámetro en la Nectarina plantada en el área de estudio 1 respecto al Melocotón plantado en el área de estudio 2.

4.4. Análisis de clústers

En la Figura 20, Figura 21, Figura 22 y Figura 23 se muestran los mapas de los clústers realizados para cada índice de vegetación para cada área de estudio.

Referente el área de estudio 1 con 2 clúster, como ocurría en la Figura 18 muestra una distribución heterogénea. El clúster 1 corresponde a zonas de bajo vigor y el clúster 2 a zonas de alto vigor. Teniendo en cuenta los dos clústers, el área del clúster 1 es inferior en cada uno de los índices de vegetación (Tabla 13). En el caso del índice NDVI0 y NDVI4 no se han formado clúster porque no existe una variabilidad suficiente.

Tabla 13: Área de los clústers en el área de estudio 1 con 2 clústers (m²).

	NDVI 0	NDVI1	NDVI2	NDVI3	NDVI4	GNDVI1	GNDVI2
Clúster 1	-	37.008	32.860	33.276	-	35.836	31.732
Clúster 2	-	45.628	49.776	49.360	-	46.800	50.904

La Figura 21 muestra la misma área de estudio pero con los índices separados en 3 clústers. El clúster 2 es una zona intermedia entre el clúster 1 (baja vigorosidad) y 3 (alta vigorosidad). En este caso, las áreas de mayor dimensión se encuentran son las del clúster 3, menos en el caso del índice NDVI0 (Tabla 14). La falta de datos en el clúster 3 en el índice NDVI0 se debe a la falta de variabilidad del índice en esta parcela.

Tabla 14: Área de los clústers en el área de estudio 1 con 3 clústers (m²).

	NDVI 0	NDVI1	NDVI2	NDVI3	NDVI4	GNDVI1	GNDVI2
Clúster 1	33.252	15.736	16.640	17.072	15.492	14.876	16.372
Clúster 2	49.384	31.676	29.976	29.116	30.652	31.760	31.812
Clúster 3	-	35.224	36.020	36.448	36.492	36.000	34.452

En el área de estudio 2, los 2 clústers se distribuyen heterogéneamente. El clúster 2 (zonas de alto vigor) presenta un área mayor en los índices NDVI1 y NDVI4, mientras que el índice NDVI3 presenta un área mayor en el clúster 1 que en el 2 (Tabla 15). Referente a los índices NDVI0, NDVI2, GNDVI1 y GNDVI2 no muestran valores porque la variabilidad es insuficiente.

Tabla 15: Área de los clústers en el área de estudio 2 con 2 clústers (m²).

	NDVI 0	NDVI1	NDVI2	NDVI3	NDVI4	GNDVI1	GNDVI2
Clúster 1	-	18.672	-	21.344	17.068	-	-
Clúster 2	-	21.752	-	19.080	23.356	-	-

En cuanto a la zonificación en 3 (3 clústers) del área de estudio 2, como ocurría en el área de estudio 1, el clúster 2 corresponde a los sectores de transición entre el clúster 1 y 3. Los índices de vegetación que contiene el clúster 1 de mayor área son el NDVI2, NDVI3, GNDVI1 y GNDVI2, mientras que los índices NDVI 0, NDVI1 y NDVI4 tienen el clúster 2 como el de mayor área (Tabla 16). La falta de datos en el clúster 3 en los índices NDVI0, NDVI2, NDVI3, GNDVI1 y GNDVI2 se debe a la falta de variabilidad de los índices.

Tabla 16: Área de los clústers en el área de estudio 2 con 3 clústers (m²).

	NDVI 0	NDVI1	NDVI2	NDVI3	NDVI4	GNDVI1	GNDVI2
Clúster 1	19.124	9.076	24.664	25.420	11.788	23.496	23.496
Clúster 2	21.300	17.140	15.760	15.004	17.828	16.928	16.928
Clúster 3	-	14.208	-	-	10.808	-	-

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, en el área de estudio 1 se da una distribución poco favorable de la vigorosidad, ya que los clústers que más área tienen son los que pueden asociarse con una carga frutal menor. En el caso del área de estudio 2 la superficie de cada uno de los clústers se asemeja más, cuando se trata de 2 clústers, el clúster 2 (muchas vigorosidad y poca carga frutal) presenta una superficie mayor en 2 de los 3 índices. Cuando se trata de 3 clústers, el cluster 1 (poca vigorosidad y mucha carga frutal) es de mayor superficie en 4 de los 6 índices.

Área de estudio 1 con 2 clústers.

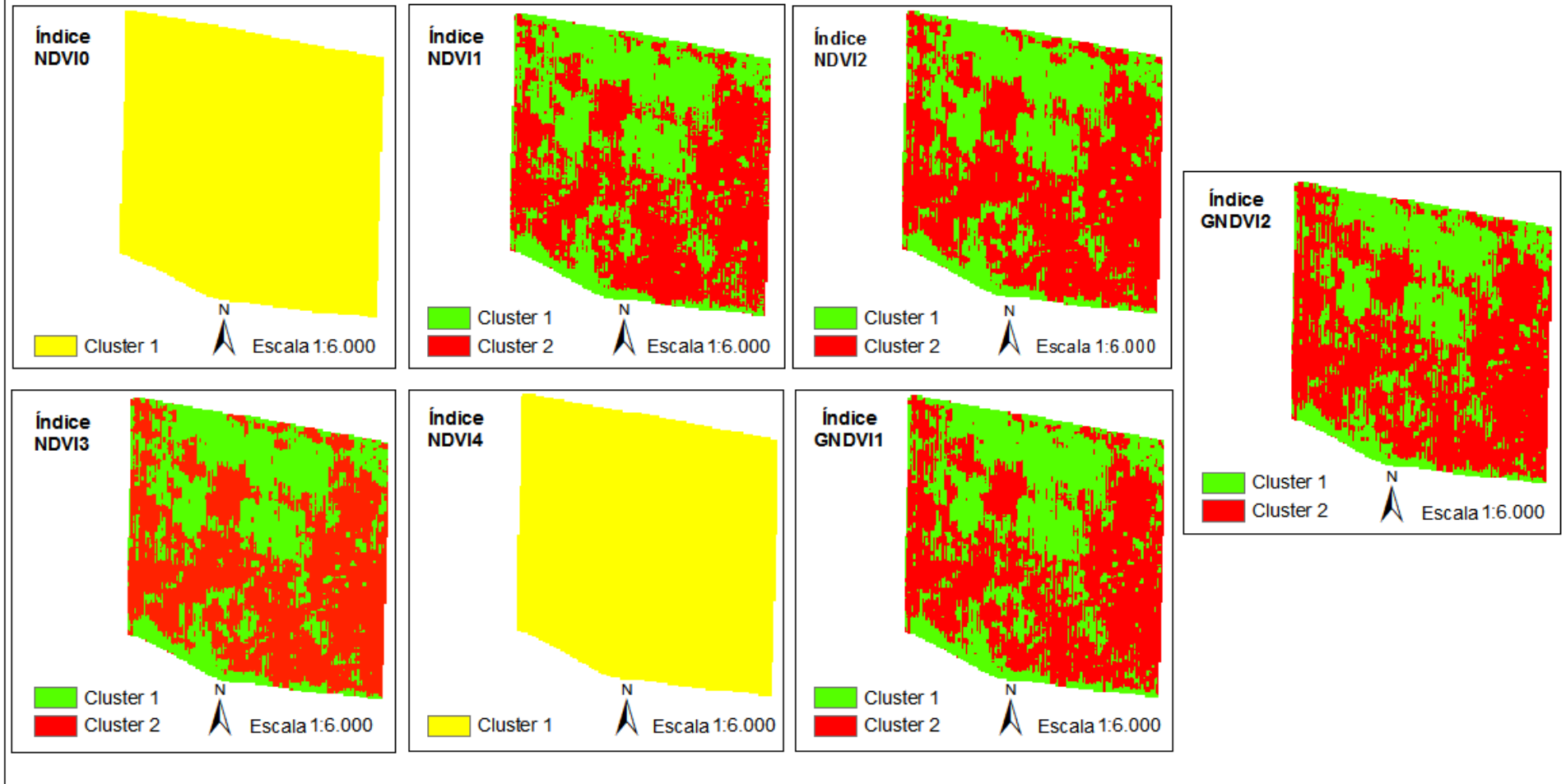


Figura 20: Área de estudio 1 con 2 clústers.

Área de estudio 1 con 3 clústers.

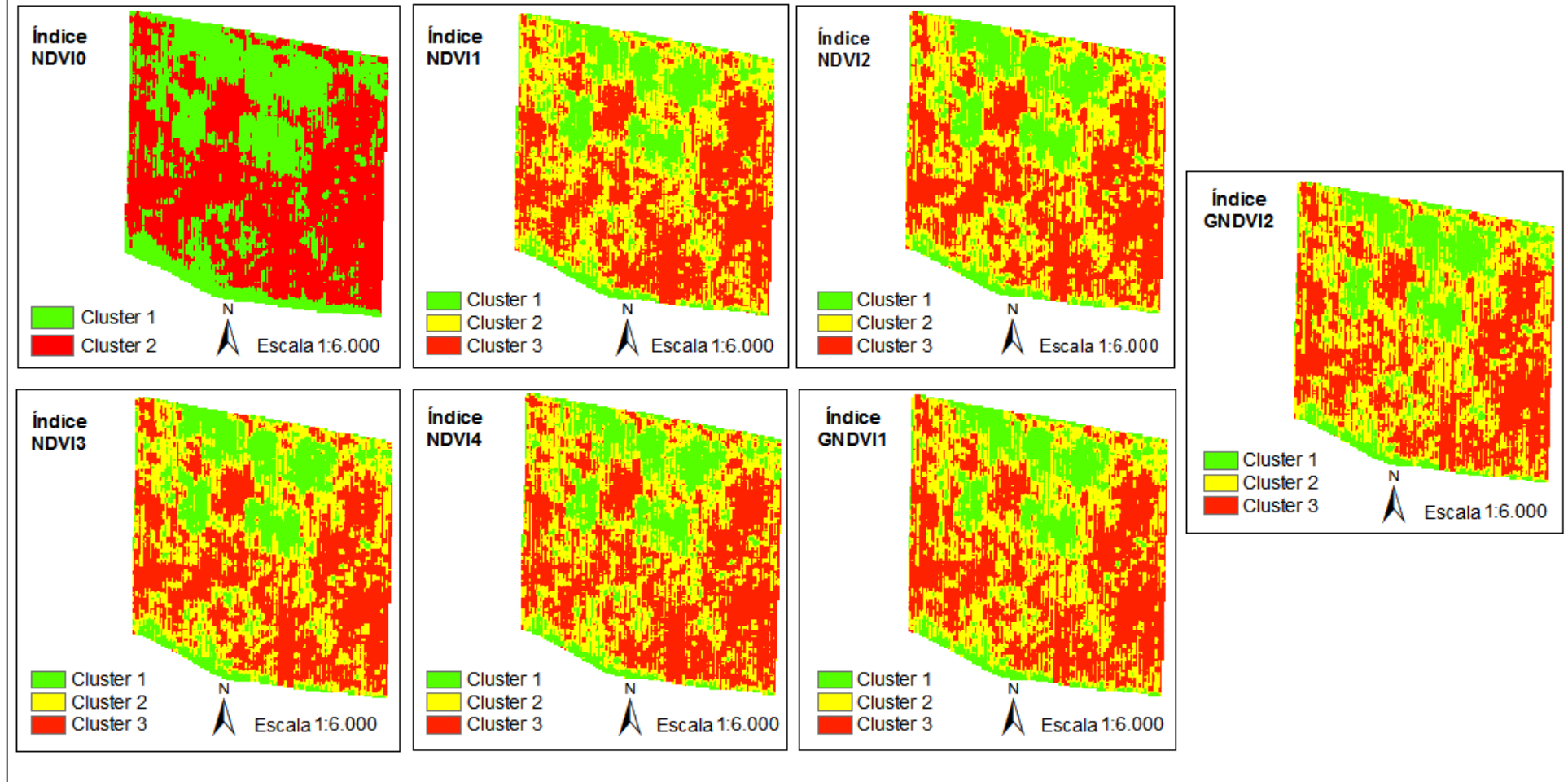


Figura 21: Área de estudio 1 con 3 clústers

Área de estudio 2 con 2 clústers.

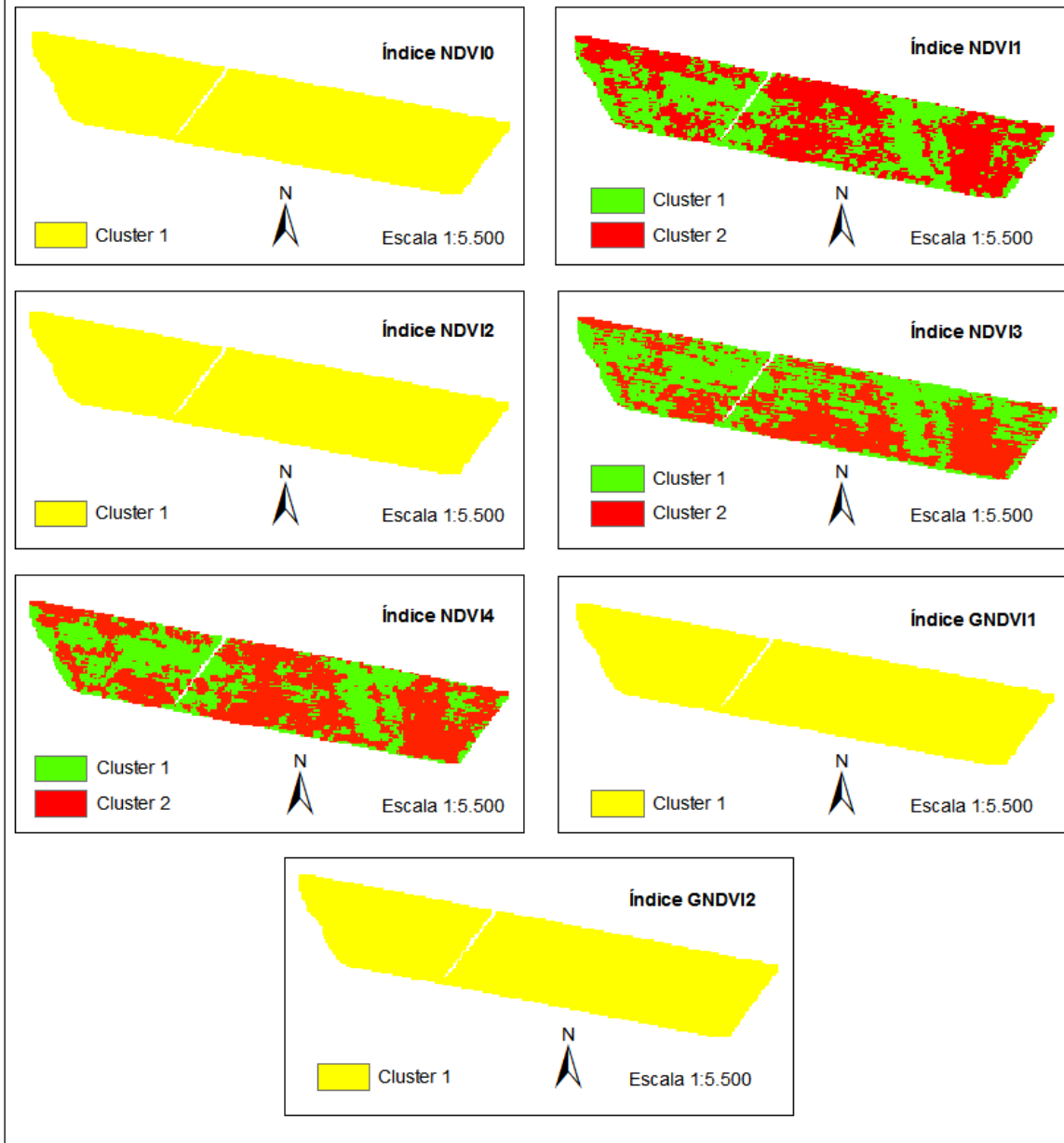


Figura 22: Área de estudio 2 con 2 clústers.

Área de estudio 2 con 3 clústers.

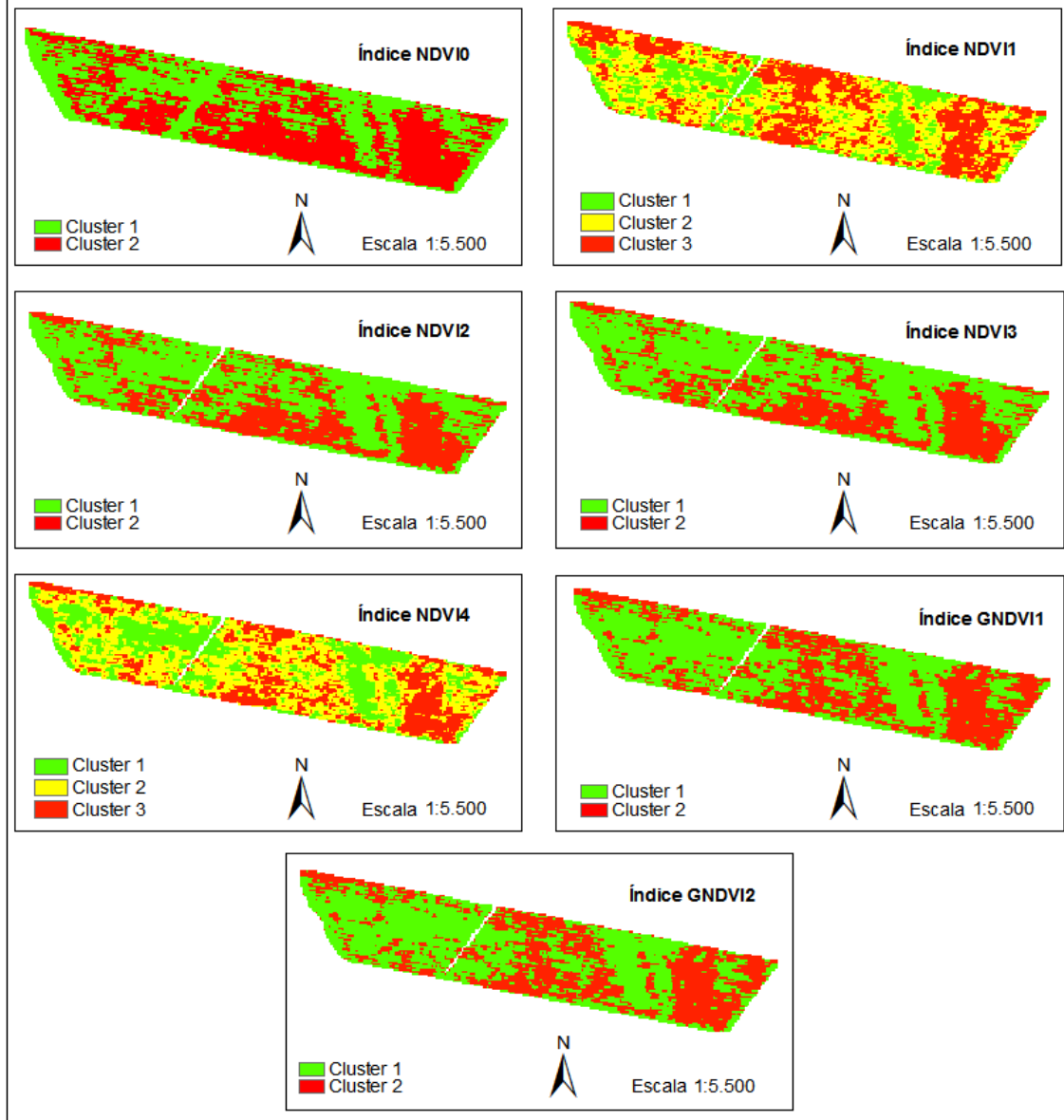


Figura 23: Área de estudio 2 con 3 clústers

4.5. Diferenciación de diámetros de tronco en las zonas de índices de vegetación

En la Tabla 17 y Tabla 18 se presenta el resultado de los análisis de comparación de rangos múltiples con el objetivo de determinar la correlación entre diámetro del tronco y zonas de vigor según los clústers obtenidos.

En el área de estudio 1 (2 clústers), en todos los casos de zonas definidas según los diferentes índices de vegetación, los diámetros presentan diferencias significativas entre clústers. Cuando el análisis se hace considerando 3 clústers, los diámetros tienen diversos comportamientos. Los 2 clústers del NDVI0 son significativamente diferentes. En el NDVI1 y GNDVI1 existen diferencias entre el clúster 1 y 3. A su vez, el clúster 2 tiene valores semejantes al clúster 1 y 3. Los NDVI2, NDVI3 y NDVI4 tienen diferencias significativas entre el clúster 1 y 2 y el clúster 1 y 3. Finalmente, los clústers del GNDVI2 no tienen diferencias significativas entre ellos.

Referente al área de estudio 2 (2 clústers), no existen diferencias significativas entre la variable diámetro de troncos y las zonas de índices de vegetación (en ningún caso). Esto se repite cuando se trata de 3 clústers, excepto el índice NDVI4 que tiene diferencias significativas entre el clúster 2 y 3, pero a su vez el clúster 1 tiene valores semejantes a al clúster 2 y 3.

Tabla 17: Análisis de rangos múltiples en 2 y 3 zonas (clústers) en el área de estudio 1.

Área de estudio 1- 2 clústers																				
	NDV10	Diámetro (NDV10)		NDV11	Diámetro (NDV11)		NDV12	Diámetro (NDV12)		NDV13	Diámetro (NDV13)		NDV14	Diámetro (NDV14)		GNDV11	Diámetro (GNDV11)		GNDV12	Diámetro (GNDV12)
Clúster 1	-	-	Clúster 1	0,1602	47,8	Clúster 1	0,4750	47,2	Clúster 1	0,5273	47,2	Clúster 1	-	-	Clúster 1	0,4411	47,7	Clúster 1	0,4938	47,5
n=	-	-	n= 80	A	A	n= 72	A	A	n= 73	A	A	n= -	-	-	n= 81	A	A	n= 72	A	A
Clúster 2	-	-	Clúster 2	0,1815	49,8	Clúster 2	0,5425	50,1	Clúster 2	0,5902	50,1	Clúster 2	-	-	Clúster 2	0,4747	49,9	Clúster 2	0,5251	49,8
n=	-	-	n= 66	B	B	n= 74	B	B	n= 73	B	B	n= -	-	-	n= 65	B	B	n= 74	B	B

Área de estudio 1- 3 clústers																				
	NDV10	Diámetro (NDV10)		NDV11	Diámetro (NDV11)		NDV12	Diámetro (NDV12)		NDV13	Diámetro (NDV13)		NDV14	Diámetro (NDV14)		GNDV1	Diámetro (GNDV1)		GNDV2	Diámetro (GNDV2)
Clúster 1	0,3402	47,2	Clúster 1	0,1496	46,6	Clúster 1	0,4402	46,3	Clúster 1	0,4950	46,3	Clúster 1	0,2180	46,3	Clúster 1	0,4229	46,6	Clúster 1	0,4794	46,9
n= 71	A	A	n= 31	A	A	n= 30	A	A	n= 31	A	A	n= 33	A	A	n= 30	A	A	n= 32	A	A
Clúster 2	0,4005	50,1	Clúster 2	0,1691	48,6	Clúster 2	0,5079	49,0	Clúster 2	0,5587	49,1	Clúster 2	0,2367	49,1	Clúster 2	0,4540	48,6	Clúster 2	0,5094	49,1
n= 75	B	B	n= 68	B	AB	n= 67	B	B	n= 66	B	B	n= 67	B	B	n= 62	B	AB	n= 64	B	A
Clúster 3	-	-	Clúster 3	0,1843	50,1	Clúster 3	0,5532	49,7	Clúster 3	0,5992	49,6	Clúster 3	0,2514	49,7	Clúster 3	0,4768	50,0	Clúster 3	0,5293	49,3
n=	-	-	n= 47	C	B	n= 49	C	B	n= 49	C	B	n= 46	C	B	n= 54	C	A	n= 50	C	A

n= número de muestras tomadas

Los datos de cada columna corresponden a la media de cada uno de los clústers.

La letra indica diferencias estadísticamente significativas entre clústers con un p-valor < 0,05.

Tabla 18: Análisis de rangos múltiples en 2 y 3 zonas (clústers) en el área de estudio 1.

Área de estudio 2- 2 clústers																				
	NDVI0	Diámetro (NDVI0)		NDVI1	Diámetro (NDVI1)		NDVI2	Diámetro (NDVI2)		NDVI3	Diámetro (NDVI3)		NDVI4	Diámetro (NDVI4)		GNDV1	Diámetro (GNDV1)		GNDV2	Diámetro (GNDV2)
Clúster 1	-	-	Clúster 1	0,1727	44,4	Clúster 1	-	-	Clúster 1	0,5451	44,7	Clúster 1	0,2359	44,5	Clúster 1	-	-	Clúster 1	-	-
n=	-	-	n= /37	A	A	n=	-	-	n= /44	A	A	n= /37	A	A	n= /-	-	-	n= /-	-	-
Clúster 2	-	-	Clúster 2	0,1917	45,4	Clúster 2	-	-	Clúster 2	0,6096	45,3	Clúster 2	0,2583	45,4	Clúster 2	-	-	Clúster 2	-	-
n=	-	-	n= /62	B	A	n=	-	-	n= /55	B	A	n= /62	B	A	n= /-	-	-	n= /-	-	-

Área de estudio 2- 3 clústers																				
	NDVI0	Diámetro (NDVI0)		NDVI1	Diámetro (NDVI1)		NDVI2	Diámetro (NDVI2)		NDVI3	Diámetro (NDVI3)		NDVI4	Diámetro (NDVI4)		GNDV1	Diámetro (GNDV1)		GNDV2	Diámetro (GNDV2)
Clúster 1	0,3549	45,1	Clúster 1	0,1649	43,4	Clúster 1	0,5068	44,8	Clúster 1	0,5545	45,5	Clúster 1	0,2310	44,7	Clúster 1	0,4953	45,8	Clúster 1	0,4953	41,5
n= /46	A	A	n= /17	A	A	n= /56	A	A	n= /42	A	A	n= /25	A	AB	n= /42	A	A	n= /57	A	A
Clúster 2	0,4179	45,0	Clúster 2	0,1829	45,0	Clúster 2	0,5700	45,4	Clúster 2	0,6167	44,7	Clúster 2	0,2510	44,3	Clúster 2	0,5280	44,5	Clúster 2	0,5280	45,8
n= /53	B	A	n= /43	B	A	n= /43	B	A	n= /57	B	A	n= /42	B	A	n= /57	B	A	n= /42	B	A
Clúster 3	-	-	Clúster 3	0,1951	45,8	Clúster 3	-	-	Clúster 3	-	-	Clúster 3	0,2633	46,4	Clúster 3	-	-	Clúster 3	-	-
n= /-	-	-	n= /39	C	A	n= /-	-	-	n= /-	-	-	n= /32	C	B	n= /-	-	-	n= /-	-	-

n= número de muestras tomadas

Los datos de cada columna corresponden a la media de cada uno de los clústers.

La letra indica diferencias estadísticamente significativas entre clústers con un p-valor < 0,05.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una baja correlación entre diámetro del tronco y cada uno de los índices de vegetación derivados de la imagen de satélite, tanto en el área de estudio 1 como en la 2. Esto puede deberse a la baja relación entre el diámetro de tronco y los índices de vegetación causada por las podas en diferentes momentos del ciclo anual de los frutales, que pueden disminuir la vegetación aérea en determinados momentos del año, con el fin de equilibrar la producción.

No obstante, el área de estudio 1 muestra valores más satisfactorios que la 2 en la relación entre diámetro del tronco e índices de vegetación. La razón podría ser debida a la mayor variabilidad espacial de la respuesta del cultivo en la zona de estudio 1 respecto a la 2. En ésta última, los suelos de fondo de valle inducen una menor variabilidad en la respuesta del cultivo. Esto se manifiesta en una correlación más baja entre los índices de vegetación y el desarrollo de los árboles. En el caso del área de estudio 1, localizada en un relieve tabular con rocas calizas, la profundidad del suelo es más variable. Se presentan zonas con una profundidad de suelo (según el propietario de la explotación) de menos de 50 cm, las cuales alternan con suelos más profundos donde los árboles pueden alcanzar mayor vigorosidad.

De los índices de vegetación considerados, el índice NDVI3, que es el que se utiliza de forma más común en la estimación del vigor vegetativo a través de imágenes multiespectrales, es el que mostró un valor medio más elevado en los puntos de muestreo, siendo uno de los índices que mejor correlación mostró con el diámetro del tronco. El índice NDVI0, que incorpora la banda RED-EDGE y recomienda la empresa propietaria del satélite, no mostró los mejores resultados, incluso en la comparación de los diámetros de tronco por zonas.

En cuanto a si la zonificación de las parcelas de frutales debería ser en 2 ó 3 clústers (zonas), en el caso de haber variabilidad de la respuesta vegetativa (p.e. área de estudio 1), los resultados demuestran que existe más correlación con las medidas de diámetro en 2 zonas que no en 3. Estos resultados son similares a los encontrados por otros investigadores en la zonificación del cultivo de la viña con el fin de obtener zonas de diferente calidad de uva (Arnó et al., 2011 y Martínez-Casasnovas et al., 2012). Así, estos autores encontraron que, en el caso de establecer 3 zonas, la zona de moderado vigor y/o rendimiento, mostraba un comportamiento ambiguo. La diferenciación de los parámetros de calidad de uva se mostró más efectiva cuando se consideraban 2 zonas que no cuando se consideraban 3.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha mostrado una aplicación de los sistemas de información geográfica y de la teledetección a la fruticultura de precisión, el cual es un campo poco explorado a nivel científico. Así, el uso de estas herramientas podría llegar a ser de uso común en la fruticultura del futuro, debido a las grandes ventajas que puede aportar.

No sólo han permitido el almacenamiento de gran cantidad de datos adquiridos en el campo y de sensores remotos, sino que también se han mostrado útiles como herramientas de apoyo en la zonificación de la variabilidad espacial de la respuesta de las plantaciones. Estas mejoras tienen una incidencia y aplicación directa en el campo del aprovechamiento y optimización de la productividad de la tierra, lo cual supone un incremento de beneficios para el agricultor.

En cuanto a la estimación del diámetro de tronco a través de índices de vegetación, la correlación ha sido, en general baja. Las parcelas con una variabilidad más homogénea del cultivo han mostrado menor oportunidad para poder estimar los diámetros en base a los índices de vegetación. En la parcela con mayor variabilidad de los suelos, la correlación es mayor, pudiendo establecerse 2 tipos de zonas: bajo y alto vigor, las cuales pueden corresponderse con zonas de mayor o menor carga de frutos.

LIMITACIONES:

La imagen WorldView-2 utilizada no tiene la resolución espacial necesaria para poder discernir exactamente las hileras de árboles en las parcelas de estudio. Esto puede inducir a error, ya que para homogeneizar la respuesta de la zonificación, se tuvo que recurrir a promediar los valores de los índices de vegetación en entornos de vecindad.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

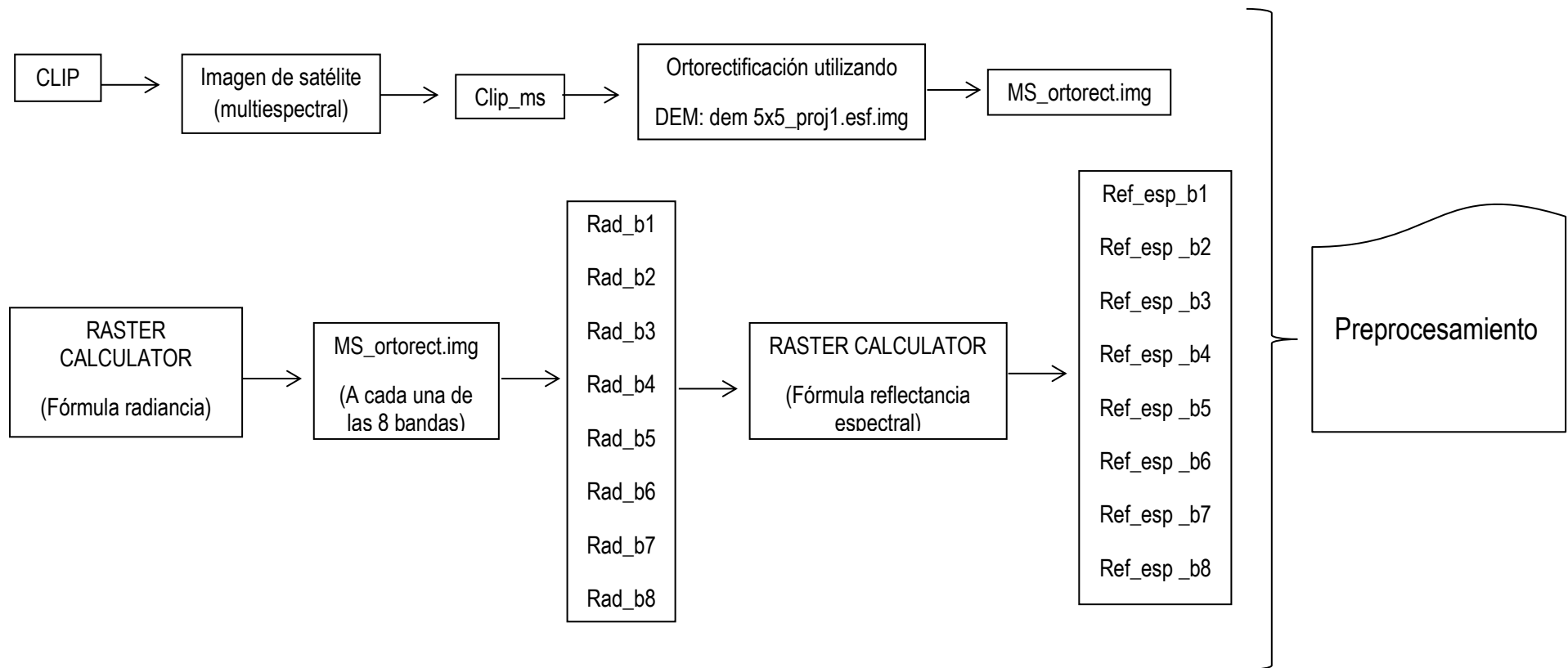
- Arnó, J. (2008): *Una investigación sobre la variabilidad intraparcelsaria en viña y el uso de sensores láser en viticultura de precisión*. Tesis en Ingeniería Agroforestal publicada, Universitat de Lleida, Lleida.
- Castaño, S., Reyes, J., Vela, A. (1994). *La teledetección. Sus bases*. Sección de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Instituto de desarrollo Regional. Universidad de Castilla-la Mancha.
- Casterad, M., López, R. y Acevedo, A. (2008). *Uso de técnicas SIG y teledetección en el seguimiento del cultivo de viña*. Centro de Investigación y tecnología agroalimentaria de Aragón.
- Digital Globe (2013). *Radiometric use of WorldView-2 Imagery. Technical Note*. Todd Updike, y Chris COMP. [http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/Radiometric_Use_of_WorldView-2_Imagery%20\(1\).pdf](http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/Radiometric_Use_of_WorldView-2_Imagery%20(1).pdf)
- Digital Globe (2013). *White paper. The benefits of the 8 spectral bands of WorldView-2*. <http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG-8SPECTRAL-WP-WEB.pdf>
- Escolà, A. (2010): *Mètode de dosificació variable en temps real per a l'aplicació de productes fitosanitaris en fruticultura de precisió*. Tesis en Ingeniería Agroforestal publicada, Universitat de Lleida, Lleida.
- FAO, 1988. World Reference Base for Soil Resources. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Fei Li, Bodo Mistele, Yuncai Hu, Xianlu Yue, Shanchao Yue, Yuxin Miao, Xinping Chen, Zheling Cui, Qingfeng Meng, Urs Schmidhalter. (2012). *Remotely estimating aerial N status of phenologically differing Winter wheat cultivars grown in contrasting climatic and geographic zones in China and Germany*. Field Crops Research 138: 21-32.
- Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario de Chile. (2013). *Resultados y lecciones en agricultura de precisión en viñedos, 2008*. Fundación para la innovación agraria. http://www.indap.gob.cl/sites/default/files/agricultura_de_precision_en_vinedos.pdf
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias de Chile. (2013). <http://www.inia.cl/>
- Kemerer, A., Di Bella, C., Melchiori, R., Benench, A., Alvarez, R. y C. (2007). *Comparación de índices espectrales para la predicción del IAF en canopeos de maíz*. Congreso de teledetección: hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Asociación Española de Teledetección
- Marbelo. *Introducción a al teledetección*. Arbelo, M. Departamento d física de la Universidad de la Laguna. <http://marbelo.webs.ull.es/rs1.pdf>

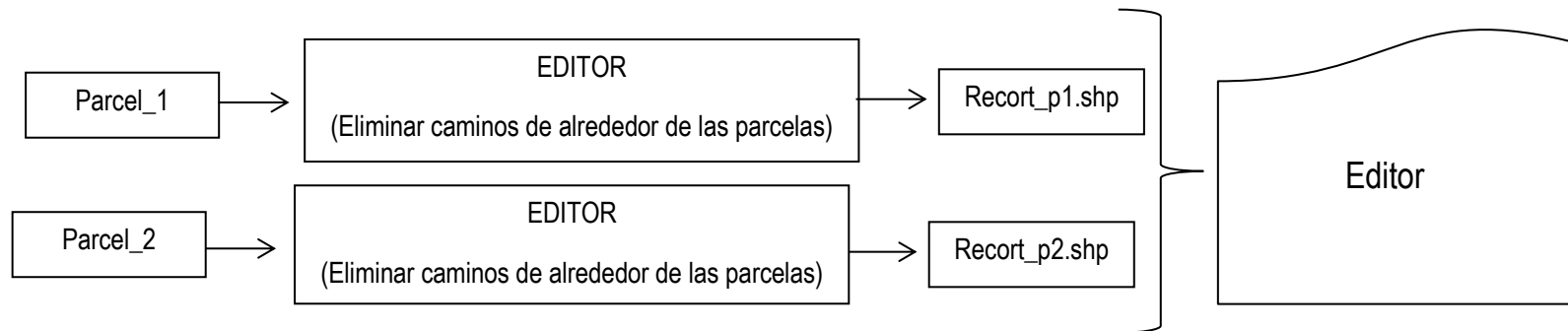
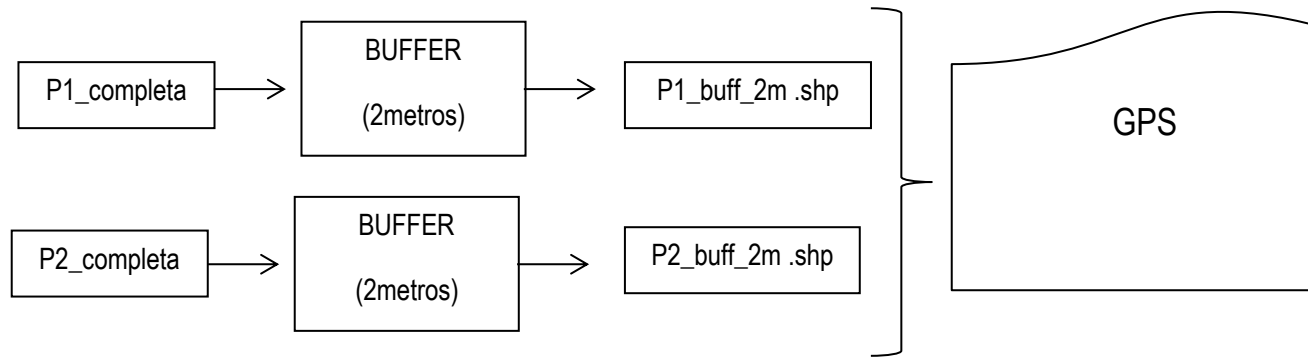
- Martínez, J., Martín, M.P. (2010). *Guía didáctica de Teledetección y Medio Ambiente. Red Nacional de Teledetección Ambiental*. Centro de Ciencias Humanas y Sociales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). España.
- Martínez-Casasnovas, J.A. y Bordes, X. (2005). *Viticultura de precisión: Predicción de cosecha a partir de variables del cultivo e índices de vegetación*. *Revista de Teledetección* 24: 67-71.
- Martínez-Casasnovas, J.A., Agelet-Fernández, J., Arnó, J. y Ramos, M.C. (2012). *Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality*. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10: 326-337.
- Martínez-Casasnovas, J.A., Antúnez, M., Roca, J., 1992. *Mapa de suelos detallado (1:25000) y evaluación para riego del área regable por el canal de "les Baixes Garrigues" (El Segrià, Lleida)*. Departament de Meteorologia i Ciència del Sòl, UPC, Lleida. (No publicado).
- Navarra Agraria. (2013). *Vigor de variedades de melocotonero*. <http://www.navarraagraria.com/n141/vigomelo.pdf>
- Pascual, M., Urbina, V., Dalmases, J. y Nolla, J.M. (2006). *Historia y situación actual de la fruticultura en Lleida*. *Fruticultura profesional* 158: 5-15.
- Puentees, C.; Soto, A.; Viancos, R.; Cárcamo, L.; Sepúlveda, F.; Varela, M. y Mesina, M. (2013). *Guía básica sobre imágenes satelitales y sus productos*. Asesorías Cartográficas LTDA. <http://www.cartografia.cl/download/srgis.pdf>
- Reyes, J. (2004). *Teledetección y SIG en la asistencia de la actuación forestal postincendio. Método de estimación de la prioridad de intervención forestal. Análisis de tres casos de estudio*. Tesis en Ingeniería Agrónoma publicada, Universidad de Castilla-la Mancha.
- Silva, C., Delvalls, T.A. y Martín-Díaz, M.L. (2011). *Environmental monitoring and mapping in a tidal salt marsh creek affected by fish aquaculture using Worldview-2 multiespectral imagery*. *Geospatial World Forum 2011- Dimensions and directions of geospatial industry* 18-21 January, Hyderabad, India.
- SSS (Soil Survey Staff), 1990. *Keys to Soil Taxonomy*, 4th edition. SMSS Technical Monograph N. 6. Blacksburg, Virginia (USA).
- Tagarakis, A., Liakos, V., Fountas, S., Koundouras, S. y Gemtos, T.A. (2013). *Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines*. *Precision agricultura* 14: 18-39.
- Ubalde, J.M. (2010): *Quantifying the effects of soil and climate on grape and wine quality: application in a viticultural zoning based on very detailed soil surveys*. Tesis en Edafología y química agrícola publicada, Universitat de Lleida, Lleida.
- Upadhyay, P., Ghosh, S.K., Kumar, A. (2013). *High resolution temporal normalized difference vegetation indices for specific crop identification*. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, volume XL-1/W1, ISPRS Hannover Workshop 2013, 21-24 May 2013, Hannover, Germany.

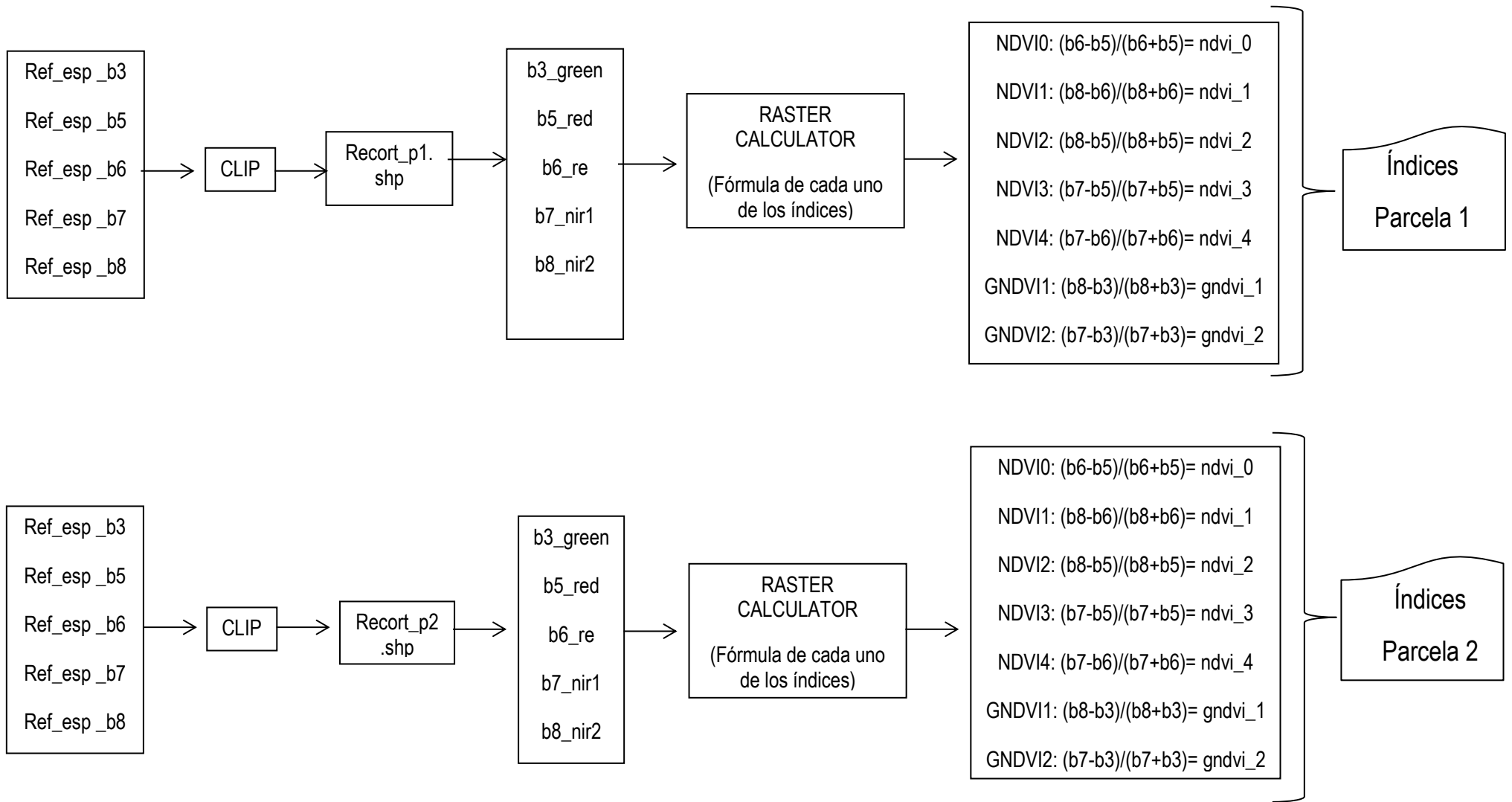
- Villalobos, P., Manríquez, R., Acevedo, C. y Ortega, S. (2009). *Estudio del alcance de la agricultura de precisión en Chile: estado del arte, ámbito de aplicación y perspectivas*. Departamento de economía agraria en colaboración con el centro de investigación y transferencia en riego y agroclimatología (CITRA), Universidad de Talca, Chile.

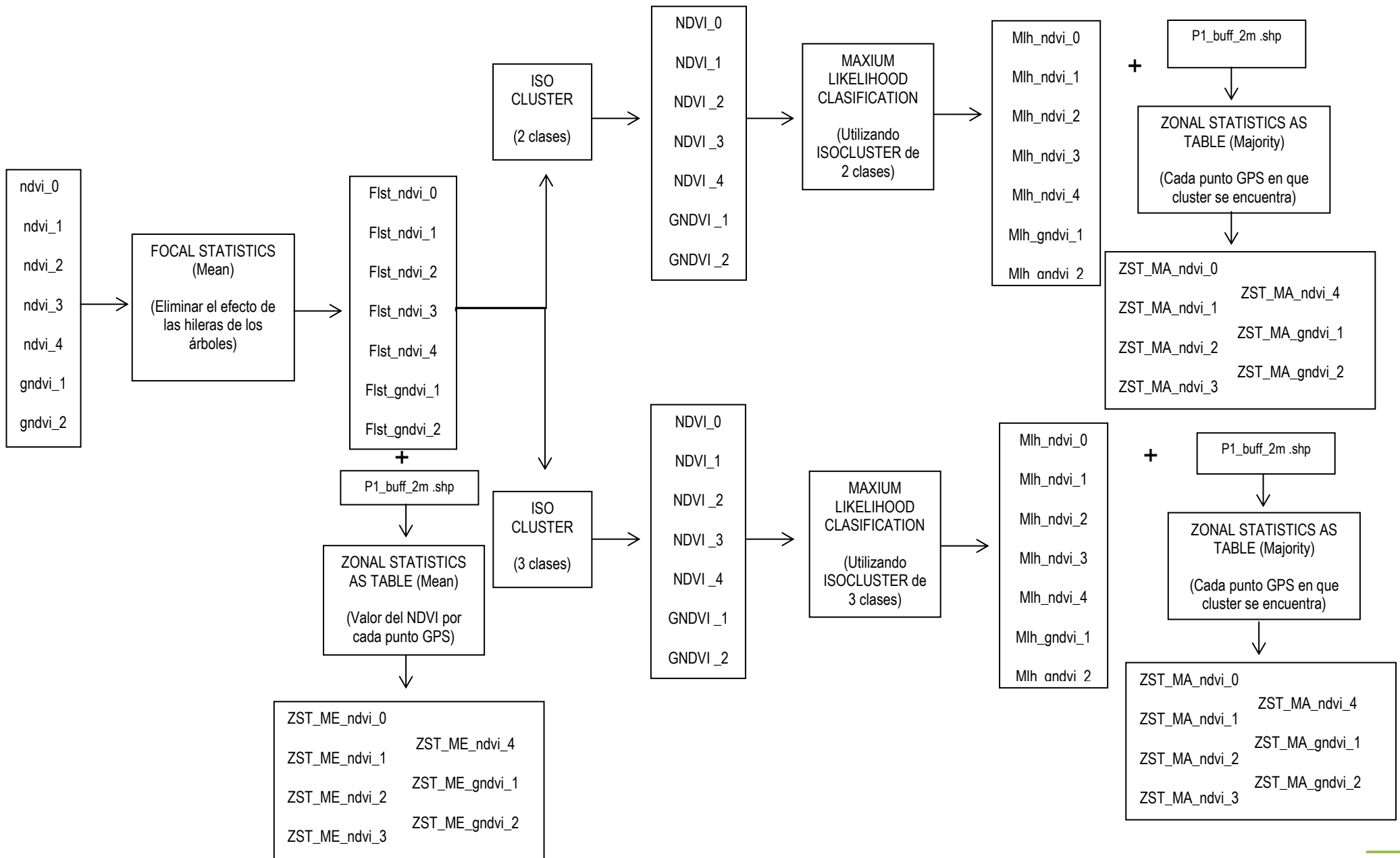
8. ANEXOS

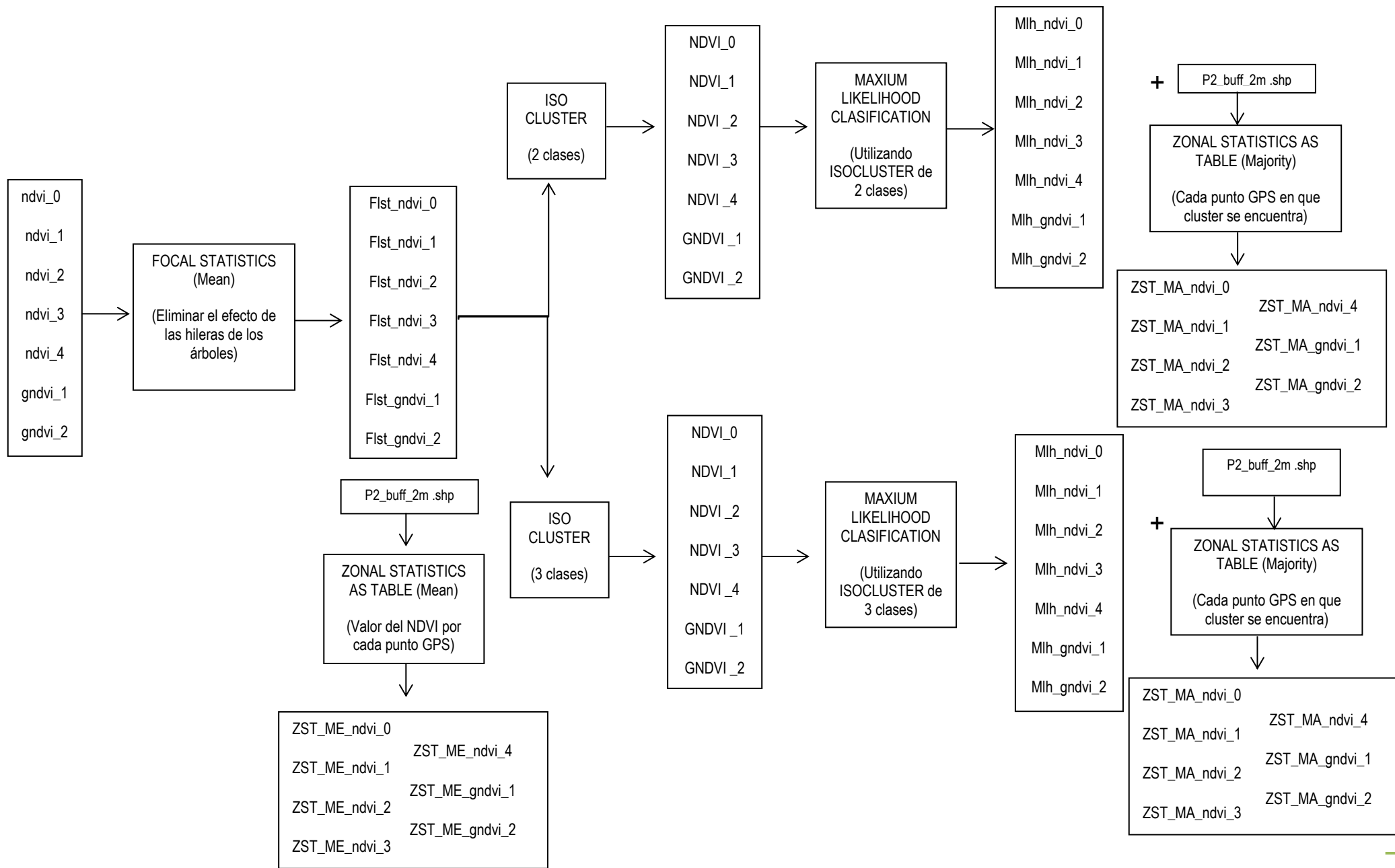
8.1. Esquema procesos

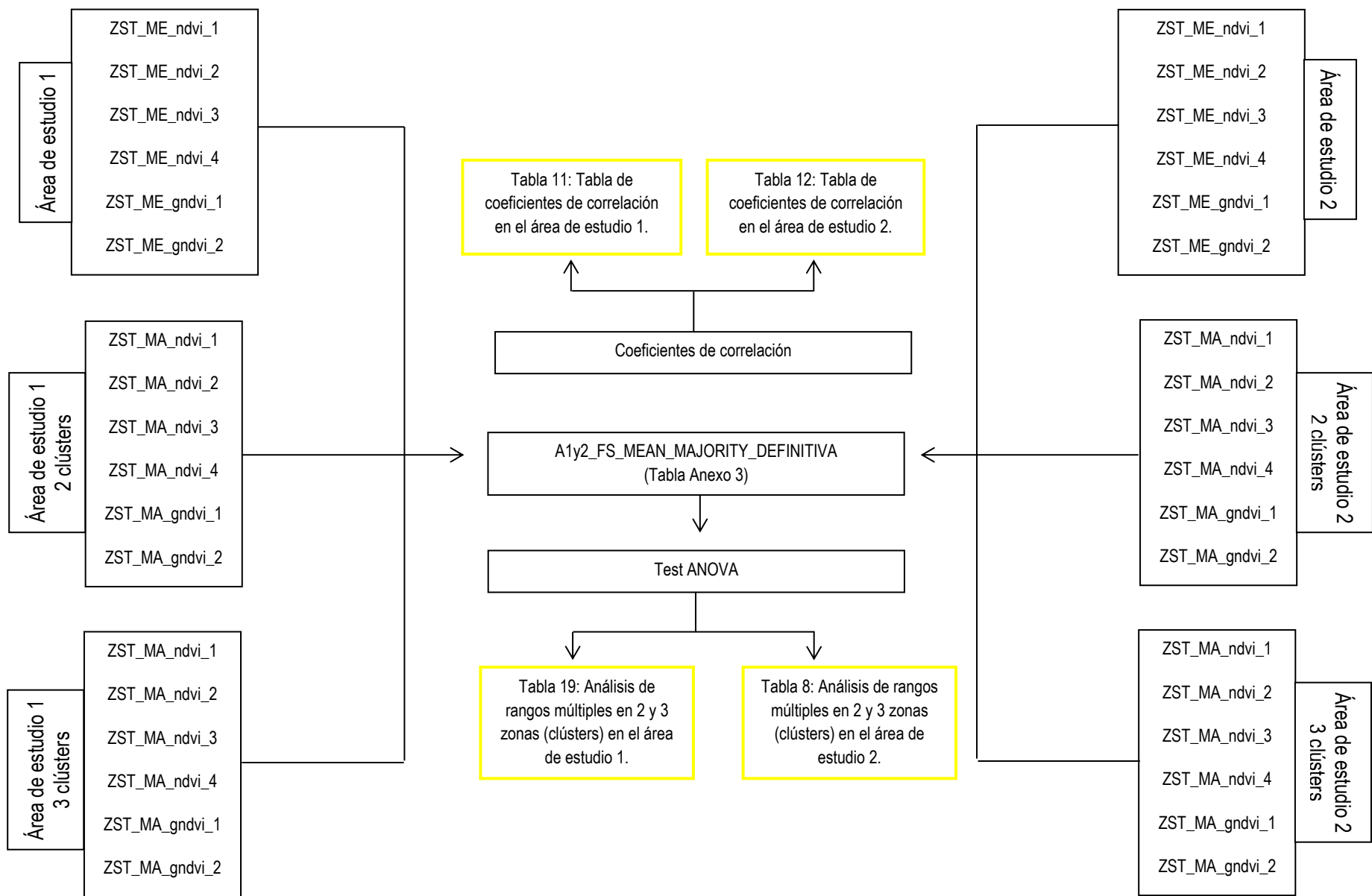












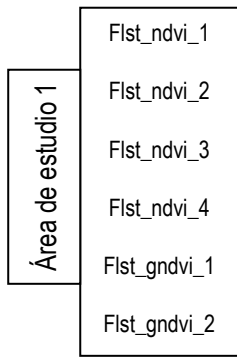


Figura 17: Índices de vegetación del área de estudio 1.

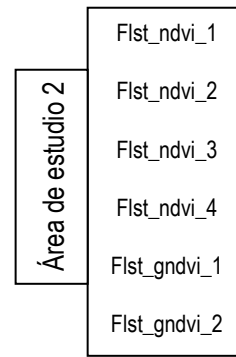


Figura 18: Índices de vegetación del área de estudio 2.

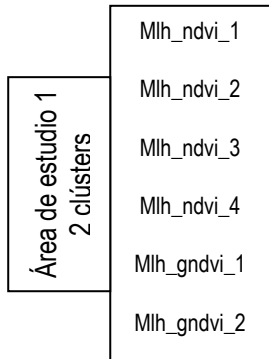


Figura 19: Área de estudio 1 sin efecto hilera. 2 clústers.

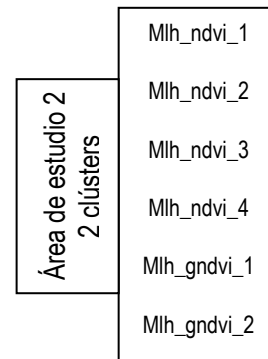


Figura 21: Área de estudio 2 sin efecto hilera. 2 clústers.

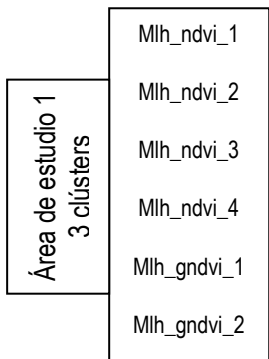


Figura 20: Área de estudio 1 sin efecto hilera. 3 clústers.

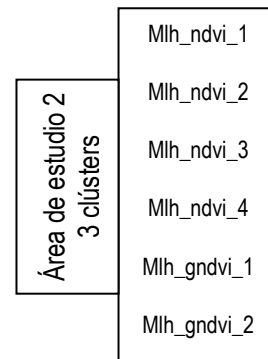


Figura 22: Área de estudio 2 sin efecto hilera. 3 clústers.

8.2. Coeficientes de calibración de la imagen de satélite WV-2

```
version = "23.11";
generationTime = 2013-02-20T13:49:53.000000Z;
productOrderId = "052922249010_01_P001";
productCatalogId = "20300100E4809B00";
imageDescriptor = "ORStandard2A";
bandId = "Multi";
panSharpenAlgorithm = "None";
numRows = 2572;
numColumns = 2571;
productLevel = "LV2A";
productType = "Standard";
numberOfLooks = 1;
radiometricLevel = "Corrected";
radiometricEnhancement = "Off";
bitsPerPixel = 16;
compressionType = "None";
BEGIN_GROUP = BAND_C
    ULLon = 0.47947281;
    ULLat = 41.49986931;
    ULHAE = 207.00;
    URLon = 0.54099940;
    URLat = 41.50120202;
    URHAE = 207.00;
    LRLon = 0.54274892;
    LRLat = 41.45492822;
    LRHAE = 207.00;
    LLLon = 0.48126599;
    LLLat = 41.45359767;
    LLHAE = 207.00;
    absCalFactor = 9.295654e-03;
    effectiveBandwidth = 4.730000e-02;
    TDILevel = 24;
```

```
END_GROUP = BAND_C
BEGIN_GROUP = BAND_B
    ULLon = 0.47947281;
    ULLat = 41.49986931;
    ULHAE = 207.00;
    URLon = 0.54099940;
    URLat = 41.50120202;
    URHAE = 207.00;
    LRLon = 0.54274892;
    LRLat = 41.45492822;
    LRHAE = 207.00;
    LLLon = 0.48126599;
    LLLat = 41.45359767;
    LLHAE = 207.00;
    absCalFactor = 1.783568e-02;
    effectiveBandwidth = 5.430000e-02;
    TDILevel = 10;
END_GROUP = BAND_B
BEGIN_GROUP = BAND_G
    ULLon = 0.47947281;
    ULLat = 41.49986931;
    ULHAE = 207.00;
    URLon = 0.54099940;
    URLat = 41.50120202;
    URHAE = 207.00;
    LRLon = 0.54274892;
    LRLat = 41.45492822;
    LRHAE = 207.00;
    LLLon = 0.48126599;
    LLLat = 41.45359767;
    LLHAE = 207.00;
    absCalFactor = 1.364197e-02;
```

```

        effectiveBandwidth = 6.300000e-02;
        TDILevel = 10;
END_GROUP = BAND_G
BEGIN_GROUP = BAND_Y
    ULLon = 0.47947281;
    ULLat = 41.49986931;
    ULHAE = 207.00;
    URLon = 0.54099940;
    URLat = 41.50120202;
    URHAE = 207.00;
    LRLon = 0.54274892;
    LRLat = 41.45492822;
    LRHAE = 207.00;
    LLLon = 0.48126599;
    LLLat = 41.45359767;
    LLHAE = 207.00;
    absCalFactor = 6.810718e-03;
    effectiveBandwidth = 3.740000e-02;
    TDILevel = 18;
END_GROUP = BAND_Y
BEGIN_GROUP = BAND_R
    ULLon = 0.47947281;
    ULLat = 41.49986931;
    ULHAE = 207.00;
    URLon = 0.54099940;
    URLat = 41.50120202;
    URHAE = 207.00;
    LRLon = 0.54274892;
    LRLat = 41.45492822;
    LRHAE = 207.00;
    LLLon = 0.48126599;
    LLLat = 41.45359767;
    LLHAE = 207.00;
    absCalFactor = 1.851735e-02;

```

```

        effectiveBandwidth = 5.740000e-02;
        TDILevel = 6;
END_GROUP = BAND_R
BEGIN_GROUP = BAND_RE
    ULLon = 0.47947281;
    ULLat = 41.49986931;
    ULHAE = 207.00;
    URLon = 0.54099940;
    URLat = 41.50120202;
    URHAE = 207.00;
    LRLon = 0.54274892;
    LRLat = 41.45492822;
    LRHAE = 207.00;
    LLLon = 0.48126599;
    LLLat = 41.45359767;
    LLHAE = 207.00;
    absCalFactor = 6.063145e-03;
    effectiveBandwidth = 3.930000e-02;
    TDILevel = 18;
END_GROUP = BAND_RE
BEGIN_GROUP = BAND_N
    ULLon = 0.47947281;
    ULLat = 41.49986931;
    ULHAE = 207.00;
    URLon = 0.54099940;
    URLat = 41.50120202;
    URHAE = 207.00;
    LRLon = 0.54274892;
    LRLat = 41.45492822;
    LRHAE = 207.00;
    LLLon = 0.48126599;
    LLLat = 41.45359767;
    LLHAE = 207.00;
    absCalFactor = 2.050828e-02;

```

```

    effectiveBandwidth = 9.890000e-02;
    TDILevel = 6;
END_GROUP = BAND_N
BEGIN_GROUP = BAND_N2
    ULLon = 0.47947281;
    ULLat = 41.49986931;
    ULHAE = 207.00;
    URLon = 0.54099940;
    URLat = 41.50120202;
    URHAE = 207.00;
    LRLon = 0.54274892;
    LRLat = 41.45492822;
    LRHAE = 207.00;
    LLLon = 0.48126599;
    LLLat = 41.45359767;
    LLHAE = 207.00;
    absCalFactor = 9.042234e-03;
    effectiveBandwidth = 9.960000e-02;
    TDILevel = 24;
END_GROUP = BAND_N2
outputFormat = "GeoTIFF";
BEGIN_GROUP = IMAGE_1
    satId = "WV02";
    mode = "FullSwath";
    scanDirection = "Reverse";
    CatId = "1030050002F91300";
    firstLineTime = 2010-05-20T11:03:11.346773Z;
    avgLineRate = 5000.01;
    exposureDuration = 0.00020000;
    minCollectedRowGSD = 1.884;
    maxCollectedRowGSD = 1.891;
    meanCollectedRowGSD = 1.888;
    minCollectedColGSD = 1.883;
    maxCollectedColGSD = 1.885;

```

```

    meanCollectedColGSD = 1.884;
    meanCollectedGSD = 1.886;
    rowUncertainty = 33.09;
    colUncertainty = 44.38;
    minSunAz = 149.0;
    maxSunAz = 149.1;
    meanSunAz = 149.1;
    minSunEl = 66.1;
    maxSunEl = 66.1;
    meanSunEl = 66.1;
    minSatAz = 35.7;
    maxSatAz = 36.5;
    meanSatAz = 36.1;
    minSatEl = 81.7;
    maxSatEl = 82.0;
    meanSatEl = 81.9;
    minInTrackViewAngle = 6.4;
    maxInTrackViewAngle = 7.0;
    meanInTrackViewAngle = 6.7;
    minCrossTrackViewAngle = 3.0;
    maxCrossTrackViewAngle = 3.1;
    meanCrossTrackViewAngle = 3.0;
    minOffNadirViewAngle = 7.3;
    maxOffNadirViewAngle = 7.3;
    meanOffNadirViewAngle = 7.3;
    PNIIRS = 3.0;
    cloudCover = 0.000;
    resamplingKernel = "CC";
    positionKnowledgeSrc = "R";
    attitudeKnowledgeSrc = "R";
    revNumber = 3212;
END_GROUP = IMAGE_1
BEGIN_GROUP = MAP_PROJECTED_PRODUCT

```


8.3. Tabla excel, A1y2_FS_MEAN_MAJORITY_DEFINITIVA

Área de estudio 1 (2 clústers)

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
1	45,5	0,3741	1	0,1674	1	0,5056	1	0,5570	1	0,2363	1	0,5056	1	0,4544	1	0,5096	2
2	51,3	0,4003	1	0,1725	1	0,5355	2	0,5799	2	0,2344	1	0,5355	2	0,4683	2	0,5171	2
3	55,0	0,4139	1	0,1830	2	0,5552	2	0,6043	2	0,2537	1	0,5552	2	0,4782	2	0,5334	2
4	54,4	0,3818	1	0,1638	1	0,5111	2	0,5620	2	0,2332	1	0,5111	2	0,4581	1	0,5132	2
5	47,0	0,3754	1	0,1761	2	0,5202	2	0,5697	2	0,2434	1	0,5202	2	0,4681	2	0,5212	2
6	49,0	0,4151	1	0,1827	2	0,5516	2	0,5984	2	0,2488	1	0,5516	2	0,4822	2	0,5338	2
7	51,9	0,3933	1	0,1817	2	0,5418	2	0,5910	2	0,2511	1	0,5418	2	0,4774	2	0,5316	2
8	48,0	0,3676	1	0,1657	1	0,4999	1	0,5519	1	0,2354	1	0,4999	1	0,4534	1	0,5090	1
9	50,0	0,3689	1	0,1647	1	0,5040	1	0,5512	1	0,2277	1	0,5040	1	0,4546	1	0,5051	1
10	46,8	0,3742	1	0,1660	1	0,5073	1	0,5588	1	0,2351	1	0,5073	1	0,4540	1	0,5093	2
11	58,5	0,3605	1	0,1622	1	0,4964	1	0,5489	1	0,2321	1	0,4964	1	0,4449	1	0,5012	1
12	59,0	0,3439	1	0,1611	1	0,4773	1	0,5308	1	0,2303	1	0,4773	1	0,4471	1	0,5029	1
13	53,2	0,3529	1	0,1663	1	0,4909	1	0,5435	1	0,2354	1	0,4909	1	0,4532	1	0,5086	1
14	50,0	0,3622	1	0,1674	1	0,4971	1	0,5477	1	0,2350	1	0,4971	1	0,4559	1	0,5097	1
15	53,5	0,3719	1	0,1592	1	0,4999	1	0,5560	1	0,2344	1	0,4999	1	0,4574	1	0,5170	2
16	45,0	0,4106	1	0,1829	2	0,5506	2	0,5971	2	0,2496	1	0,5506	2	0,4762	2	0,5284	2
17	41,2	0,3814	1	0,1664	1	0,5178	1	0,5660	1	0,2330	1	0,5178	1	0,4564	1	0,5093	1
18	48,5	0,3939	1	0,1726	1	0,5335	2	0,5833	2	0,2424	1	0,5335	2	0,4695	2	0,5243	2
19	52,4	0,4440	1	0,1846	2	0,5803	2	0,6248	2	0,2516	1	0,5803	2	0,4857	2	0,5376	2
20	60,0	0,4141	1	0,1796	2	0,5514	2	0,5984	2	0,2476	1	0,5514	2	0,4772	2	0,5301	2
22	52,0	0,3862	1	0,1784	2	0,5260	2	0,5726	2	0,2422	1	0,5260	2	0,4689	2	0,5193	2
23	52,8	0,4100	1	0,1844	2	0,5509	2	0,5969	2	0,2508	1	0,5509	2	0,4836	2	0,5349	2
24	54,6	0,3729	1	0,1731	2	0,5080	1	0,5550	1	0,2367	1	0,5080	1	0,4563	1	0,5071	1
25	54,7	0,4094	1	0,1784	2	0,5458	2	0,5900	2	0,2424	1	0,5458	2	0,4766	2	0,5262	2
26	43,5	0,3963	1	0,1725	2	0,5314	2	0,5779	2	0,2382	1	0,5314	2	0,4649	2	0,5166	2
27	45,0	0,3552	1	0,1602	1	0,4866	1	0,5367	1	0,2262	1	0,4866	1	0,4480	1	0,5010	1
28	46,8	0,3603	1	0,1695	1	0,4966	1	0,5456	1	0,2355	1	0,4966	1	0,4572	1	0,5096	1
29	43,2	0,2936	1	0,1454	1	0,4177	1	0,4740	1	0,2148	1	0,4177	1	0,4186	1	0,4756	1
30	45,5	0,3645	1	0,1754	1	0,5069	1	0,5559	1	0,2416	1	0,5069	1	0,4603	1	0,5129	2
31	43,8	0,3248	1	0,1551	1	0,4589	1	0,5104	1	0,2220	1	0,4589	1	0,4389	1	0,4925	1
32	45,3	0,3164	1	0,1549	1	0,4470	1	0,5016	1	0,2239	1	0,4470	1	0,4291	1	0,4853	1
33	56,5	0,2854	1	0,1350	1	0,4139	1	0,4689	1	0,2028	1	0,4139	1	0,4036	1	0,4599	1
34	48,5	0,3183	1	0,1540	1	0,4576	1	0,5124	1	0,2239	1	0,4576	1	0,4332	1	0,4899	1
35	51,0	0,3376	1	0,1560	1	0,4651	1	0,5175	1	0,2247	1	0,4651	1	0,4426	1	0,4976	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
36	47,5	0,3491	1	0,1646	1	0,4848	1	0,5352	1	0,2307	1	0,4848	1	0,4476	1	0,5008	1
37	49,0	0,3109	1	0,1504	1	0,4459	1	0,4987	1	0,2169	1	0,4459	1	0,4340	1	0,4879	1
38	43,0	0,3094	1	0,1430	1	0,4295	1	0,4866	1	0,2140	1	0,4295	1	0,4278	1	0,4857	1
39	48,4	0,3645	1	0,1617	1	0,4960	1	0,5479	1	0,2303	1	0,4960	1	0,4556	1	0,5103	2
40	49,0	0,4087	1	0,1789	2	0,5508	2	0,5969	2	0,2452	1	0,5508	2	0,4754	2	0,5271	2
41	43,2	0,4119	1	0,1757	2	0,5468	2	0,5934	2	0,2426	1	0,5468	2	0,4695	2	0,5220	2
42	43,3	0,3579	1	0,1624	1	0,4903	1	0,5421	1	0,2305	1	0,4903	1	0,4506	1	0,5051	2
43	39,0	0,3439	1	0,1641	1	0,4827	1	0,5348	1	0,2320	1	0,4827	1	0,4477	1	0,5023	1
44	45,7	0,3248	1	0,1534	1	0,4537	1	0,5082	1	0,2225	1	0,4537	1	0,4307	1	0,4870	1
46	53,3	0,3866	1	0,1785	2	0,5293	2	0,5809	2	0,2499	1	0,5293	2	0,4672	2	0,5236	2
47	47,0	0,4111	1	0,1775	2	0,5473	2	0,5947	2	0,2453	1	0,5473	2	0,4703	2	0,5236	2
48	45,0	0,4117	1	0,1795	2	0,5508	2	0,5983	2	0,2475	1	0,5508	2	0,4761	2	0,5292	2
49	46,0	0,3697	1	0,1636	1	0,5019	1	0,5512	1	0,2295	1	0,5019	1	0,4466	1	0,4997	1
50	57,3	0,3777	1	0,1680	1	0,5136	2	0,5648	2	0,2381	1	0,5136	2	0,4525	1	0,5085	1
51	47,5	0,4225	1	0,1823	2	0,5600	2	0,6064	2	0,2486	1	0,5600	2	0,4728	2	0,5254	2
52	60,0	0,3765	1	0,1654	1	0,5086	2	0,5607	2	0,2355	1	0,5086	2	0,4507	1	0,5069	2
53	46,0	0,4302	1	0,1867	2	0,5712	2	0,6196	2	0,2578	1	0,5712	2	0,4821	2	0,5376	2
54	46,0	0,4107	1	0,1882	2	0,5616	2	0,6060	2	0,2520	1	0,5616	2	0,4813	2	0,5313	2
55	46,2	0,3476	1	0,1659	1	0,4831	1	0,5364	1	0,2349	1	0,4831	1	0,4519	1	0,5073	2
56	32,0	0,2829	1	0,1370	1	0,4018	1	0,4586	1	0,2052	1	0,4018	1	0,3976	1	0,4550	1
57	36,0	0,3719	1	0,1669	1	0,5108	1	0,5628	1	0,2371	1	0,5108	1	0,4495	1	0,5059	1
58	46,0	0,2990	1	0,1395	1	0,4202	1	0,4704	1	0,2003	1	0,4202	1	0,4017	1	0,4530	1
59	46,0	0,3862	1	0,1746	2	0,5314	2	0,5811	2	0,2437	1	0,5314	2	0,4671	2	0,5217	2
60	47,7	0,4192	1	0,1847	2	0,5597	2	0,6071	2	0,2539	1	0,5597	2	0,4793	2	0,5332	2
61	53,3	0,3124	1	0,1532	1	0,4553	1	0,5115	1	0,2242	1	0,4553	1	0,4264	1	0,4847	1
62	37,0	0,3205	1	0,1468	1	0,4436	1	0,4983	1	0,2159	1	0,4436	1	0,4237	1	0,4803	1
63	44,5	0,3726	1	0,1646	1	0,5050	1	0,5563	1	0,2345	1	0,5050	1	0,4517	1	0,5073	1
64	36,0	0,4115	1	0,1825	2	0,5594	2	0,6079	2	0,2529	1	0,5594	2	0,4772	2	0,5322	2
65	50,9	0,3651	1	0,1676	1	0,4999	1	0,5492	1	0,2348	1	0,4999	1	0,4522	1	0,5055	1
66	50,5	0,3726	1	0,1677	1	0,5071	1	0,5565	1	0,2350	1	0,5071	1	0,4556	1	0,5090	1
67	48,8	0,3582	1	0,1647	1	0,4992	1	0,5507	1	0,2342	1	0,4992	1	0,4487	1	0,5041	1
68	46,2	0,4154	1	0,1903	2	0,5599	2	0,6029	2	0,2536	1	0,5599	2	0,4847	2	0,5334	2
69	52,5	0,2763	1	0,1402	1	0,4189	1	0,4785	1	0,2133	1	0,4189	1	0,4090	1	0,4697	1
71	52,5	0,3566	1	0,1824	2	0,5175	1	0,5654	1	0,2482	1	0,5175	1	0,4578	1	0,5103	1
72	43,4	0,3623	1	0,1708	1	0,5044	1	0,5546	1	0,2386	1	0,5044	1	0,4452	1	0,4999	1
73	51,1	0,4085	1	0,1889	2	0,5572	2	0,6042	2	0,2571	1	0,5572	2	0,4768	2	0,5301	2
74	49,0	0,3818	1	0,1742	2	0,5207	2	0,5697	2	0,2417	1	0,5207	2	0,4570	1	0,5108	2
75	49,5	0,3987	1	0,1804	2	0,5360	2	0,5822	2	0,2457	1	0,5360	2	0,4666	2	0,5181	2
76	46,2	0,3479	1	0,1586	1	0,4779	1	0,5252	1	0,2213	1	0,4779	1	0,4335	1	0,4842	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
77	48,0	0,2838	1	0,1374	1	0,4044	1	0,4591	1	0,2033	1	0,4044	1	0,4074	1	0,4622	1
78	44,5	0,3231	1	0,1551	1	0,4529	1	0,5042	1	0,2208	1	0,4529	1	0,4298	1	0,4833	1
79	47,2	0,3159	1	0,1599	1	0,4651	1	0,5157	1	0,2256	1	0,4651	1	0,4315	1	0,4849	1
80	43,0	0,3290	1	0,1619	1	0,4614	1	0,5099	1	0,2237	1	0,4614	1	0,4242	1	0,4751	1
81	43,0	0,2856	1	0,1406	1	0,4202	1	0,4733	1	0,2061	1	0,4202	1	0,4067	1	0,4612	1
82	52,6	0,3622	1	0,1556	1	0,4904	1	0,5450	1	0,2280	1	0,4904	1	0,4359	1	0,4946	1
83	45,9	0,3466	1	0,1566	1	0,4756	1	0,5248	1	0,2212	1	0,4756	1	0,4376	1	0,4897	1
84	45,0	0,3322	1	0,1483	1	0,4548	1	0,5084	1	0,2170	1	0,4548	1	0,4314	1	0,4872	1
85	51,5	0,3680	1	0,1666	1	0,5115	2	0,5598	2	0,2316	1	0,5115	2	0,4512	1	0,5035	1
86	50,6	0,3195	1	0,1503	1	0,4572	1	0,5102	1	0,2182	1	0,4572	1	0,4321	1	0,4871	1
87	37,0	0,2613	1	0,1357	1	0,3916	1	0,4495	1	0,2053	1	0,3916	1	0,3956	1	0,4540	1
88	53,1	0,3923	1	0,1729	1	0,5288	2	0,5772	2	0,2398	1	0,5288	2	0,4624	2	0,5155	2
89	51,0	0,3893	1	0,1665	1	0,5200	1	0,5697	1	0,2350	1	0,5200	1	0,4556	1	0,5102	1
90	49,5	0,3900	1	0,1747	2	0,5317	2	0,5795	2	0,2417	1	0,5317	2	0,4624	2	0,5154	2
91	60,0	0,4193	1	0,1979	2	0,5767	2	0,6206	2	0,2635	1	0,5767	2	0,4889	2	0,5395	2
92	64,3	0,4046	1	0,1935	2	0,5554	2	0,5989	2	0,2559	1	0,5554	2	0,4744	2	0,5235	2
93	64,5	0,4251	1	0,1926	2	0,5694	2	0,6160	2	0,2615	1	0,5694	2	0,4824	2	0,5360	2
95	60,1	0,4057	1	0,1897	2	0,5569	2	0,6005	2	0,2521	1	0,5569	2	0,4806	2	0,5294	2
96	47,0	0,4510	1	0,1931	2	0,5918	2	0,6357	2	0,2600	1	0,5918	2	0,4908	2	0,5425	2
97	55,7	0,3380	1	0,1597	1	0,4692	1	0,5223	1	0,2278	1	0,4692	1	0,4369	1	0,4924	1
98	52,0	0,3748	1	0,1714	1	0,5115	1	0,5637	1	0,2419	1	0,5115	1	0,4572	1	0,5135	1
99	53,0	0,4079	1	0,1807	2	0,5426	2	0,5908	2	0,2488	1	0,5426	2	0,4786	2	0,5317	2
100	52,0	0,3900	1	0,1749	2	0,5261	2	0,5776	2	0,2459	1	0,5261	2	0,4673	2	0,5234	2
101	52,0	0,3751	1	0,1748	2	0,5236	2	0,5736	2	0,2432	1	0,5236	2	0,4647	2	0,5190	2
102	52,2	0,3650	1	0,1720	1	0,5062	1	0,5562	1	0,2385	1	0,5062	1	0,4519	1	0,5056	1
103	50,0	0,3447	1	0,1640	1	0,4825	1	0,5323	1	0,2289	1	0,4825	1	0,4459	1	0,4983	1
104	47,9	0,2803	1	0,1411	1	0,4110	1	0,4664	1	0,2078	1	0,4110	1	0,4094	1	0,4650	1
105	50,0	0,3025	1	0,1533	1	0,4398	1	0,4944	1	0,2210	1	0,4398	1	0,4229	1	0,4787	1
106	52,1	0,3907	1	0,1728	2	0,5312	2	0,5808	2	0,2414	1	0,5312	2	0,4681	2	0,5223	2
107	49,9	0,3813	1	0,1726	1	0,5185	2	0,5646	1	0,2359	1	0,5185	2	0,4577	1	0,5081	1
108	45,5	0,3595	1	0,1700	1	0,4978	1	0,5461	1	0,2339	1	0,4978	1	0,4484	1	0,5000	1
109	50,5	0,3657	1	0,1709	2	0,5052	1	0,5558	1	0,2383	1	0,5052	1	0,4515	1	0,5057	1
110	42,2	0,3870	1	0,1752	2	0,5251	2	0,5701	2	0,2375	1	0,5251	2	0,4613	1	0,5108	1
111	32,0	0,4072	1	0,1841	2	0,5527	2	0,5955	2	0,2453	1	0,5527	2	0,4757	2	0,5239	2
112	49,8	0,4278	1	0,1825	2	0,5715	2	0,6181	2	0,2516	1	0,5715	2	0,4816	2	0,5352	2
113	53,3	0,4243	1	0,1803	2	0,5607	2	0,6098	2	0,2519	1	0,5607	2	0,4775	2	0,5334	2
114	54,0	0,4023	1	0,1749	2	0,5388	2	0,5878	2	0,2434	1	0,5388	2	0,4674	2	0,5216	2
115	48,5	0,3820	1	0,1698	1	0,5201	2	0,5706	2	0,2396	1	0,5201	2	0,4639	2	0,5189	2
116	53,0	0,3776	1	0,1723	1	0,5311	2	0,5804	2	0,2411	1	0,5311	2	0,4682	2	0,5223	2

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
117	54,2	0,3744	1	0,1717	2	0,5141	2	0,5661	2	0,2429	1	0,5141	2	0,4535	1	0,5103	1
119	52,2	0,3781	1	0,1771	2	0,5182	1	0,5655	1	0,2427	1	0,5182	1	0,4605	1	0,5124	1
120	50,0	0,3699	1	0,1755	1	0,5254	2	0,5737	2	0,2425	1	0,5254	2	0,4735	2	0,5257	2
121	52,5	0,3838	1	0,1767	2	0,5231	2	0,5725	2	0,2452	1	0,5231	2	0,4684	2	0,5222	2
122	47,5	0,4313	1	0,1915	2	0,5741	2	0,6210	2	0,2615	1	0,5741	2	0,4899	2	0,5436	2
123	50,8	0,4312	1	0,1845	2	0,5641	2	0,6090	2	0,2510	1	0,5641	2	0,4850	2	0,5363	2
124	40,2	0,3984	1	0,1843	2	0,5448	2	0,5904	2	0,2494	1	0,5448	2	0,4781	2	0,5288	2
125	42,0	0,3490	1	0,1791	2	0,5123	2	0,5602	2	0,2448	1	0,5123	2	0,4613	2	0,5133	2
126	51,8	0,4018	1	0,1961	2	0,5581	2	0,6026	2	0,2600	1	0,5581	2	0,4875	2	0,5371	2
127	54,2	0,3864	1	0,1788	2	0,5243	2	0,5741	2	0,2481	1	0,5243	2	0,4741	2	0,5282	2
128	39,6	0,3655	1	0,1718	2	0,5022	1	0,5506	1	0,2360	1	0,5022	1	0,4560	1	0,5075	1
129	50,0	0,3594	1	0,1654	1	0,4943	1	0,5428	1	0,2300	1	0,4943	1	0,4473	1	0,4992	1
130	49,3	0,3266	1	0,1566	1	0,4583	1	0,5081	1	0,2196	1	0,4583	1	0,4276	1	0,4793	1
131	41,4	0,3585	1	0,1678	1	0,5005	1	0,5487	1	0,2321	1	0,5005	1	0,4475	1	0,4994	1
132	50,0	0,3969	1	0,1851	2	0,5530	2	0,5993	2	0,2511	1	0,5530	2	0,4796	2	0,5312	2
133	51,3	0,3877	1	0,1752	2	0,5263	2	0,5712	2	0,2378	1	0,5263	2	0,4633	2	0,5127	1
134	56,0	0,3977	1	0,1845	2	0,5416	2	0,5845	2	0,2445	1	0,5416	2	0,4729	2	0,5202	2
135	53,0	0,3881	1	0,1827	2	0,5316	2	0,5745	2	0,2425	1	0,5316	2	0,4667	2	0,5139	2
136	46,1	0,3857	1	0,1712	1	0,5201	2	0,5682	2	0,2372	1	0,5201	2	0,4613	2	0,5137	2
137	53,0	0,3992	1	0,1848	2	0,5433	2	0,5917	2	0,2527	1	0,5433	2	0,4706	2	0,5244	2
138	52,6	0,4020	1	0,1795	2	0,5431	2	0,5880	2	0,2433	1	0,5431	2	0,4751	2	0,5249	2
139	48,5	0,4234	1	0,1851	2	0,5657	2	0,6136	2	0,2553	1	0,5657	2	0,4763	2	0,5312	2
140	51,2	0,3854	1	0,1780	2	0,5264	2	0,5752	2	0,2453	1	0,5264	2	0,4614	2	0,5149	2
141	49,5	0,3770	1	0,1701	1	0,5179	2	0,5673	2	0,2377	1	0,5179	2	0,4539	1	0,5080	1
142	43,3	0,4187	1	0,1878	2	0,5678	2	0,6158	2	0,2572	1	0,5678	2	0,4890	2	0,5429	2
143	42,2	0,4089	1	0,1816	2	0,5586	2	0,6080	2	0,2532	1	0,5586	2	0,4870	2	0,5422	2
144	48,2	0,4267	1	0,1929	2	0,5708	2	0,6144	2	0,2579	1	0,5708	2	0,4887	2	0,5389	2
145	49,5	0,3275	1	0,1573	1	0,4564	1	0,5157	1	0,2319	1	0,4564	1	0,4377	1	0,4984	1
146	44,2	0,2874	1	0,1413	1	0,4141	1	0,4673	1	0,2057	1	0,4141	1	0,4123	1	0,4658	1
147	42,8	0,3864	1	0,1749	2	0,5248	2	0,5753	2	0,2448	1	0,5248	2	0,4685	2	0,5235	2
148	40,8	0,3053	1	0,1539	1	0,4417	1	0,4962	1	0,2222	1	0,4417	1	0,4190	1	0,4753	1
149	43,0	0,3713	1	0,1672	1	0,5050	1	0,5575	1	0,2380	1	0,5050	1	0,4519	1	0,5084	1
150	41,0	0,3701	1	0,1666	1	0,5045	1	0,5524	1	0,2312	1	0,5045	1	0,4471	1	0,4990	1
151	46,5	0,3657	1	0,1699	1	0,5019	1	0,5504	1	0,2350	1	0,5019	1	0,4483	1	0,5007	1

Área de estudio 1 (3 clústers)

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
1	45,5	0,3741	1	0,1674	2	0,5056	2	0,5570	2	0,2363	2	0,5056	2	0,4544	2	0,5096	2
2	51,3	0,4003	2	0,1725	2	0,5355	3	0,5799	3	0,2344	2	0,5355	3	0,4683	3	0,5171	2
3	55,0	0,4139	2	0,1830	3	0,5552	3	0,6043	3	0,2537	3	0,5552	3	0,4782	3	0,5334	3
4	54,4	0,3818	2	0,1638	2	0,5111	2	0,5620	2	0,2332	2	0,5111	2	0,4581	2	0,5132	2
5	47,0	0,3754	2	0,1761	2	0,5202	2	0,5697	2	0,2434	2	0,5202	2	0,4681	3	0,5212	3
6	49,0	0,4151	2	0,1827	3	0,5516	3	0,5984	3	0,2488	3	0,5516	3	0,4822	3	0,5338	3
7	51,9	0,3933	2	0,1817	3	0,5418	3	0,5910	3	0,2511	3	0,5418	3	0,4774	3	0,5316	3
8	48,0	0,3676	1	0,1657	2	0,4999	2	0,5519	2	0,2354	2	0,4999	2	0,4534	2	0,5090	2
9	50,0	0,3689	1	0,1647	2	0,5040	2	0,5512	2	0,2277	1	0,5040	2	0,4546	2	0,5051	2
10	46,8	0,3742	1	0,1660	2	0,5073	2	0,5588	2	0,2351	2	0,5073	2	0,4540	2	0,5093	2
11	58,5	0,3605	1	0,1622	2	0,4964	2	0,5489	2	0,2321	2	0,4964	2	0,4449	2	0,5012	1
12	59,0	0,3439	1	0,1611	2	0,4773	2	0,5308	2	0,2303	2	0,4773	2	0,4471	2	0,5029	2
13	53,2	0,3529	1	0,1663	2	0,4909	2	0,5435	2	0,2354	2	0,4909	2	0,4532	2	0,5086	2
14	50,0	0,3622	1	0,1674	2	0,4971	2	0,5477	2	0,2350	2	0,4971	2	0,4559	2	0,5097	2
15	53,5	0,3719	1	0,1592	1	0,4999	2	0,5560	2	0,2344	2	0,4999	2	0,4574	2	0,5170	2
16	45,0	0,4106	2	0,1829	3	0,5506	3	0,5971	3	0,2496	3	0,5506	3	0,4762	3	0,5284	3
17	41,2	0,3814	2	0,1664	1	0,5178	2	0,5660	2	0,2330	1	0,5178	2	0,4564	2	0,5093	2
18	48,5	0,3939	2	0,1726	2	0,5335	2	0,5833	2	0,2424	2	0,5335	2	0,4695	2	0,5243	2
19	52,4	0,4440	2	0,1846	3	0,5803	3	0,6248	3	0,2516	3	0,5803	3	0,4857	3	0,5376	3
20	60,0	0,4141	2	0,1796	3	0,5514	3	0,5984	3	0,2476	3	0,5514	3	0,4772	3	0,5301	3
22	52,0	0,3862	2	0,1784	3	0,5260	2	0,5726	2	0,2422	2	0,5260	2	0,4689	3	0,5193	2
23	52,8	0,4100	2	0,1844	3	0,5509	3	0,5969	3	0,2508	3	0,5509	3	0,4836	3	0,5349	3
24	54,6	0,3729	2	0,1731	2	0,5080	2	0,5550	2	0,2367	2	0,5080	2	0,4563	2	0,5071	2
25	54,7	0,4094	2	0,1784	3	0,5458	3	0,5900	3	0,2424	2	0,5458	3	0,4766	3	0,5262	3
26	43,5	0,3963	2	0,1725	2	0,5314	3	0,5779	3	0,2382	2	0,5314	3	0,4649	2	0,5166	2
27	45,0	0,3552	1	0,1602	2	0,4866	2	0,5367	2	0,2262	1	0,4866	2	0,4480	2	0,5010	2
28	46,8	0,3603	1	0,1695	2	0,4966	2	0,5456	2	0,2355	2	0,4966	2	0,4572	2	0,5096	2

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
29	43,2	0,2936	1	0,1454	1	0,4177	1	0,4740	1	0,2148	1	0,4177	1	0,4186	1	0,4756	1
30	45,5	0,3645	1	0,1754	2	0,5069	2	0,5559	2	0,2416	2	0,5069	2	0,4603	2	0,5129	2
31	43,8	0,3248	1	0,1551	2	0,4589	1	0,5104	1	0,2220	2	0,4589	1	0,4389	2	0,4925	2
32	45,3	0,3164	1	0,1549	1	0,4470	1	0,5016	1	0,2239	1	0,4470	1	0,4291	1	0,4853	1
33	56,5	0,2854	1	0,1350	1	0,4139	1	0,4689	1	0,2028	1	0,4139	1	0,4036	1	0,4599	1
34	48,5	0,3183	1	0,1540	1	0,4576	1	0,5124	1	0,2239	1	0,4576	1	0,4332	1	0,4899	1
35	51,0	0,3376	1	0,1560	1	0,4651	1	0,5175	1	0,2247	1	0,4651	1	0,4426	1	0,4976	1
36	47,5	0,3491	1	0,1646	2	0,4848	2	0,5352	2	0,2307	2	0,4848	2	0,4476	2	0,5008	2
37	49,0	0,3109	1	0,1504	1	0,4459	1	0,4987	1	0,2169	1	0,4459	1	0,4340	1	0,4879	1
38	43,0	0,3094	1	0,1430	1	0,4295	1	0,4866	1	0,2140	1	0,4295	1	0,4278	1	0,4857	1
39	48,4	0,3645	1	0,1617	2	0,4960	2	0,5479	2	0,2303	2	0,4960	2	0,4556	2	0,5103	2
40	49,0	0,4087	2	0,1789	3	0,5508	3	0,5969	3	0,2452	3	0,5508	3	0,4754	3	0,5271	3
41	43,2	0,4119	2	0,1757	2	0,5468	3	0,5934	3	0,2426	2	0,5468	3	0,4695	3	0,5220	3
42	43,3	0,3579	1	0,1624	2	0,4903	2	0,5421	2	0,2305	2	0,4903	2	0,4506	2	0,5051	2
43	39,0	0,3439	1	0,1641	2	0,4827	2	0,5348	2	0,2320	2	0,4827	2	0,4477	2	0,5023	2
44	45,7	0,3248	1	0,1534	1	0,4537	1	0,5082	1	0,2225	1	0,4537	1	0,4307	1	0,4870	1
46	53,3	0,3866	2	0,1785	3	0,5293	2	0,5809	2	0,2499	3	0,5293	2	0,4672	2	0,5236	2
47	47,0	0,4111	2	0,1775	2	0,5473	3	0,5947	3	0,2453	3	0,5473	3	0,4703	2	0,5236	2
48	45,0	0,4117	2	0,1795	2	0,5508	3	0,5983	3	0,2475	2	0,5508	3	0,4761	3	0,5292	3
49	46,0	0,3697	2	0,1636	2	0,5019	2	0,5512	2	0,2295	2	0,5019	2	0,4466	2	0,4997	2
50	57,3	0,3777	2	0,1680	2	0,5136	2	0,5648	2	0,2381	2	0,5136	2	0,4525	2	0,5085	2
51	47,5	0,4225	2	0,1823	3	0,5600	3	0,6064	3	0,2486	3	0,5600	3	0,4728	3	0,5254	3
52	60,0	0,3765	2	0,1654	2	0,5086	2	0,5607	2	0,2355	2	0,5086	2	0,4507	2	0,5069	2
53	46,0	0,4302	2	0,1867	3	0,5712	3	0,6196	3	0,2578	3	0,5712	3	0,4821	3	0,5376	3
54	46,0	0,4107	2	0,1882	3	0,5616	3	0,6060	3	0,2520	3	0,5616	3	0,4813	3	0,5313	3
55	46,2	0,3476	1	0,1659	2	0,4831	2	0,5364	2	0,2349	2	0,4831	2	0,4519	2	0,5073	2
56	32,0	0,2829	1	0,1370	1	0,4018	1	0,4586	1	0,2052	1	0,4018	1	0,3976	1	0,4550	1
57	36,0	0,3719	1	0,1669	2	0,5108	2	0,5628	2	0,2371	2	0,5108	2	0,4495	2	0,5059	2
58	46,0	0,2990	1	0,1395	1	0,4202	1	0,4704	1	0,2003	1	0,4202	1	0,4017	1	0,4530	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
59	46,0	0,3862	1	0,1746	3	0,5314	3	0,5811	3	0,2437	3	0,5314	3	0,4671	3	0,5217	3
60	47,7	0,4192	2	0,1847	3	0,5597	3	0,6071	3	0,2539	3	0,5597	3	0,4793	3	0,5332	3
61	53,3	0,3124	1	0,1532	1	0,4553	1	0,5115	1	0,2242	1	0,4553	1	0,4264	1	0,4847	1
62	37,0	0,3205	1	0,1468	1	0,4436	1	0,4983	1	0,2159	1	0,4436	1	0,4237	1	0,4803	1
63	44,5	0,3726	2	0,1646	2	0,5050	2	0,5563	2	0,2345	2	0,5050	2	0,4517	2	0,5073	2
64	36,0	0,4115	2	0,1825	3	0,5594	3	0,6079	3	0,2529	3	0,5594	3	0,4772	3	0,5322	3
65	50,9	0,3651	1	0,1676	2	0,4999	2	0,5492	2	0,2348	2	0,4999	2	0,4522	2	0,5055	2
66	50,5	0,3726	1	0,1677	2	0,5071	2	0,5565	3	0,2350	2	0,5071	2	0,4556	2	0,5090	3
67	48,8	0,3582	1	0,1647	2	0,4992	2	0,5507	2	0,2342	2	0,4992	2	0,4487	2	0,5041	2
68	46,2	0,4154	2	0,1903	3	0,5599	3	0,6029	3	0,2536	3	0,5599	3	0,4847	3	0,5334	3
69	52,5	0,2763	1	0,1402	1	0,4189	1	0,4785	1	0,2133	1	0,4189	1	0,4090	1	0,4697	1
71	52,5	0,3566	1	0,1824	3	0,5175	2	0,5654	2	0,2482	3	0,5175	2	0,4578	2	0,5103	2
72	43,4	0,3623	1	0,1708	2	0,5044	2	0,5546	2	0,2386	2	0,5044	2	0,4452	2	0,4999	2
73	51,1	0,4085	2	0,1889	3	0,5572	3	0,6042	3	0,2571	3	0,5572	3	0,4768	3	0,5301	3
74	49,0	0,3818	2	0,1742	2	0,5207	2	0,5697	2	0,2417	2	0,5207	2	0,4570	2	0,5108	2
75	49,5	0,3987	2	0,1804	3	0,5360	3	0,5822	3	0,2457	3	0,5360	3	0,4666	3	0,5181	2
76	46,2	0,3479	1	0,1586	1	0,4779	1	0,5252	1	0,2213	1	0,4779	1	0,4335	1	0,4842	1
77	48,0	0,2838	1	0,1374	1	0,4044	1	0,4591	1	0,2033	1	0,4044	1	0,4074	1	0,4622	1
78	44,5	0,3231	1	0,1551	1	0,4529	1	0,5042	1	0,2208	1	0,4529	1	0,4298	1	0,4833	1
79	47,2	0,3159	1	0,1599	1	0,4651	1	0,5157	1	0,2256	1	0,4651	1	0,4315	1	0,4849	1
80	43,0	0,3290	1	0,1619	2	0,4614	1	0,5099	1	0,2237	1	0,4614	1	0,4242	1	0,4751	1
81	43,0	0,2856	1	0,1406	1	0,4202	1	0,4733	1	0,2061	1	0,4202	1	0,4067	1	0,4612	1
82	52,6	0,3622	1	0,1556	1	0,4904	2	0,5450	2	0,2280	2	0,4904	2	0,4359	1	0,4946	1
83	45,9	0,3466	1	0,1566	1	0,4756	2	0,5248	1	0,2212	1	0,4756	2	0,4376	2	0,4897	1
84	45,0	0,3322	1	0,1483	1	0,4548	1	0,5084	1	0,2170	1	0,4548	1	0,4314	1	0,4872	1
85	51,5	0,3680	1	0,1666	2	0,5115	2	0,5598	2	0,2316	2	0,5115	2	0,4512	2	0,5035	2
86	50,6	0,3195	1	0,1503	1	0,4572	1	0,5102	1	0,2182	1	0,4572	1	0,4321	1	0,4871	1
87	37,0	0,2613	1	0,1357	1	0,3916	1	0,4495	1	0,2053	1	0,3916	1	0,3956	1	0,4540	1
88	53,1	0,3923	2	0,1729	2	0,5288	2	0,5772	2	0,2398	2	0,5288	2	0,4624	2	0,5155	2

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
89	51,0	0,3893	2	0,1665	2	0,5200	2	0,5697	2	0,2350	2	0,5200	2	0,4556	2	0,5102	2
90	49,5	0,3900	2	0,1747	2	0,5317	3	0,5795	3	0,2417	3	0,5317	3	0,4624	2	0,5154	3
91	60,0	0,4193	2	0,1979	3	0,5767	3	0,6206	3	0,2635	3	0,5767	3	0,4889	3	0,5395	3
92	64,3	0,4046	2	0,1935	3	0,5554	3	0,5989	3	0,2559	3	0,5554	3	0,4744	3	0,5235	2
93	64,5	0,4251	2	0,1926	3	0,5694	3	0,6160	3	0,2615	3	0,5694	3	0,4824	3	0,5360	3
95	60,1	0,4057	2	0,1897	3	0,5569	3	0,6005	3	0,2521	3	0,5569	3	0,4806	3	0,5294	3
96	47,0	0,4510	2	0,1931	3	0,5918	3	0,6357	3	0,2600	3	0,5918	3	0,4908	3	0,5425	3
97	55,7	0,3380	1	0,1597	1	0,4692	1	0,5223	1	0,2278	1	0,4692	1	0,4369	1	0,4924	1
98	52,0	0,3748	1	0,1714	2	0,5115	2	0,5637	2	0,2419	2	0,5115	2	0,4572	2	0,5135	2
99	53,0	0,4079	2	0,1807	3	0,5426	3	0,5908	3	0,2488	3	0,5426	3	0,4786	3	0,5317	3
100	52,0	0,3900	2	0,1749	2	0,5261	2	0,5776	2	0,2459	3	0,5261	2	0,4673	3	0,5234	3
101	52,0	0,3751	2	0,1748	2	0,5236	2	0,5736	2	0,2432	2	0,5236	2	0,4647	2	0,5190	2
102	52,2	0,3650	1	0,1720	2	0,5062	2	0,5562	2	0,2385	2	0,5062	2	0,4519	2	0,5056	2
103	50,0	0,3447	1	0,1640	2	0,4825	2	0,5323	2	0,2289	2	0,4825	2	0,4459	2	0,4983	2
104	47,9	0,2803	1	0,1411	1	0,4110	1	0,4664	1	0,2078	1	0,4110	1	0,4094	1	0,4650	1
105	50,0	0,3025	1	0,1533	1	0,4398	1	0,4944	1	0,2210	1	0,4398	1	0,4229	1	0,4787	1
106	52,1	0,3907	2	0,1728	2	0,5312	3	0,5808	3	0,2414	2	0,5312	3	0,4681	3	0,5223	3
107	49,9	0,3813	2	0,1726	2	0,5185	2	0,5646	2	0,2359	2	0,5185	2	0,4577	2	0,5081	2
108	45,5	0,3595	1	0,1700	2	0,4978	2	0,5461	2	0,2339	2	0,4978	2	0,4484	2	0,5000	2
109	50,5	0,3657	1	0,1709	2	0,5052	2	0,5558	2	0,2383	2	0,5052	2	0,4515	2	0,5057	2
110	42,2	0,3870	2	0,1752	2	0,5251	2	0,5701	2	0,2375	2	0,5251	2	0,4613	2	0,5108	2
111	32,0	0,4072	2	0,1841	3	0,5527	3	0,5955	3	0,2453	3	0,5527	3	0,4757	3	0,5239	3
112	49,8	0,4278	2	0,1825	3	0,5715	3	0,6181	3	0,2516	3	0,5715	3	0,4816	3	0,5352	3
113	53,3	0,4243	2	0,1803	3	0,5607	3	0,6098	3	0,2519	3	0,5607	3	0,4775	3	0,5334	3
114	54,0	0,4023	2	0,1749	2	0,5388	3	0,5878	3	0,2434	2	0,5388	3	0,4674	3	0,5216	3
115	48,5	0,3820	2	0,1698	2	0,5201	2	0,5706	2	0,2396	2	0,5201	2	0,4639	2	0,5189	2
116	53,0	0,3776	1	0,1723	2	0,5311	2	0,5804	3	0,2411	2	0,5311	2	0,4682	3	0,5223	3
117	54,2	0,3744	2	0,1717	2	0,5141	2	0,5661	2	0,2429	2	0,5141	2	0,4535	2	0,5103	2
119	52,2	0,3781	1	0,1771	2	0,5182	2	0,5655	2	0,2427	2	0,5182	2	0,4605	2	0,5124	2

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
120	50,0	0,3699	2	0,1755	2	0,5254	2	0,5737	2	0,2425	2	0,5254	2	0,4735	3	0,5257	2
121	52,5	0,3838	2	0,1767	2	0,5231	2	0,5725	2	0,2452	3	0,5231	2	0,4684	3	0,5222	3
122	47,5	0,4313	2	0,1915	3	0,5741	3	0,6210	3	0,2615	3	0,5741	3	0,4899	3	0,5436	3
123	50,8	0,4312	2	0,1845	3	0,5641	3	0,6090	3	0,2510	3	0,5641	3	0,4850	3	0,5363	3
124	40,2	0,3984	2	0,1843	3	0,5448	3	0,5904	3	0,2494	3	0,5448	3	0,4781	3	0,5288	3
125	42,0	0,3490	1	0,1791	3	0,5123	2	0,5602	2	0,2448	3	0,5123	2	0,4613	3	0,5133	3
126	51,8	0,4018	2	0,1961	3	0,5581	3	0,6026	3	0,2600	3	0,5581	3	0,4875	3	0,5371	3
127	54,2	0,3864	2	0,1788	3	0,5243	2	0,5741	2	0,2481	3	0,5243	2	0,4741	3	0,5282	3
128	39,6	0,3655	1	0,1718	2	0,5022	2	0,5506	2	0,2360	2	0,5022	2	0,4560	2	0,5075	2
129	50,0	0,3594	1	0,1654	2	0,4943	2	0,5428	2	0,2300	2	0,4943	2	0,4473	2	0,4992	2
130	49,3	0,3266	1	0,1566	2	0,4583	1	0,5081	1	0,2196	1	0,4583	1	0,4276	1	0,4793	1
131	41,4	0,3585	1	0,1678	2	0,5005	2	0,5487	2	0,2321	2	0,5005	2	0,4475	2	0,4994	2
132	50,0	0,3969	2	0,1851	3	0,5530	3	0,5993	3	0,2511	3	0,5530	3	0,4796	3	0,5312	3
133	51,3	0,3877	2	0,1752	2	0,5263	2	0,5712	2	0,2378	2	0,5263	2	0,4633	2	0,5127	2
134	56,0	0,3977	2	0,1845	3	0,5416	3	0,5845	2	0,2445	2	0,5416	3	0,4729	3	0,5202	2
135	53,0	0,3881	2	0,1827	3	0,5316	3	0,5745	2	0,2425	2	0,5316	3	0,4667	3	0,5139	2
136	46,1	0,3857	2	0,1712	2	0,5201	2	0,5682	2	0,2372	2	0,5201	2	0,4613	2	0,5137	2
137	53,0	0,3992	2	0,1848	3	0,5433	3	0,5917	3	0,2527	3	0,5433	3	0,4706	3	0,5244	3
138	52,6	0,4020	2	0,1795	3	0,5431	3	0,5880	3	0,2433	2	0,5431	3	0,4751	3	0,5249	3
139	48,5	0,4234	2	0,1851	3	0,5657	3	0,6136	3	0,2553	3	0,5657	3	0,4763	3	0,5312	3
140	51,2	0,3854	2	0,1780	3	0,5264	2	0,5752	2	0,2453	3	0,5264	2	0,4614	2	0,5149	2
141	49,5	0,3770	2	0,1701	2	0,5179	2	0,5673	2	0,2377	1	0,5179	2	0,4539	1	0,5080	1
142	43,3	0,4187	2	0,1878	3	0,5678	3	0,6158	3	0,2572	3	0,5678	3	0,4890	3	0,5429	3
143	42,2	0,4089	2	0,1816	3	0,5586	3	0,6080	3	0,2532	3	0,5586	3	0,4870	3	0,5422	3
144	48,2	0,4267	2	0,1929	3	0,5708	3	0,6144	3	0,2579	3	0,5708	3	0,4887	3	0,5389	3
145	49,5	0,3275	1	0,1573	1	0,4564	1	0,5157	1	0,2319	2	0,4564	1	0,4377	2	0,4984	2
146	44,2	0,2874	1	0,1413	1	0,4141	1	0,4673	1	0,2057	1	0,4141	1	0,4123	1	0,4658	1
147	42,8	0,3864	2	0,1749	3	0,5248	3	0,5753	3	0,2448	3	0,5248	3	0,4685	3	0,5235	3
148	40,8	0,3053	1	0,1539	1	0,4417	1	0,4962	1	0,2222	1	0,4417	1	0,4190	1	0,4753	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
149	43,0	0,3713	1	0,1672	2	0,5050	2	0,5575	2	0,2380	2	0,5050	2	0,4519	2	0,5084	3
150	41,0	0,3701	1	0,1666	2	0,5045	2	0,5524	2	0,2312	2	0,5045	2	0,4471	2	0,4990	2
151	46,5	0,3657	1	0,1699	2	0,5019	2	0,5504	2	0,2350	2	0,5019	2	0,4483	2	0,5007	2

Área de estudio 2 (2 clústers)

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
0	42,0	0,3445	1	0,1689	1	0,4999	1	0,5544	1	0,2410	1	0,4999	1	0,4315	1	0,4984	1
1	43,1	0,4059	1	0,1910	2	0,5650	1	0,6122	2	0,2604	2	0,5650	1	0,4586	1	0,5210	1
2	45,8	0,4412	1	0,1921	2	0,5848	1	0,6300	2	0,2605	2	0,5848	1	0,4779	1	0,5332	1
3	44,4	0,4173	1	0,1969	2	0,5859	1	0,6299	2	0,2645	2	0,5859	1	0,4646	1	0,5331	1
4	51,2	0,3752	1	0,1775	1	0,5228	1	0,5679	1	0,2414	1	0,5228	1	0,4435	1	0,4991	1
5	48,6	0,4123	1	0,1851	2	0,5608	1	0,6081	2	0,2541	2	0,5608	1	0,4601	1	0,5195	1
6	40,2	0,4273	1	0,1923	2	0,5691	1	0,6130	2	0,2570	2	0,5691	1	0,4752	1	0,5204	1
7	40,0	0,3815	1	0,1940	2	0,5373	1	0,5783	1	0,2516	2	0,5373	1	0,4615	1	0,5098	1
8	46,2	0,4360	1	0,1849	1	0,5655	1	0,6148	2	0,2571	2	0,5655	1	0,4739	1	0,5260	1
9	42,2	0,4187	1	0,1880	2	0,5554	1	0,6043	2	0,2583	2	0,5554	1	0,4769	1	0,5306	1
10	36,5	0,4303	1	0,1932	2	0,5799	1	0,6246	2	0,2596	2	0,5799	1	0,4820	1	0,5366	1
11	43,0	0,4292	1	0,1910	2	0,5751	1	0,6228	2	0,2621	2	0,5751	1	0,4749	1	0,5303	1
12	39,2	0,3490	1	0,1718	1	0,4736	1	0,5214	1	0,2334	1	0,4736	1	0,4377	1	0,4784	1
13	42,3	0,3627	1	0,1967	2	0,5211	1	0,5641	1	0,2564	2	0,5211	1	0,4661	1	0,5147	1
14	40,0	0,3843	1	0,1933	2	0,5261	1	0,5690	1	0,2514	1	0,5261	1	0,4687	1	0,5105	1
15	43,0	0,3646	1	0,1880	2	0,5162	1	0,5628	1	0,2513	2	0,5162	1	0,4492	1	0,5010	1
16	41,6	0,3872	1	0,1825	2	0,5262	1	0,5753	1	0,2497	2	0,5262	1	0,4540	1	0,5059	1
17	37,8	0,3730	1	0,1753	1	0,5021	1	0,5454	1	0,2336	1	0,5021	1	0,4431	1	0,4833	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
18	48,8	0,4154	1	0,1929	2	0,5616	1	0,6037	2	0,2542	2	0,5616	1	0,4654	1	0,5138	1
19	41,5	0,3867	1	0,1834	2	0,5331	1	0,5766	1	0,2451	1	0,5331	1	0,4506	1	0,5016	1
20	36,0	0,4097	1	0,1859	2	0,5556	1	0,6037	2	0,2537	2	0,5556	1	0,4527	1	0,5101	1
21	47,0	0,3939	1	0,1850	2	0,5414	1	0,5939	2	0,2578	2	0,5414	1	0,4491	1	0,5108	1
22	43,4	0,3778	1	0,1757	1	0,5157	1	0,5700	1	0,2482	1	0,5157	1	0,4467	1	0,5038	1
23	37,8	0,3882	1	0,1809	1	0,5216	1	0,5706	1	0,2473	1	0,5216	1	0,4547	1	0,5042	1
24	37,8	0,4050	1	0,1820	2	0,5467	1	0,5928	2	0,2476	2	0,5467	1	0,4581	1	0,5086	1
25	45,0	0,2923	1	0,1512	1	0,4376	1	0,4902	1	0,2148	1	0,4376	1	0,3922	1	0,4592	1
26	53,9	0,3042	1	0,1707	1	0,4683	1	0,5200	1	0,2365	1	0,4683	1	0,4251	1	0,4964	1
27	49,2	0,4002	1	0,1913	2	0,5482	1	0,5920	2	0,2531	2	0,5482	1	0,4756	1	0,5244	1
28	49,0	0,3533	1	0,1829	2	0,5011	1	0,5470	1	0,2440	1	0,5011	1	0,4467	1	0,4939	1
29	50,1	0,3503	1	0,2041	2	0,5265	1	0,5733	1	0,2677	2	0,5265	1	0,4506	1	0,5117	1
30	51,0	0,3831	1	0,1969	2	0,5392	1	0,5822	1	0,2563	2	0,5392	1	0,4643	1	0,5114	1
31	53,5	0,3844	1	0,1787	1	0,5092	1	0,5585	1	0,2451	1	0,5092	1	0,4512	1	0,4967	1
32	44,0	0,3749	1	0,1860	2	0,5216	1	0,5676	1	0,2486	2	0,5216	1	0,4602	1	0,5104	1
33	42,5	0,3366	1	0,1821	2	0,4872	1	0,5307	1	0,2385	1	0,4872	1	0,4484	1	0,4885	1
34	43,4	0,3611	1	0,1869	2	0,5162	1	0,5607	1	0,2471	1	0,5162	1	0,4588	1	0,5117	1
35	44,2	0,3988	1	0,1949	2	0,5447	1	0,5914	2	0,2598	2	0,5447	1	0,4809	1	0,5317	1
36	50,6	0,3889	1	0,2046	2	0,5596	1	0,6057	2	0,2716	2	0,5596	1	0,4747	1	0,5315	1
37	53,3	0,3814	1	0,1897	2	0,5390	1	0,5815	1	0,2509	2	0,5390	1	0,4629	1	0,5169	1
38	49,5	0,3627	1	0,1872	2	0,5163	1	0,5606	1	0,2470	1	0,5163	1	0,4487	1	0,4999	1
39	47,6	0,3387	1	0,1754	1	0,4829	1	0,5313	1	0,2370	1	0,4829	1	0,4285	1	0,4792	1
40	43,5	0,3320	1	0,1612	1	0,4415	1	0,4904	1	0,2223	1	0,4415	1	0,4312	1	0,4702	1
41	36,5	0,3056	1	0,1620	1	0,4402	1	0,4892	1	0,2227	1	0,4402	1	0,4138	1	0,4649	1
42	49,8	0,3820	1	0,1893	2	0,5265	1	0,5776	1	0,2597	2	0,5265	1	0,4817	1	0,5344	1
43	51,9	0,3422	1	0,1777	1	0,4796	1	0,5291	1	0,2412	1	0,4796	1	0,4586	1	0,5051	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
44	55,4	0,3879	1	0,1908	2	0,5504	1	0,5956	2	0,2557	2	0,5504	1	0,4701	1	0,5294	1
45	48,5	0,4059	1	0,1931	2	0,5403	1	0,5870	2	0,2583	2	0,5403	1	0,4789	1	0,5185	1
46	43,5	0,3699	1	0,1877	2	0,5347	1	0,5848	2	0,2581	2	0,5347	1	0,4646	1	0,5280	1
47	41,9	0,3725	1	0,1792	1	0,5104	1	0,5577	1	0,2438	1	0,5104	1	0,4573	1	0,5064	1
48	52,3	0,4230	1	0,2007	2	0,5760	1	0,6185	2	0,2637	2	0,5760	1	0,4832	1	0,5338	1
49	52,0	0,4469	1	0,1957	2	0,5892	1	0,6339	2	0,2632	2	0,5892	1	0,4909	1	0,5435	1
50	42,0	0,3583	1	0,1794	1	0,5195	1	0,5669	1	0,2459	1	0,5195	1	0,4481	1	0,5068	1
51	44,0	0,3889	1	0,1897	2	0,5483	1	0,5926	2	0,2522	2	0,5483	1	0,4596	1	0,5164	1
52	44,8	0,3481	1	0,1770	1	0,4893	1	0,5346	1	0,2355	1	0,4893	1	0,4341	1	0,4807	1
53	41,6	0,4281	1	0,1986	2	0,5744	1	0,6184	2	0,2645	2	0,5744	1	0,4801	1	0,5305	1
54	43,7	0,4005	1	0,1909	2	0,5515	1	0,5987	2	0,2585	2	0,5515	1	0,4683	1	0,5242	1
55	51,5	0,3998	1	0,1821	1	0,5300	1	0,5767	2	0,2466	1	0,5300	1	0,4643	1	0,5073	1
56	46,5	0,3567	1	0,2016	2	0,5249	1	0,5656	1	0,2568	2	0,5249	1	0,4639	1	0,5142	1
57	44,5	0,3478	1	0,1761	1	0,4821	1	0,5283	1	0,2367	1	0,4821	1	0,4279	1	0,4754	1
59	42,0	0,3397	1	0,1592	1	0,4728	1	0,5175	1	0,2166	1	0,4728	1	0,4147	1	0,4625	1
60	49,0	0,3542	1	0,1720	1	0,5016	1	0,5468	1	0,2325	1	0,5016	1	0,4277	1	0,4832	1
61	40,0	0,3045	1	0,1538	1	0,4296	1	0,4724	1	0,2063	1	0,4296	1	0,3994	1	0,4395	1
62	50,0	0,4212	1	0,1966	2	0,5760	1	0,6186	2	0,2594	2	0,5760	1	0,4723	1	0,5249	1
63	45,4	0,3633	1	0,1767	1	0,5026	1	0,5445	1	0,2322	1	0,5026	1	0,4393	1	0,4808	1
64	44,0	0,3215	1	0,1733	1	0,4774	1	0,5263	1	0,2362	1	0,4774	1	0,4236	1	0,4814	1
65	41,3	0,2074	1	0,1224	1	0,3578	1	0,4059	1	0,1769	1	0,3578	1	0,3321	1	0,4160	1
67	48,2	0,4018	1	0,1833	2	0,5273	1	0,5814	2	0,2570	2	0,5273	1	0,4539	1	0,5063	1
68	50,0	0,3631	1	0,1694	1	0,4989	1	0,5464	1	0,2332	1	0,4989	1	0,4283	1	0,4814	1
69	44,4	0,4126	1	0,1935	2	0,5631	1	0,6097	2	0,2605	2	0,5631	1	0,4662	1	0,5211	1
70	43,5	0,3947	1	0,1867	2	0,5469	1	0,5933	2	0,2524	2	0,5469	1	0,4498	1	0,5057	1
71	49,5	0,4167	1	0,1835	2	0,5580	1	0,6037	2	0,2502	2	0,5580	1	0,4530	1	0,5070	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
72	50,6	0,4239	1	0,1970	2	0,5896	1	0,6315	2	0,2607	2	0,5896	1	0,4728	1	0,5271	1
73	48,2	0,3875	1	0,1789	1	0,5356	1	0,5833	2	0,2447	1	0,5356	1	0,4496	1	0,5048	1
74	41,9	0,4029	1	0,1877	2	0,5376	1	0,5824	2	0,2505	2	0,5376	1	0,4640	1	0,5081	1
75	47,5	0,4420	1	0,1988	2	0,5934	1	0,6362	2	0,2647	2	0,5934	1	0,4752	1	0,5304	1
76	43,9	0,3895	1	0,1848	2	0,5527	1	0,6014	2	0,2538	2	0,5527	1	0,4462	1	0,5143	1
77	43,9	0,4209	1	0,1880	2	0,5654	1	0,6124	2	0,2560	2	0,5654	1	0,4709	1	0,5246	1
78	43,8	0,3830	1	0,1811	1	0,5248	1	0,5698	1	0,2438	1	0,5248	1	0,4493	1	0,4989	1
79	39,5	0,3551	1	0,1671	1	0,4934	1	0,5434	1	0,2334	1	0,4934	1	0,4320	1	0,4885	1
80	48,2	0,3852	1	0,1837	2	0,5291	1	0,5782	2	0,2508	2	0,5291	1	0,4521	1	0,5075	1
81	53,7	0,4256	1	0,1952	2	0,5677	1	0,6125	2	0,2620	2	0,5677	1	0,4736	1	0,5256	1
82	47,0	0,4508	1	0,1940	2	0,5764	1	0,6228	2	0,2631	2	0,5764	1	0,4889	1	0,5338	1
83	44,5	0,4396	1	0,1960	2	0,5730	1	0,6207	2	0,2663	2	0,5730	1	0,4779	1	0,5286	1
84	43,1	0,4114	1	0,1808	1	0,5415	1	0,5926	2	0,2535	2	0,5415	1	0,4624	1	0,5142	1
85	49,0	0,4590	1	0,1958	2	0,5941	1	0,6434	2	0,2727	2	0,5941	1	0,4828	1	0,5380	1
86	43,4	0,4712	1	0,2096	2	0,6223	1	0,6682	2	0,2836	2	0,6223	1	0,4940	1	0,5535	1
87	43,1	0,4223	1	0,1785	1	0,5568	1	0,6042	2	0,2469	1	0,5568	1	0,4639	1	0,5181	1
88	41,0	0,4136	1	0,1852	2	0,5649	1	0,6121	2	0,2548	2	0,5649	1	0,4607	1	0,5208	1
89	39,1	0,4357	1	0,1948	2	0,5845	1	0,6300	2	0,2642	2	0,5845	1	0,4712	1	0,5290	1
90	47,7	0,4152	1	0,1778	1	0,5475	1	0,5926	2	0,2421	1	0,5475	1	0,4498	1	0,5008	1
91	47,8	0,4315	1	0,1866	2	0,5730	1	0,6194	2	0,2553	2	0,5730	1	0,4649	1	0,5213	1
92	42,3	0,4534	1	0,2015	2	0,6062	1	0,6528	2	0,2750	2	0,6062	1	0,4865	1	0,5470	1
93	50,0	0,4763	1	0,2075	2	0,6206	1	0,6637	2	0,2767	2	0,6206	1	0,4964	1	0,5482	1
94	41,8	0,4312	1	0,1833	1	0,5683	1	0,6153	2	0,2524	2	0,5683	1	0,4606	1	0,5143	1
95	45,0	0,4123	1	0,1815	1	0,5492	1	0,5975	2	0,2503	2	0,5492	1	0,4573	1	0,5098	1
96	39,0	0,3572	1	0,1678	1	0,4868	1	0,5410	1	0,2393	1	0,4868	1	0,4305	1	0,4811	1
97	38,3	0,3952	1	0,1810	1	0,5314	1	0,5807	2	0,2492	2	0,5314	1	0,4558	1	0,5084	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
98	41,2	0,4101	1	0,1931	2	0,5683	1	0,6154	2	0,2626	2	0,5683	1	0,4673	1	0,5287	1
99	40,0	0,4149	1	0,1839	2	0,5547	1	0,6030	2	0,2519	2	0,5547	1	0,4598	1	0,5144	1
100	48,5	0,3297	1	0,1800	1	0,5207	1	0,5704	1	0,2482	2	0,5207	1	0,4162	1	0,5034	1

Área de estudio 2 (3 clústers)

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
0	42,0	0,3445	1	0,1689	1	0,4999	1	0,5544	1	0,2410	1	0,4999	1	0,4984	1	0,4984	1
1	43,1	0,4059	2	0,1910	3	0,5650	2	0,6122	2	0,2604	3	0,5650	2	0,5210	2	0,5210	2
2	45,8	0,4412	2	0,1921	3	0,5848	2	0,6300	2	0,2605	3	0,5848	2	0,5332	2	0,5332	2
3	44,4	0,4173	2	0,1969	3	0,5859	2	0,6299	2	0,2645	3	0,5859	2	0,5331	2	0,5331	2
4	51,2	0,3752	1	0,1775	2	0,5228	1	0,5679	1	0,2414	1	0,5228	1	0,4991	1	0,4991	1
5	48,6	0,4123	2	0,1851	2	0,5608	2	0,6081	2	0,2541	2	0,5608	2	0,5195	2	0,5195	2
6	40,2	0,4273	2	0,1923	2	0,5691	2	0,6130	2	0,2570	2	0,5691	2	0,5204	2	0,5204	2
7	40,0	0,3815	1	0,1940	3	0,5373	1	0,5783	1	0,2516	2	0,5373	1	0,5098	1	0,5098	1
8	46,2	0,4360	2	0,1849	2	0,5655	2	0,6148	2	0,2571	2	0,5655	2	0,5260	2	0,5260	2
9	42,2	0,4187	2	0,1880	2	0,5554	2	0,6043	2	0,2583	3	0,5554	2	0,5306	2	0,5306	2
10	36,5	0,4303	2	0,1932	3	0,5799	2	0,6246	2	0,2596	3	0,5799	2	0,5366	2	0,5366	2
11	43,0	0,4292	2	0,1910	3	0,5751	2	0,6228	2	0,2621	3	0,5751	2	0,5303	2	0,5303	2
12	39,2	0,3490	1	0,1718	1	0,4736	1	0,5214	1	0,2334	1	0,4736	1	0,4784	1	0,4784	1
13	42,3	0,3627	1	0,1967	3	0,5211	1	0,5641	1	0,2564	2	0,5211	1	0,5147	1	0,5147	1
14	40,0	0,3843	1	0,1933	3	0,5261	1	0,5690	1	0,2514	2	0,5261	1	0,5105	1	0,5105	1
15	43,0	0,3646	1	0,1880	3	0,5162	1	0,5628	1	0,2513	2	0,5162	1	0,5010	1	0,5010	1
16	41,6	0,3872	2	0,1825	2	0,5262	1	0,5753	1	0,2497	2	0,5262	1	0,5059	1	0,5059	1
17	37,8	0,3730	1	0,1753	2	0,5021	1	0,5454	1	0,2336	1	0,5021	1	0,4833	1	0,4833	1
18	48,8	0,4154	2	0,1929	2	0,5616	2	0,6037	2	0,2542	2	0,5616	2	0,5138	1	0,5138	1
19	41,5	0,3867	2	0,1834	2	0,5331	1	0,5766	1	0,2451	2	0,5331	1	0,5016	1	0,5016	1
20	36,0	0,4097	2	0,1859	3	0,5556	2	0,6037	2	0,2537	2	0,5556	2	0,5101	1	0,5101	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
21	47,0	0,3939	1	0,1850	2	0,5414	1	0,5939	1	0,2578	3	0,5414	1	0,5108	1	0,5108	1
22	43,4	0,3778	1	0,1757	1	0,5157	1	0,5700	1	0,2482	2	0,5157	1	0,5038	1	0,5038	1
23	37,8	0,3882	1	0,1809	2	0,5216	1	0,5706	1	0,2473	2	0,5216	1	0,5042	1	0,5042	1
24	37,8	0,4050	2	0,1820	2	0,5467	1	0,5928	1	0,2476	2	0,5467	1	0,5086	1	0,5086	1
25	45,0	0,2923	1	0,1512	1	0,4376	1	0,4902	1	0,2148	1	0,4376	1	0,4592	1	0,4592	1
26	53,9	0,3042	1	0,1707	1	0,4683	1	0,5200	1	0,2365	1	0,4683	1	0,4964	1	0,4964	1
27	49,2	0,4002	2	0,1913	3	0,5482	2	0,5920	2	0,2531	2	0,5482	2	0,5244	2	0,5244	2
28	49,0	0,3533	1	0,1829	2	0,5011	1	0,5470	1	0,2440	1	0,5011	1	0,4939	1	0,4939	1
29	50,1	0,3503	1	0,2041	3	0,5265	1	0,5733	1	0,2677	3	0,5265	1	0,5117	1	0,5117	1
30	51,0	0,3831	1	0,1969	3	0,5392	1	0,5822	1	0,2563	2	0,5392	1	0,5114	1	0,5114	1
31	53,5	0,3844	1	0,1787	2	0,5092	1	0,5585	1	0,2451	2	0,5092	1	0,4967	1	0,4967	1
32	44,0	0,3749	1	0,1860	2	0,5216	1	0,5676	1	0,2486	2	0,5216	1	0,5104	1	0,5104	1
33	42,5	0,3366	1	0,1821	1	0,4872	1	0,5307	1	0,2385	1	0,4872	1	0,4885	1	0,4885	1
34	43,4	0,3611	1	0,1869	2	0,5162	1	0,5607	1	0,2471	2	0,5162	1	0,5117	1	0,5117	1
35	44,2	0,3988	2	0,1949	3	0,5447	2	0,5914	2	0,2598	3	0,5447	2	0,5317	2	0,5317	2
36	50,6	0,3889	2	0,2046	3	0,5596	2	0,6057	2	0,2716	3	0,5596	2	0,5315	2	0,5315	2
37	53,3	0,3814	1	0,1897	3	0,5390	1	0,5815	1	0,2509	2	0,5390	1	0,5169	2	0,5169	2
38	49,5	0,3627	1	0,1872	2	0,5163	1	0,5606	1	0,2470	1	0,5163	1	0,4999	1	0,4999	1
39	47,6	0,3387	1	0,1754	1	0,4829	1	0,5313	1	0,2370	1	0,4829	1	0,4792	1	0,4792	1
40	43,5	0,3320	1	0,1612	1	0,4415	1	0,4904	1	0,2223	1	0,4415	1	0,4702	1	0,4702	1
41	36,5	0,3056	1	0,1620	1	0,4402	1	0,4892	1	0,2227	1	0,4402	1	0,4649	1	0,4649	1
42	49,8	0,3820	1	0,1893	2	0,5265	1	0,5776	1	0,2597	3	0,5265	1	0,5344	2	0,5344	2
43	51,9	0,3422	1	0,1777	2	0,4796	1	0,5291	1	0,2412	1	0,4796	1	0,5051	1	0,5051	1
44	55,4	0,3879	2	0,1908	3	0,5504	2	0,5956	2	0,2557	3	0,5504	2	0,5294	2	0,5294	2
45	48,5	0,4059	1	0,1931	3	0,5403	1	0,5870	1	0,2583	3	0,5403	1	0,5185	2	0,5185	2
46	43,5	0,3699	1	0,1877	2	0,5347	1	0,5848	1	0,2581	2	0,5347	1	0,5280	2	0,5280	2
47	41,9	0,3725	1	0,1792	2	0,5104	1	0,5577	1	0,2438	2	0,5104	1	0,5064	1	0,5064	1
48	52,3	0,4230	2	0,2007	3	0,5760	2	0,6185	2	0,2637	3	0,5760	2	0,5338	2	0,5338	2
49	52,0	0,4469	2	0,1957	3	0,5892	2	0,6339	2	0,2632	3	0,5892	2	0,5435	2	0,5435	2

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
50	42,0	0,3583	1	0,1794	2	0,5195	1	0,5669	1	0,2459	2	0,5195	1	0,5068	1	0,5068	1
51	44,0	0,3889	2	0,1897	3	0,5483	2	0,5926	1	0,2522	2	0,5483	2	0,5164	2	0,5164	2
52	44,8	0,3481	1	0,1770	2	0,4893	1	0,5346	1	0,2355	1	0,4893	1	0,4807	1	0,4807	1
53	41,6	0,4281	2	0,1986	3	0,5744	2	0,6184	2	0,2645	3	0,5744	2	0,5305	2	0,5305	2
54	43,7	0,4005	2	0,1909	3	0,5515	1	0,5987	1	0,2585	2	0,5515	1	0,5242	2	0,5242	2
55	51,5	0,3998	2	0,1821	2	0,5300	1	0,5767	1	0,2466	2	0,5300	1	0,5073	1	0,5073	1
56	46,5	0,3567	1	0,2016	3	0,5249	1	0,5656	1	0,2568	3	0,5249	1	0,5142	2	0,5142	2
57	44,5	0,3478	1	0,1761	2	0,4821	1	0,5283	1	0,2367	1	0,4821	1	0,4754	1	0,4754	1
59	42,0	0,3397	1	0,1592	1	0,4728	1	0,5175	1	0,2166	1	0,4728	1	0,4625	1	0,4625	1
60	49,0	0,3542	1	0,1720	1	0,5016	1	0,5468	1	0,2325	1	0,5016	1	0,4832	1	0,4832	1
61	40,0	0,3045	1	0,1538	1	0,4296	1	0,4724	1	0,2063	1	0,4296	1	0,4395	1	0,4395	1
62	50,0	0,4212	2	0,1966	3	0,5760	2	0,6186	2	0,2594	3	0,5760	2	0,5249	2	0,5249	2
63	45,4	0,3633	1	0,1767	2	0,5026	1	0,5445	1	0,2322	1	0,5026	1	0,4808	1	0,4808	1
64	44,0	0,3215	1	0,1733	1	0,4774	1	0,5263	1	0,2362	1	0,4774	1	0,4814	1	0,4814	1
65	41,3	0,2074	1	0,1224	1	0,3578	1	0,4059	1	0,1769	1	0,3578	1	0,4160	1	0,4160	1
67	48,2	0,4018	1	0,1833	2	0,5273	1	0,5814	1	0,2570	3	0,5273	1	0,5063	1	0,5063	1
68	50,0	0,3631	1	0,1694	1	0,4989	1	0,5464	1	0,2332	1	0,4989	1	0,4814	1	0,4814	1
69	44,4	0,4126	2	0,1935	3	0,5631	2	0,6097	2	0,2605	3	0,5631	2	0,5211	2	0,5211	2
70	43,5	0,3947	2	0,1867	2	0,5469	2	0,5933	2	0,2524	2	0,5469	2	0,5057	1	0,5057	1
71	49,5	0,4167	2	0,1835	2	0,5580	2	0,6037	2	0,2502	2	0,5580	2	0,5070	1	0,5070	1
72	50,6	0,4239	2	0,1970	3	0,5896	2	0,6315	2	0,2607	3	0,5896	2	0,5271	2	0,5271	2
73	48,2	0,3875	1	0,1789	2	0,5356	1	0,5833	1	0,2447	2	0,5356	1	0,5048	1	0,5048	1
74	41,9	0,4029	2	0,1877	3	0,5376	2	0,5824	1	0,2505	2	0,5376	2	0,5081	1	0,5081	1
75	47,5	0,4420	2	0,1988	3	0,5934	2	0,6362	2	0,2647	3	0,5934	2	0,5304	2	0,5304	2
76	43,9	0,3895	2	0,1848	2	0,5527	2	0,6014	2	0,2538	2	0,5527	2	0,5143	1	0,5143	1
77	43,9	0,4209	2	0,1880	2	0,5654	2	0,6124	2	0,2560	2	0,5654	2	0,5246	2	0,5246	2
78	43,8	0,3830	2	0,1811	2	0,5248	1	0,5698	1	0,2438	2	0,5248	1	0,4989	1	0,4989	1
79	39,5	0,3551	1	0,1671	1	0,4934	1	0,5434	1	0,2334	1	0,4934	1	0,4885	1	0,4885	1
80	48,2	0,3852	2	0,1837	2	0,5291	1	0,5782	1	0,2508	2	0,5291	1	0,5075	1	0,5075	1

ID	Diámetro	Mean FS NDVI 0	NDVI_0 MAJORITY	Mean FS NDVI 1	NDVI_1 MAJORITY	Mean FS NDVI 2	NDVI_2 MAJORITY	Mean FS NDVI 3	NDVI_3 MAJORITY	Mean FS NDVI 4	NDVI_4 MAJORITY	Mean FS NDVI 5	NDVI_5 MAJORITY	Mean FS GNDVI 1	GNDVI_1 MAJORITY	Mean FS GNDVI 2	GNDVI_2 MAJORITY
81	53,7	0,4256	2	0,1952	3	0,5677	2	0,6125	2	0,2620	3	0,5677	2	0,5256	2	0,5256	2
82	47,0	0,4508	2	0,1940	3	0,5764	2	0,6228	2	0,2631	3	0,5764	2	0,5338	2	0,5338	2
83	44,5	0,4396	2	0,1960	3	0,5730	2	0,6207	2	0,2663	3	0,5730	2	0,5286	2	0,5286	2
84	43,1	0,4114	2	0,1808	2	0,5415	1	0,5926	1	0,2535	2	0,5415	1	0,5142	1	0,5142	1
85	49,0	0,4590	2	0,1958	3	0,5941	2	0,6434	2	0,2727	3	0,5941	2	0,5380	2	0,5380	2
86	43,4	0,4712	2	0,2096	3	0,6223	2	0,6682	2	0,2836	3	0,6223	2	0,5535	2	0,5535	2
87	43,1	0,4223	2	0,1785	2	0,5568	2	0,6042	2	0,2469	2	0,5568	2	0,5181	2	0,5181	2
88	41,0	0,4136	2	0,1852	2	0,5649	2	0,6121	2	0,2548	2	0,5649	2	0,5208	2	0,5208	2
89	39,1	0,4357	2	0,1948	3	0,5845	2	0,6300	2	0,2642	3	0,5845	2	0,5290	2	0,5290	2
90	47,7	0,4152	2	0,1778	2	0,5475	2	0,5926	2	0,2421	1	0,5475	2	0,5008	1	0,5008	1
91	47,8	0,4315	2	0,1866	2	0,5730	2	0,6194	2	0,2553	2	0,5730	2	0,5213	2	0,5213	2
92	42,3	0,4534	2	0,2015	3	0,6062	2	0,6528	2	0,2750	3	0,6062	2	0,5470	2	0,5470	2
93	50,0	0,4763	2	0,2075	3	0,6206	2	0,6637	2	0,2767	3	0,6206	2	0,5482	2	0,5482	2
94	41,8	0,4312	2	0,1833	2	0,5683	2	0,6153	2	0,2524	2	0,5683	2	0,5143	2	0,5143	2
95	45,0	0,4123	2	0,1815	3	0,5492	1	0,5975	2	0,2503	2	0,5492	1	0,5098	1	0,5098	1
96	39,0	0,3572	1	0,1678	1	0,4868	1	0,5410	1	0,2393	1	0,4868	1	0,4811	1	0,4811	1
97	38,3	0,3952	2	0,1810	2	0,5314	1	0,5807	1	0,2492	2	0,5314	1	0,5084	1	0,5084	1
98	41,2	0,4101	2	0,1931	3	0,5683	2	0,6154	2	0,2626	3	0,5683	2	0,5287	2	0,5287	2
99	40,0	0,4149	2	0,1839	2	0,5547	2	0,6030	2	0,2519	3	0,5547	2	0,5144	2	0,5144	2
100	48,5	0,3297	1	0,1800	2	0,5207	1	0,5704	1	0,2482	2	0,5207	1	0,5034	1	0,5034	1