



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

GRADO EN ENOLOGÍA

**Caracterización agronómica y
espectral de un viñedo situado en la
Denominación de Origen Ribera del
Duero**

Alumno:

Muñoz Herranz, Gustavo

Tutora:

Alburquerque Otero, María del Valle

Cotutor:

Herrero Llorente, Eliecer

Palencia, 2021

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la ayuda de personas muy importantes para mí a lo largo de esta etapa y a todos ellos quisiera dedicarles mis agradecimientos.

En primer lugar, a Bodega Valdemonjas quienes han estado a mi disposición en todo momento.

A mis tutores:

Por un lado, a María del Valle por su planificación, por su paciencia y por su ayuda siempre que lo he requerido y, también, a Eliecer por su contribución y por sus instrucciones.

A mi familia, por hacer posible que sea lo que soy y que este dónde este.

Y, por último, a María, que me ha apoyado en todo momento sin dejar que decaiga en el camino.

ÍNDICE

RESUMEN	0
ABSTRACT	0
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. LOCALIZACIÓN	2
1.2. CLIMATOLOGÍA	2
1.3. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	4
1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN	4
1.4.1. DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA PARCELA	5
2. OBJETIVO DEL PROYECTO	6
3. MATERIAL Y MÉTODOS	7
3.1. ÍNDICES AGRONÓMICOS	7
3.2. TELEDETECCIÓN E IMÁGENES AÉREAS INFRARROJAS	9
3.2.1. ÍNDICES DE VEGETACIÓN	9
3.2.2. MAPA TÉRMICO	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBPARCELAS ATENDIENDO A CRITERIOS AGRONÓMICAS	13
4.1.1. EVOLUCIÓN FENOLÓGICA	13
4.1.2. DESARROLLO VEGETATIVO Y PRODUCTIVO	14
4.1.3. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (LAI)	15
4.1.4. GRADO DE MADUREZ	17
4.2. DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBPARCELAS MEDIANTE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN	19
4.3. ASIGNACIÓN DE NUEVOS PUNTOS DE MUESTREO	22
5. CONCLUSIONES	25
6. BIBLIOGRAFÍA	26
7. ANEXOS	XXX

RESUMEN

El presente trabajo consiste en caracterizar agronómicamente el estado real del viñedo, y sus zonas de muestreo, y en contrastar los resultados de esta caracterización agronómica con la realizada mediante fotografías aéreas espectrales. Con estos datos se obtendrá una parcelación del viñedo en las zonas que, tanto por proximidad como por características agronómicas, se puedan obtener unas características homogéneas en el producto fruto.

Para ello, se han tomado datos fenológicos, peso de madera de poda, rendimiento, control de desarrollo vegetativo... durante todo el año productivo 2020 de dicho viñedo con los que se calcularán los índices deseados que nos proporcionarán la información concreta de cada una de estas zonas.

Las imágenes espectrales (NDVI, NDRE y temperatura) se tomaron en el momento de máxima expresión vegetativa coincidiendo con el inicio del envero.

Con la información obtenida se examinarán cada uno de los puntos de muestreo del viñedo para obtener como resultado un número determinado de subparcelas coincidentes o distintas a las zonas de origen, donde las plantas sean lo más similares posibles en el comportamiento agronómico y en la caracterización espacial.

Palabras clave: Zonificación, Índice de Ravaz, Índice de Área Foliar, LAI, NDVI, NDRE y Mapa Térmico.

ABSTRACT

The present work consists of the agronomical characterization of the vineyard and its sampling areas in comparison with the spectral aerial photographs. With the collected data, a parceling of the vineyard will be obtained in the areas that, both due to proximity and agronomic characteristics, can be obtained homogeneous characteristics in the final product, the grapes

For this purpose, phenological stages were obtained, as well as pruning wood weight, yield, vegetative measurements... along year 2020. With the obtained will be calculated son relations, which will provide us the specific information about each other subplots.

The spectral images (NDVI, NDRE and temperature) were measured when the vineyard was at maximum vegetative development, coinciding with the beginning of veraison.

The information obtained shall be used to examine every sampling points of the vineyard, with the objective of obtaining a certain number of matching subplots, other than the subplots of origin or the same, where plants should have an agronomic behavior and spatial characterization very similar.

Key words: Zoning, Ravaz Index, Leaf Area Index, LAI, NDVI, NDRE y thermal map.

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, las plantaciones de *Vitis vinifera* L. se han realizado siguiendo unos criterios que se podrían denominar “criterios clásicos”, estableciendo tanto el material genético como el portainjerto igual en toda la parcela obviando las posibles variaciones que pueden surgir en toda la superficie a plantar.

Los países del “nuevo mundo vitícola” como son Chile, Australia y Estados Unidos entre otros, debido a que no tienen tradición vitivinícola, han aumentado considerablemente la calidad de los vinos con parámetros de rendimiento en el viñedo considerables en relación con el rendimiento en el que las plantas tienen su ambiente óptimo (Montesinos & Fernandez, 2005). Para conseguirlo han utilizado técnicas de viticultura de precisión (Remote Sensing o GIS) siendo la mezcla entre la viticultura tradicional y las nuevas técnicas optimizando la calidad y el rendimiento de uva de una parcela determinada.

Desde aproximadamente los comienzos de la última década, los viticultores españoles poco a poco se han ido modernizando con la tecnología, evolucionando hacia una viticultura moderna, por lo que se ha cambiado el método de plantar y, actualmente, se realiza una serie de estudios antes de llevar a cabo el proceso de la plantación determinando la densidad de plantación, el tipo de planta que se quiere utilizar e incluso aproximándose considerablemente al que se quiere obtener. Para ello, se utilizan técnicas modernas de viticultura de precisión. Con el fin de utilizar correctamente estas técnicas, es necesario conocer tanto los factores naturales (clima y suelo) en los que podemos incidir mínimamente como aquellos que dependen de la capacidad del viticultor a los que se les denomina factores humanos o técnicas de cultivo (Smith & Whigham, 1999). Una vez que el viticultor entiende estos factores puede llegar a establecer sus propios criterios en la calidad y cantidad de la cosecha a obtener como producto final de la explotación vitícola buscando el equilibrio planta – suelo – clima.

En las plantaciones que no se ha realizado un estudio previo de factores naturales y el viticultor se haya regido por los criterios clásicos denominados anteriormente en los que el material vegetal plantado sea homogéneo, este se va a comportar de forma diferente en cada uno de los tipos de suelo (Bramley & Hamilton, 2007), según las características físico-químicas edáficas, la posición en la parcela, el microclima, la pendiente, la exposición, el agua disponible en el suelo, etc. (Smart & Robinson, 1992)

Para obtener un mejor conocimiento del viñedo se necesitará zonificarlo diferenciando las zonas en las que las características de la planta son homogéneas y otras en las que las características sean diferentes permitiendo un seguimiento exhaustivo de la calidad; es decir, evaluar la variabilidad dentro del viñedo, (Urretaziscaya, et al., 2014) pudiendo programar aproximadamente el momento ideal para vendimiar. Además, se ha estudiado recientemente que las técnicas de cultivo inciden mucho en la calidad final de la uva (Martínez, 2011) por lo que, si se trabaja de forma individual con cada planta, aportando lo que necesita, la calidad final del producto de toda la plantación será mayor y más homogénea que si no incidimos en este concepto.

Mediante la tecnología de teledetección y fotografía aérea infrarroja se pueden realizar mapas con programas informáticos de tipo GIS que muestran el estado sanitario y el vigor de *V. vinifera* L. y, con los que se puede realizar una base de datos que servirá de forma predictiva para realizar operaciones en los ciclos vegetativos posteriores (Viveros Barber, 2020) e intercambiar datos con otros viticultores (Montesinos & Fernandez, 2005).

Asimismo, esta zonificación permite a las bodegas llegar a un objetivo muy perseguido: a la obtención de una trazabilidad (Ancev et al., 2005) tanto hacia atrás como hacia

delante pudiendo llegar a conseguir vinos diferenciados de muy alta calidad dentro de una misma parcela mediante una vendimia concreta (Pérez, 2006).

1.1. LOCALIZACIÓN



El estudio se ha llevado a cabo en el municipio de Quintanilla de Arriba en la provincia de Valladolid, situado en el paraje de Valdelasmonjas, siendo propiedad de “Bodegas Valdemonjas”

Las coordenadas geográficas del viñedo son:

- Latitud: 41° 37' 26" N
- Longitud: 4° 16' 57" W
- Altitud: 755 m

La entrada de la parcela se localiza en la N-122 entre los kilómetros 321 y 322. Se encuentra en la denominada “Milla de Oro de la Ribera del Duero” debido a la situación de bodegas históricas cerca de esta ubicación.

Figura 1: Parcela del estudio. Fuente: Sigpac

La parcela cuenta con una superficie total de aproximadamente 9 hectáreas de la que se dedican un total de unas 6 hectáreas al cultivo del viñedo.

1.2. CLIMATOLOGÍA

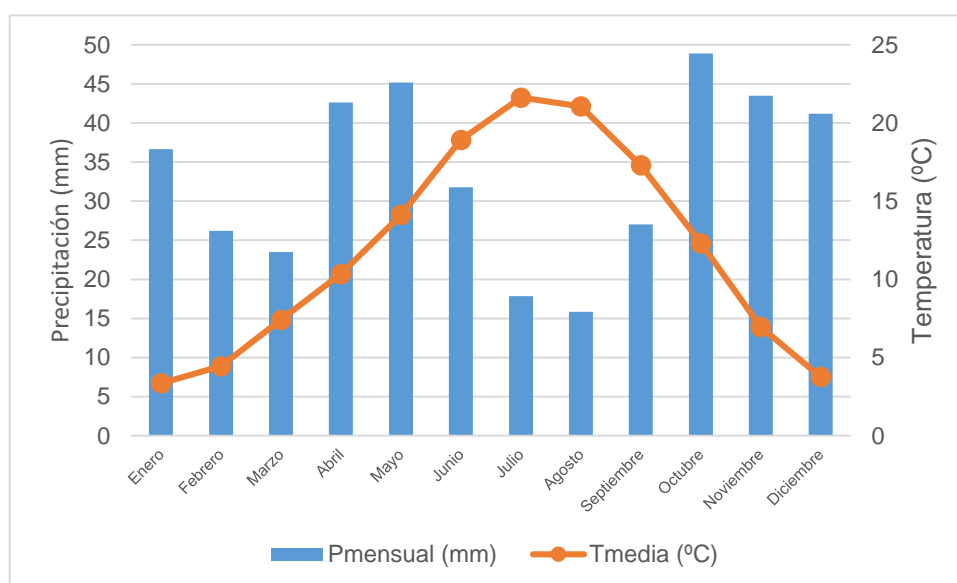


Gráfico 1. Diagrama ombrotérmico de Gausson que relaciona las temperaturas medias (Tmedia) con las precipitaciones mensuales (Pmensual). Fuente: Elaboración propia (Escala 2:1). Datos obtenidos: Temperatura: estación climatológica de Valbuena de Duero del INFORRIEGO (2003-2020); Precipitaciones: Estación meteorológica de Peñafiel de AEMET (1984-2016)

Las precipitaciones de este clima son escasas ya que oscilan entre los 300 y 800 mm anuales. Tiene una distribución irregular con octubre y mayo como meses de mayor precipitación en forma de lluvia.

Que el mes de mayo sea un mes húmedo se convierte para la planta en condiciones óptimas de desarrollo. Esto es debido que a principios del mes de junio comienza la floración y, cuanto menor estrés hídrico haya, menos corrimiento sufrirá; durante el mes de octubre, por el contrario, la planta se encuentra en la etapa final de maduración y a la vez realiza el proceso de agostamiento. Esta precipitación ayuda a que la planta agoste correctamente debido a una mayor formación de carbohidratos en las partes verdes y que acumula en las partes perennes de la misma convirtiéndose en sumideros de fotoasimilados (Candolfi-Vasconcelos, 1994) produciéndose como resultado una mejor salida de dormición estival en el ciclo posterior.

En cuanto a las temperaturas, la temperatura media anual es de 11,80 °C, por lo cual tiene una temperatura media anual fresca ya que oscila entre 10 y 12,5 °C. La amplitud térmica anual es muy alta ya que es mayor de 18 °C.

El clima de la zona es mediterráneo con carácter continental lo que hace que este pueda llegar a ser un clima extremo. Los inviernos son largos y fríos lo que ayuda a que la planta acumule horas de frío para así obtener cosechas abundantes, con una maduración equilibrada y de buena calidad (de Cara, 2009).

Durante la primavera, las precipitaciones, aunque con un promedio moderado-bajo, coinciden con las temperaturas más cálidas de esta estación lo que optimiza el desarrollo de la plantación. Los veranos son calurosos, aproximándose a 30 °C de temperatura en su máximo, soleados y secos lo que hace que la concentración de azúcares en las bayas sea elevada y, por el contrario, la acidez descienda a medida que se acerca la fecha de madurez del fruto.

La oscilación térmica durante el ciclo vegetativo es elevada teniendo alrededor de 20° de diferencia entre el día y la noche en los meses de verano. Esto hace que durante el día las bayas maduren correctamente aumentando la concentración de azúcares y, durante la noche mantenga los niveles de acidez total (Hidalgo & Hidalgo, 2011).

Dentro de la clasificación de Köppen, la parcela se encuentra en una zona del tipo Csb: C (el mes más frío se encuentra entre 18 y -3 °C y es superior a 10 °C el mes más cálido); s (estación seca en verano) y b (la temperatura del mes más cálido es inferior a 22 °C, pero con temperaturas de 4 meses superiores a 10 °C) (Inzunza, 2005).

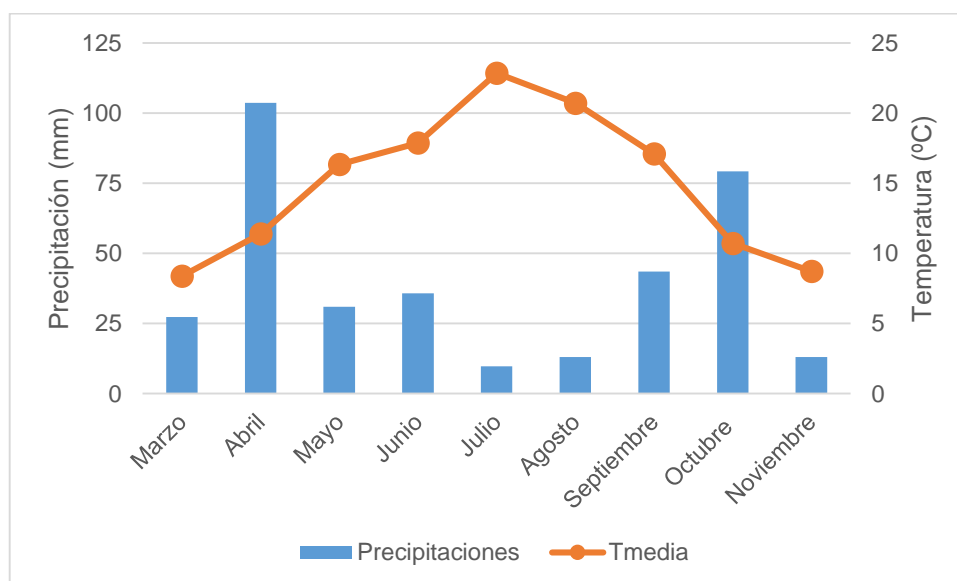


Gráfico 2: Temperaturas medias y precipitaciones mensuales en el ciclo vegetativo del año 2020. Fuente: Elaboración propia (Escala 5:1). Datos obtenidos de INFORRIEGO estación en Valbuena de Duero.

Durante el ciclo vegetativo destaca que los meses de julio y agosto han sido especialmente secos y, en los meses en los que se acercaba la vendimia y los racimos estaban maduros, las precipitaciones han sido más frecuentes y caudalosas que en el promedio de la zona. Esto ha definido que el principio de la vendimia se pospusiera unos días respecto a la fecha media de vendimia habitual.

Las temperaturas durante el ciclo han sido muy similares a las promedias de la zona: meses cálidos en verano, superando los 20 °C en los meses más calurosos, y meses frescos durante la primavera y el otoño.

1.3. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO



Figura 2. Mapa geológico de la parcela. Fuente: IGME. Hoja 373. <https://bit.ly/3eUe8IW>

En la Figura 2 se puede observar que el suelo es un suelo formado en el periodo terciario compuesto por margas, margocalcitas y yesos. Debido a esto, principalmente nos encontraremos un suelo de arcillas y calcitas, lo que proporcionará a las uvas unas características diferenciadas: el hollejo grueso aportará al vino estructura y aromas frutales, pero la acidez final será baja (Bodegas Comenge, 2019); y, arcillas y arenas rojas en los picones de la zona más elevada del viñedo, esta característica hace que el suelo sea más frío, por lo que la maduración se retrasa (az3oen0, 2019) lo que hace que la maduración fenólica y tecnológica se produzcan al mismo tiempo produciendo mostos muy afrutados y con mucho color.

Como punto de partida, antes de realizar la plantación del viñedo se realizó un análisis de suelo adjuntado en el Anexo I en el que se puede observar que posee pH alcalino con un promedio de 8,35. Este suelo hará que se produzca una deficiencia de elementos como el hierro, manganeso, zinc, cobre y boro y; por el contrario, un exceso de elementos nutricionales como sodio y calcio. (Vine to Wine Circle, 2014)

Posteriormente, para mejorar la estructura y fertilidad del suelo de la parcela, en las labores preparatorias para la plantación se realizó un abonado de fondo aportando materia orgánica al suelo y, en cada uno de los ciclos vegetativos se realiza un abonado en las calles del viñedo observando las carencias del mismo para aportar los nutrientes que requieren las plantas.

1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN

El sistema de conducción está determinado por las operaciones que ayudan a definir tanto la superficie foliar como la disposición de los racimos en el plano. Se puede dividir en dos clases, una permanente que se decide en el momento de la plantación - característica de la plantación- y una variable que según el manejo del viñedo cambiará a lo largo de la vida de la plantación -modo de conducción- (Yuste, 2001).

La plantación se realizó en marzo de 1998 con un marco de plantación de 2,80 x 1,25 m lo que hace que haya 2857 plantas por hectárea. La variedad elegida fue Tempranillo, estableciendo el clon ENTAV-INRA 770 en la mayor parte del viñedo con el portainjerto 110R.

En 2012 en la zona de Anfiteatro se realizó la replantación de varias líneas de viñedo y se escogió el clon CL98 de Tempranillo con el portainjerto 41B, con el fin de sustituir las cepas de otra variedad inicialmente elegida.

El sistema de poda es una poda corta en forma de doble cordón Royat compuesto por dos brazos en los se establecen cuatro pulgares con dos yemas en cada brazo de los que se obtendrán teóricamente 16 pámpanos por planta.

En la plantación se realizan diferentes operaciones en verde:

- Espergurado, para favorecer el desarrollo de los pámpanos que se dejan en cada planta durante el estado fisiológico E según Baggiolini.
- Desnietado, con el que se procura eliminar la competencia de los racimos consiguiendo un mejor microclima y favoreciendo la aireación e insolación.
- Aclareo manual de racimos, con el que se controla el rendimiento por hectárea. Se mejora la calidad del fruto debido a que se elimina competencia por lo que los racimos restantes obtienen una mayor cantidad de fotoasimilados y favorece la maduración homogénea del fruto (Blanco, 2013).

1.4.1. DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA PARCELA

Actualmente, el propietario de la plantación diferencia 9 zonas dentro de la plantación, con 3 zonas de toma de datos para muestrear por cada una de las zonas mencionadas. Añada tras añada se ha observado que dichas zonas pueden abarcar un número distinto de cepas ya que la calidad de la uva varía ligeramente dentro de las mismas y se iguala en el límite entre zonas.



Figura 3: Zonificación actual de la plantación. Fuente: <https://bit.ly/3cwpmSi>

2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo principal del proyecto es el de caracterizar un viñedo a través de la obtención de una serie de parámetros agronómicos y espectrales. Con los datos y las imágenes espectrales tomadas en el momento de máxima expresión vegetativa (coincidiendo con el mes de julio) se obtendrá una zonificación donde las características de la uva de cada uno de los bloques o zonas, como producto final, en cada ciclo vegetativo sean lo más similares posibles.

Mediante esta zonificación se persigue conocer el comportamiento agronómico real del viñedo y manejar la plantación optimizando la variabilidad y aplicando las operaciones de cultivo en el momento preciso, es decir, aportar a cada planta lo que realmente necesita. Además, con ello se podrá amparar la calidad de cada zona realizando vinos diferentes con la uva obtenida dentro de una misma subparcela.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. ÍNDICES AGRONÓMICOS

a. EVOLUCIÓN DEL ESTADO FENOLÓGICO DE LA PLANTA

Con el fin de realizar un seguimiento exhaustivo del desarrollo fenológico siendo este el crecimiento de órganos verdes y fructíferos de la planta, se realizó la toma de datos en el viñedo a lo largo del ciclo vegetativo apuntando en el estadillo de campo el número de racimos y el valor del estado fenológico según en el código de Eichhorn & Lorenz (1977) en los que se encontraba cada una de las repeticiones de la parcela.

Escalas Fenológicas en Vid

00 - 89 : Escala BBCH
01 - 38 : Código Eichhorn & Lorenz
A - J : Escala Baggioolini

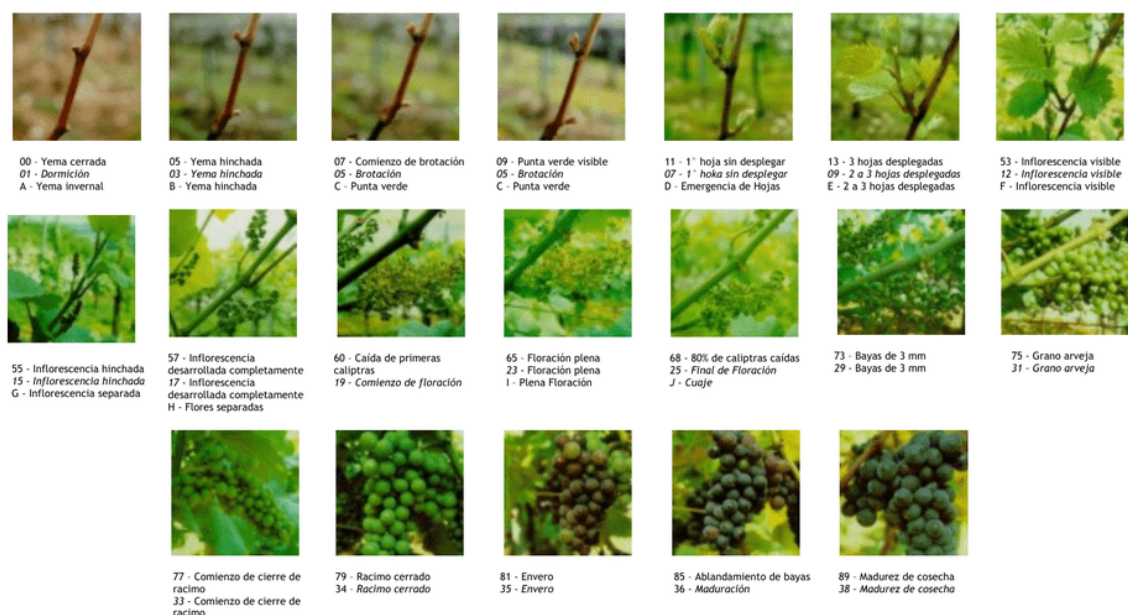


Figura 4: Relación de las escalas del estado fenológico de la V. vinífera (agroEstrategias, 2010)

b. EVALUACIÓN DEL VIGOR SEGÚN EL PESO DE MADERA DE PODA.

Para obtener el peso promedio de sarmientos, se sigue el protocolo de actuación para la medida del peso de madera de poda de cada una de las zonas de muestreo. Este índice se debe realizar una vez que se han caído las hojas de la planta (Baeza, 2017):

- Se cuenta el número total de sarmientos de cada una de las cepas
- Una vez podadas todas las cepas se hace un manajo con los sarmientos y se pesan en una báscula portátil.
- Se anotan los resultados obtenidos en un estadillo de campo.

c. ÍNDICE DE RAVAZ

El índice de Ravaz relaciona el rendimiento con el peso de madera de poda de cada cepa lo que indicará el vigor de las cepas. Los valores óptimos se encuentran entre 5 y 10. Si el valor es inferior a 5 entonces veremos que las cepas son muy vigorosas y, por el contrario, si es superior a 10 observaremos que las cepas tienen demasiada producción. (Hidalgo & Hidalgo, 2011).

Para obtener este resultado se han seguido los siguientes pasos:

- Se cuentan y se pesan los racimos de las cepas control en cada una de las zonas de muestreo.
- Se cuenta el número de sarmientos por planta de todas las cepas control en cada zona de muestreo.
- Se podan todas las cepas control y se pesan los sarmientos con una báscula portátil, en cada zona del viñedo.

d. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (LAI)

La determinación de la superficie foliar total se ha realizado en una planta por zona de muestreo empleando un método no destructivo, siguiendo el siguiente proceso (Carbonneau, 1976):

- Se marcan dos pámpanos enteros y representativos, uno en cada brazo de la planta control.
- Se mide el nervio principal de una hoja de cada tres y, posteriormente, se realiza la misma operación los nietos de dicho pámpano.
- Mediante una regresión lineal determinada (Pérez, 2002):

$$ILA_p = 0,01055412 \times (MVL \times 10)^2 + 0,23713115 \times (MVL \times 10)$$

$$ILA_s = 0,01055412 \times (MVL \times 10)^2 + 0,23713115 \times (MVL \times 10)$$

Donde:

ILA_p es el área foliar de cada hoja individual en cm^2 en el pámpano principal.

ILA_s es el área foliar de cada hoja individual en cm^2 en los anticipados o nietos

MVL es la longitud del nervio principal en cm .

Con ello, se calculará el Índice de Área Foliar (LAI) mediante la siguiente ecuación (Lasheras, 2016):

$$\left. \begin{aligned} LAI_p &= \frac{ILA_p \cdot N_p \cdot nP}{MP} \\ LAI_s &= \frac{ILA_s \cdot N_s \cdot nS}{MP} \end{aligned} \right\} LAI_{TOTAL} = LAI_p + LAI_s$$

Donde:

LAI_p es el área foliar en los pámpanos principales de la planta en m^2 por m^2 de suelo.

LAI_s es el área foliar de los nietos en m^2 de la planta por m^2 de suelo.

N_p es el número de entrenudos por pámpano.

N_s es el número de nudos por nieto.

nP es el número de pámpanos por cada cepa.

nS es el número de nietos por cada cepa.

MP es el marco de plantación del viñedo

LAI_{TOTAL} es el área foliar total de la planta en m^2 por m^2 de suelo.

e. GRADO DE MADUREZ DE LA UVA

La concentración de sólidos solubles del mosto se analiza mediante el método refractométrico usando un refractómetro de campo. Para ello, en la época de vendimia se realizan muestreos en cada zona recolectando un total de 100 bayas al azar teniendo en cuenta todos los puntos del racimo y la distribución de este dentro de la cepa.

Posteriormente, las bayas se estrujan dentro de la bolsa procurando extraer el mosto de todas ellas. El líquido resultante se pone en el cristal del refractómetro y se realiza la lectura determinando el grado de alcohol probable, en % en volumen a 20 °C.

3.2. TELEDETECCIÓN E IMÁGENES AÉREAS INFRARROJAS

Las imágenes espectrales aéreas se son proporcionadas por una empresa especialista en obtenerlas, “SmartRural” colaboradora con los propietarios del viñedo en estos asuntos. Para obtener los mejores datos en espectrométricos, se realiza el vuelo del dron en la época de mayor expresión vegetativa del viñedo, coincidiendo con el envero en el mes de agosto. Con el fin de evitar el proceso de correcciones, se procura que las condiciones climáticas en el momento de la captación de imágenes sean óptimas (realizando las fotografías al mediodía solar, sin viento ni nubes).

Se ha utilizado una aeronave pilotada remotamente, un dron de ala fija denominado “Drone agrícola Ebee Ag” diseñado por el grupo Sensefly. Este posee una autonomía de vuelo de 45 minutos, con una velocidad crucero comprendida entre 40-90 km/h. Posee una planificación de vuelo en 3D automática con una precisión de pixel de 2cm/pixel. La precisión de dicha aeronave con “Ground Sampling Distance” (GSD) les de 4 – 7 cm (senseFly, 2021).

Para procesar las imágenes de los diferentes sensores de vuelo, se ha utilizado el programa de Software libre y código abierto QGIS v.3.14.1. Se ha trabajado pixel a pixel con los diferentes índices obtenidos. Para ello se ha introducido en el programa la capa Ráster con extensión de archivo .TIF proporcionada por la empresa SmartRural. Esta capa se encuentra en un formato monobanda de escala de grises por lo que se ha modificado el tipo de renderizador a un pseudocolor monobanda en el que, mediante una interpolación discreta, se aplica la paleta de colores correspondiente a cada índice.

3.2.1. ÍNDICES DE VEGETACIÓN

Los índices de vegetación utilizados son índices calculados con valores de reflectancia espectral captados con la cámara multispectral “MultiSPEC 4C”. Este sensor capta imágenes en 4 bandas diferentes: Green 550 nm, Red 660 nm, Red-Edge 735 nm y NIR 790 nm (SenseFly, 2014), con una resolución de 10cm/pixel.

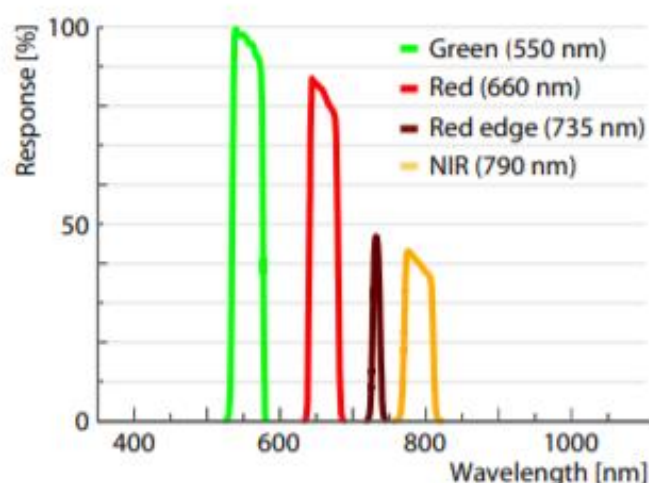


Gráfico 3. Longitudes de onda a las que el sensor MultiSPEC 4C realiza lecturas (SenseFly, 2014)

Además, la cámara realiza una calibración automática con un flexómetro y un gris de calibración lo que permite obtener reflectancias de manera directa.

a. NDVI

El índice de vegetación normalizada es un índice de reflectancia espectral que estima la calidad, la cantidad y el desarrollo vegetativo en base a una medición de la intensidad de radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja (Martorell, 2017). Los valores se encuentran entre $-1,0$ y $+1,0$ dependiendo de la captación de luz por el sensor, siendo mínima cuando la captura de luminosidad es nula (zonas sin vegetación) y máxima cuando se captura toda la energía luminosa disponible con un rango de valores como indica la figura 5. (Baluja et al., 2010)

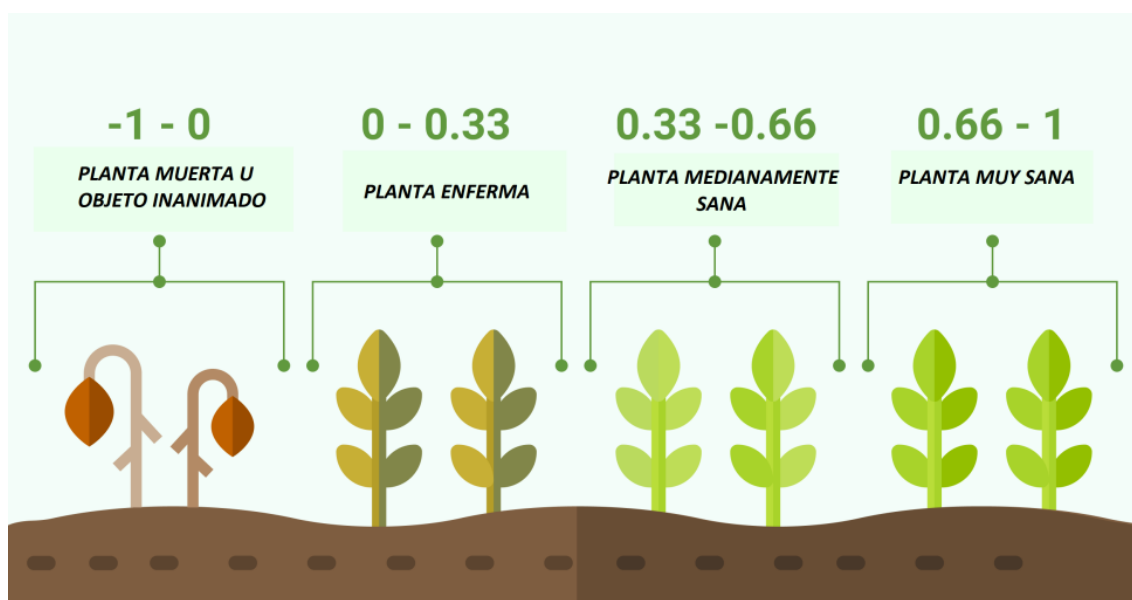


Figura 5: Rango de valores NDVI (Toribio, 2019)

Se define como:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Siendo: RED la reflectancia del rojo a una longitud de onda (λ) de 660 nm y, NIR la reflectancia en el espectro infrarrojo cercano ($\lambda=790$ nm) (Rodríguez-Pérez et al., 2007).

Los valores se han clasificado en 6 categorías diferentes mediante una paleta colores utilizada para la visualización del mapa de NDVI:

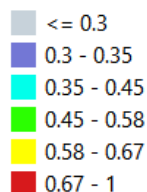


Figura 6: Paleta de colores utilizada para la lectura NDVI

b. NDRE

El NDRE es un índice espectral que se constituye con una mezcla de diferentes bandas: el espectro del Infrarrojo Cercano (NIR) y una banda que se ubica entre el rojo visible y el NIR: (EOS, 2020)

$$NDRE = \frac{NIR - REDGE}{NIR + REDGE}$$

Siendo: NIR la reflectancia del espectro infrarrojo cercano ($\lambda=790$ nm) y REDGE la reflectancia en el espectro cercano al borde rojo ($\lambda=735$ nm) (Boiarskii & Hasegawa, 2019)

Este índice es el mejor para observar las condiciones de la planta debido a que estas ya han acumulado una gran cantidad de clorofila y en el NDVI no aparecen las posibles carencias. Esto es debido a que la longitud de onda que utiliza este índice atraviesa mejor las hojas que la utilizada por el NDVI (EOS, 2020).

Para un mejor manejo de la información se dividen el índice en siete intervalos utilizando la leyenda de colores:

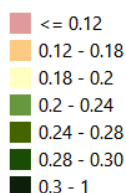


Figura 7: Paleta de colores utilizada en NDRE

3.2.2. MAPA TÉRMICO

El mapa de temperatura de la vegetación se realizó con la cámara termográfica “thermoMAP” cuyas características son 134 g de peso y 5W de consumo potencial. Proporciona imágenes radiométricas en escala de grises con formato .TIFF transformando esta escala a la escala de temperatura en grados Celsius directamente con la siguiente ecuación del paquete Software Pix4DMapper (Sagan, et al., 2019):

$$T(^{\circ}C) = 0,01 \cdot R - 100$$

Donde T es la temperatura absoluta en grados Celsius y, R, es el valor radiométrico de la imagen térmica captada por el sensor.

La calibración radiométrica del sensor se efectúa en pleno vuelo mediante un disparador y el sensor realizando una medida de la parte posterior del obturador.

La resolución de la imagen obtenida es de 14cm/pixel a una altura de vuelo de 75m teniendo la mayor precisión cuando el vuelo se realiza entre 40m y 150m, captando un rango de temperaturas entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una precisión de $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. (TecníTop, 2017).

Las temperaturas se han clasificado en un total de 5 categorías siendo el índice utilizado:



Figura 8: Paleta de colores en $^{\circ}\text{C}$ utilizada para diferenciar el mapa térmico

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBPARCELAS ATENDIENDO A CRITERIOS AGRONÓMICOS

4.1.1. EVOLUCIÓN FENOLÓGICA

El estudio de la evolución fenológica se realizó anotando los Estados Fenológicos de las cepas en cada una de las zonas periódicamente durante el ciclo vegetativo, estimando cada Estado cuando el 50% o más de las yemas o brotes respectivos se encontraban en el Estado Fenológico correspondiente (Baillod & Baggioini, 1993). El último valor de la escala correspondiente con la madurez (valor 36) se tomó a partir del seguimiento de madurez realizado para vendimiar en el momento óptimo.

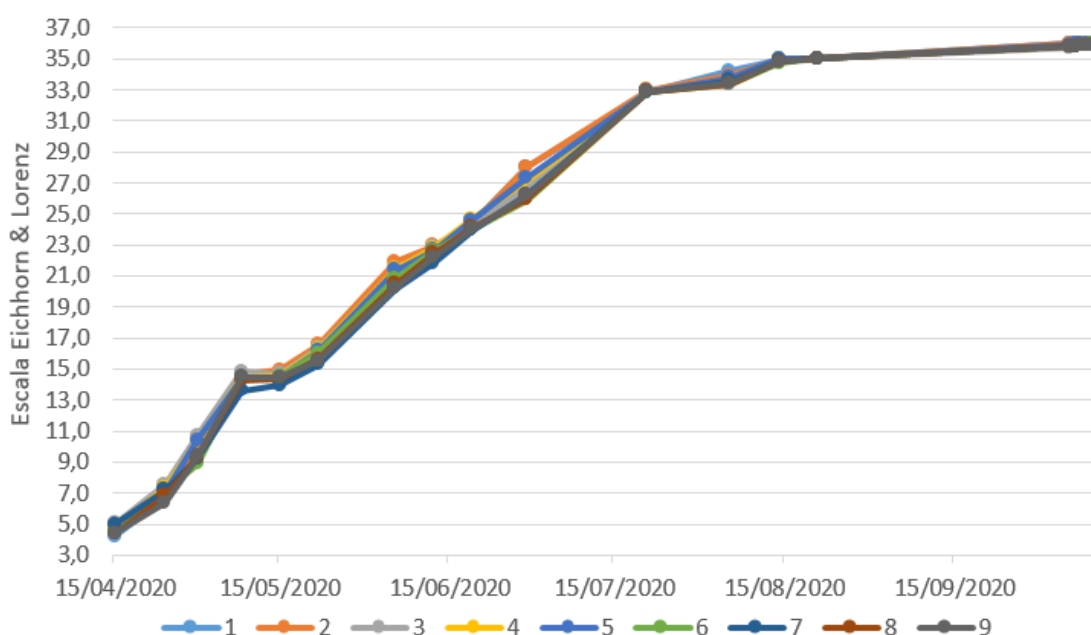


Gráfico 4: Evolución fenológica media de cada una de las zonas siendo: 1 - Butaca; 2 - Patio; 3 - Tribuna; 4 - Platea; 5 - Balcón; 6 - Palco; 7 - Galería; 8 - Anfiteatro; 9 - Anfiteatro joven

En el año 2020 la media de las temperaturas, con respecto al histórico anual, ha sido 1 grado superior en los meses de verano y 2-3 grados en los meses de febrero, abril y mayo. Cabe destacar que no hubo heladas tardías por lo que las plantas pudieron seguir el ciclo vegetativo correctamente.

En el Gráfico 4 si se destacan los Estados Mayores punta verde (05), plena floración (17), baya tamaño guisante (29) y envero (35) y, se comparan con la media histórica ofrecida por el consejo regulador Ribera del Duero (Tobes, 2020), observando que:

- El Estado Fenológico punta verde se produce antes que la media histórica de la denominación establecida el 26 de abril.
- Las plantas alcanzan el Estado de plena floración antes que la media histórica establecida el 17 de junio. La zona Palco al ir más retrasada que las demás se aproxima mucho más a dicha media que el resto de la plantación.
- Observando las cepas en Estado de tamaño guisante (aproximadamente 3mm de diámetro), observamos que las zonas Patio y Butaca son las más adelantadas pero las que más se acercan a la media histórica datada el 2 de julio; las zonas

de Palco, Galería, Anfiteatro y Anfiteatro joven son las más en cuanto al ciclo vegetativo.

- La fase de envero en la planta transcurre justo a la vez en todas zonas produciéndose dos días posteriores al día de la media histórica fechada el 13 de agosto.

Si estas fechas se comparan con las fechas en las que Barajas (2010) estudia en Castrillo de Duero en los años 2006 y 2007 (Barajas, 2010) y, las fechas estudiadas por Baeza en los Campos de Prácticas de la E.T.S.II.AA. de Madrid durante los años 1991 y 1992 (Baeza, 1994), se observa como las fechas de los Estados Mayores se encuentran en periodos de tiempo muy similares con las fechas del viñedo en estudio.

4.1.2. DESARROLLO VEGETATIVO Y PRODUCTIVO

La relación entre el desarrollo vegetativo y el productivo proporciona el índice de Ravaz, que se utiliza para evaluar el equilibrio vegetación del viñedo.

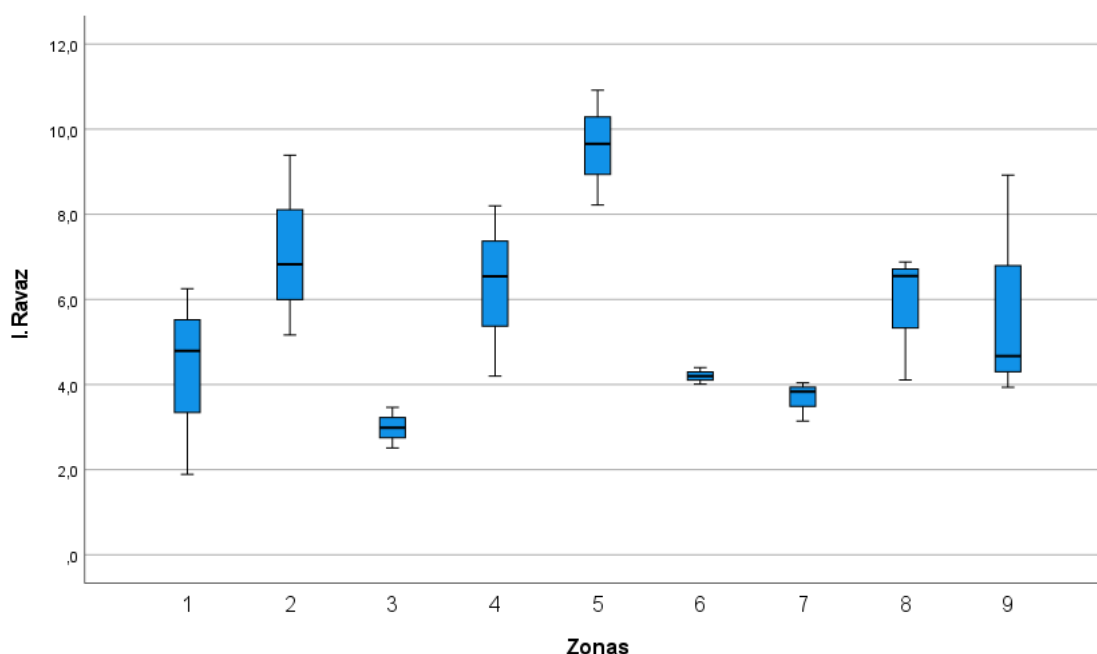


Gráfico 5: Diagrama de cajas del índice de Ravaz. El I. Ravaz está representada en kg/m^2 . Siendo: 1-Patio; 2-Butaca; 3-Tribuna; 4-Platea; 5-Balcón; 6-Palco; 7-Galería; 8-Anfiteatro; 9-Anfiteatro joven

Atendiendo a los resultados del índice de Ravaz del gráfico 5, se observa un amplio rango de valores, alguno de ellos muy elevados como Balcón donde es muy superior a 7 que sería el valor óptimo. Esto quiere decir que a la cepa le falta vigor, pudiendo producir un desequilibrio en la maduración de la uva provocando aromas vegetales y una baja concentración de azúcares (Balda, 2014) estando produciendo por encima de la capacidad de las plantas. Los valores inferiores a 4 en zonas como Tribuna y Galería indican zonas donde el vigor es excesivo, lo que puede propiciar un adelanto de la maduración indicando que las plantas tienen una mayor capacidad productiva de la que se expresa. Para ajustar este valor, se debe adecuar la carga de poda y la fertilización del viñedo buscando el equilibrio de la planta y, por ende, del viñedo.

Tabla 1: Análisis ANOVA de Índice de Ravaz por zona

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	99,1757	8	12,397	4,40	0,0043
Intra grupos	50,6966	18	2,81648		
Total (Corr.)	149,872	26			

Si se realiza un análisis ANOVA detallado en la Tabla 1, se refleja que el valor-p es menor que 0,05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del I. Ravaz de cada de las zonas, con un nivel del 5% de significación. Para poder ver la diferencia estadísticamente significativa entre zonas, se realizan pruebas de múltiples rangos.

Tabla 2: Grupos homogéneos en el índice de Ravaz según la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con un porcentaje del 95%.

Zona	Media	Grupos Homogéneos
Tribuna	2,9893	X
Galería	3,67477	XX
Palco	4,20345	XX
Patio	4,31255	XXX
Anfiteatro joven	5,84352	XXX
Anfiteatro	5,84717	XXX
Platea	6,31519	XX
Butaca	7,12764	XX
Balcón	9,59866	X

Tal y como se puede observar en la Tabla 2, se han identificado 4 grupos homogéneos dependiendo de la posición de las X dentro de la columna. En las zonas que compartan la columna de X significa que no comparten diferencias estadísticamente significativas. Por un lado, podemos extraer que Tribuna tiene diferencias estadísticas con Platea, Butaca y Balcón y, por otro, Balcón tiene diferencias estadísticas con Galería y Palco. Esta diferencia entre Butaca y Tribuna puede ser la disposición del viñedo ya que tiene una pendiente pronunciada desde la zona de Tribuna a la zona de Butaca.

Finalmente, la razón de la diferencia estadística entre las demás zonas podría ser debido a su situación orográfica, es decir, a la distancia que hay entre unas y otras, lo que hace que las condiciones edafoclimáticas puedan variar considerablemente.

4.1.3. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (LAI)

Diversos autores señalan que la riqueza en azúcares del mosto es la elevada actividad fotosintética, por lo que un factor determinante es el manejo de la vegetación procurando conseguir la máxima superficie foliar expuesta. Otro factor importante es la parada del crecimiento de los pámpanos con el inicio del agostamiento favoreciendo el aumento de la concentración de fotoasimilados en las bayas (Pérez, 2011).

Autores españoles calcularon valores de LAI en diferentes marcos de plantación en la variedad Tempranillo cv. Bartolomé estableció que con un marco de plantación de 2x1,35 m y con poda Guyot el LAI correspondiente era de 1,65 en un viñedo de Tempranillo en secano y 2,75 en regadío (Bartolomé, 1993); Yuste, estableció un LAI

con valor de 1,62 para viñedo en espaldera y secano con un marco de plantación 3x1,60 (Yuste, 1995).

En el gráfico 6 se observa que las zonas Tribuna, Platea y Balcón poseen valores de LAI total (LAI_s + LAI_p) próximos a los valores mencionados anteriormente.

En las zonas en las que la superficie foliar total es mayor se considera que hay una mayor capacidad fotosintética, pero si esta superficie aumenta demasiado en un espacio limitado aumentará la densidad foliar, lo que conlleva que el microclima de los racimos sea peor y se produzca una baja iluminación de las hojas del interior de la espaldera pudiendo llegar a caerse por inactividad (Baeza et al., 1999).

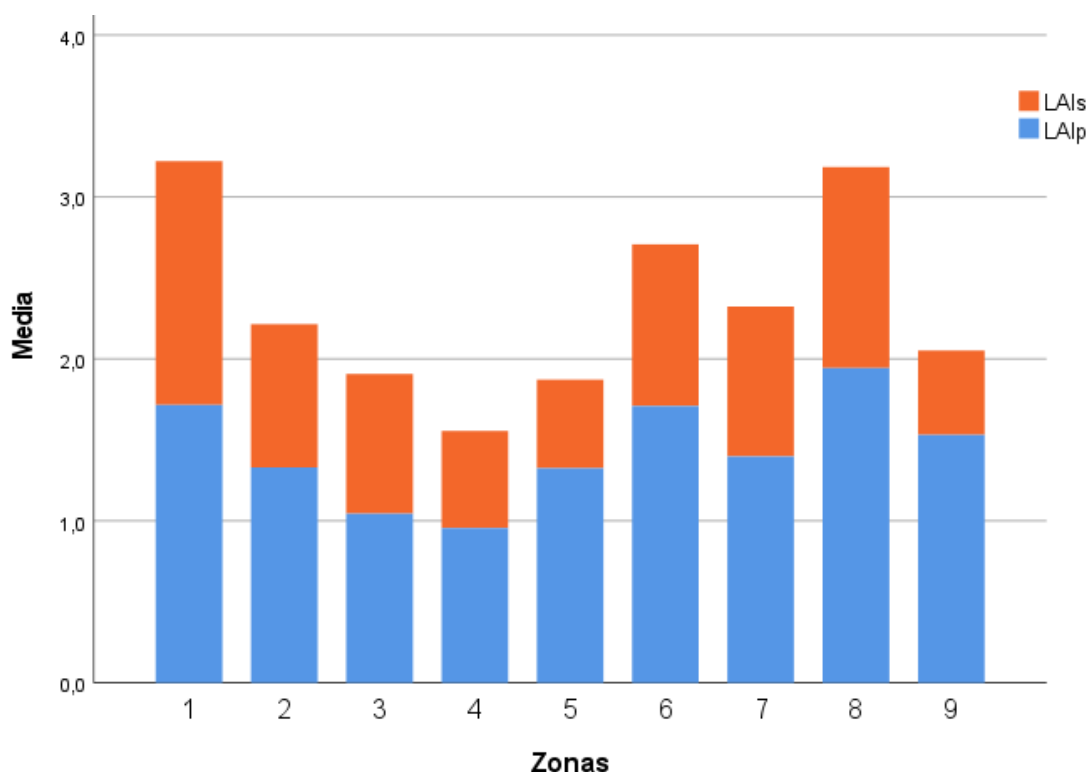


Gráfico 6: Valores promedios de LAI en el pámpano principal (azul) y en los anticipados (naranja) medidos en m² de hojas/m² de suelo por cada zona. Siendo 1: Patio; 2: Butaca; 3: Tribuna; 4: Platea; 5: Balcón; 6: Palco; 7: Galería; 8: Anfiteatro; 9: Anfiteatro joven.

Para saber si el área foliar total de cada zona puede madurar correctamente el total de la producción de dicha zona, se calcula la relación entre LAI y los kilos de uva por metro cuadrado. Se estima que para madurar 1 kilogramo de uva los valores de LAI deben oscilar entre 0,8 y 1,2 m²/m² (Lasheras et al., 2016).

Tabla 3: Relación entre Área foliar y kilogramos de uva por metro cuadrado

	Patio	Butaca	Tribuna	Platea	Balcón	Palco	Galería	Anfiteatro	Anfiteatro joven
LAI	3,22	2,22	1,91	1,56	1,87	2,71	2,32	3,18	2,05
kg de uva/m²	1,99	1,84	1,37	1,50	1,81	1,83	2,33	1,64	1,70
LAI/kg de uva/m²	1,62	1,21	1,39	1,03	1,03	1,48	1,00	1,94	1,21

En la tabla 3 se observa como toda la parcela tiene el valor que relaciona el LAI con los kilogramos es superior al valor de 0,8 indicado anteriormente. Las zonas de Patio, Butaca, Palco, Galería, Anfiteatro y Anfiteatro joven tienen valores superiores a 2 m² de vegetación por cada m² de terreno, aunque al tener producciones muy elevadas no será contraproducente.

Tabla 4: Grupos homogéneos en LAI según la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con un porcentaje del 95%.

Zona	Media	Grupos Homogéneos
Platea	1,55551	X
Balcón	1,87232	XX
Tribuna	1,90713	XX
Anfiteatro joven	2,05238	XX
Butaca	2,21545	XX
Galería	2,32362	XXX
Palco	2,70794	XX
Anfiteatro	3,18465	X
Patio	3,22157	X

Tras realizar un análisis ANOVA, se observa que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05 (0,0133) por lo que se realizan pruebas de Rangos Múltiples con el fin de obtener las zonas donde el LAI es estadísticamente significativa.

De la tabla 4 se deduce que Platea es estadísticamente diferente a Palco, Anfiteatro y Patio. Estas diferencias se pueden dar por la disposición del viñedo, ya que en la parte Este del viñedo se encuentra una pequeña colina que produce sombra en las primeras horas de la mañana, por lo que la vegetación no se desarrolla correctamente a lo largo de la espaldera.

También se observan diferencias entre Patio con Platea, Butaca, Anfiteatro joven, Tribuna y Balcón; la diferencia con Butaca se podría subsanar mediante un manejo de la vegetación similar ya que se encuentran orográficamente muy próximas. La diferencia con el resto de las zonas se puede considerar a causa de la situación orográfica dado que Patio se sitúa en la parte más baja del viñedo pudiendo beneficiarse de la erosión del resto del viñedo, resultando una zona más fértil.

Se observa que la zona Anfiteatro tiene diferencias estadísticas significativas respecto a las zonas Platea, Butaca, Balcón, y Anfiteatro joven. La diferencia con esta última zona puede deberse a que se ha empleado distinto material vegetal. Además, esa zona se denomina “joven” debido a una reposición posterior. La diferencia estadísticamente significativa con Platea y Balcón es debido a la diferencia orográfica anteriormente mencionada.

4.1.4. GRADO DE MADUREZ

Para medir el grado de madurez de la uva se utiliza el método indirecto. Este método, se basa en la refracción de la luz que determina de forma indirecta el grado alcohólico probable mediante la concentración en azúcares del mosto.

Se observa que el viñedo, en general, posee un grado alcohólico probable de entre 13 y 14 % vol.

Si comparamos estos datos con los de diversos autores en situaciones similares con con la variedad Tempranillo, se observa que los valores son más elevados como muestra Pérez (2002) en su estudio entre los años 1998 y 2000 (Pérez, 2002). Esto puede ser debido a dos causas sinérgicas: el cambio climático favorece la maduración de la uva debido al aumento de las temperaturas medias y a una tendencia hacia vinos estructurados haciendo que se posponga la fecha de vendimia para obtener una maduración fenólica completa (García, 2014).

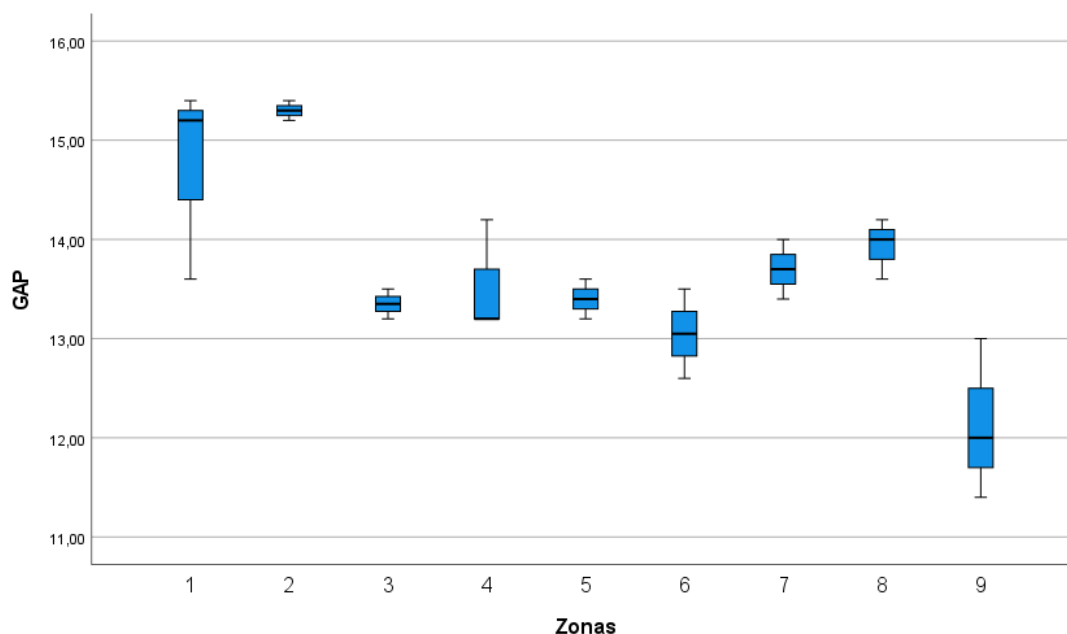


Gráfico 7: Diagrama de cajas del grado de alcohol probable (GAP). Siendo 1: Patio; 2: Butaca; 3: Tribuna; 4: Platea; 5: Balcón; 6: Palco; 7: Galería; 8: Anfiteatro; 9: Anfiteatro joven

Con el fin de observar las diferencias entre las zonas, se realizó un análisis ANOVA obteniéndose un valor-P es inferior a 0,05 por lo que existe una diferencia estadística con un nivel de 5% de significación.

Mediante un procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) Fisher con un riesgo del 5% se han identificado cuatro grupos homogéneos.

Tabla 5: Comparación de las zonas atendiendo al GAP mediante un procedimiento LSD con riesgo del 5%

Zona	Media	Grupos Homogéneos
Anfiteatro joven	12,13	X
Palco	13,07	X
Tribuna	13,37	X
Balcón	13,4	X
Platea	13,53	X
Galería	13,7	X
Anfiteatro	13,93	XX
Patio	14,73	XX
Butaca	15,3	X

Se observa que las zonas de Patio y Butaca son iguales entre sí y diferentes al resto de zonas debido probablemente a la proximidad que hay entre estas zonas de la parte Norte del viñedo y a la diferencia orográfica del resto. Además, son las zonas en las que la concentración de azúcares es mayor.

La zona de Anfiteatro tiene una diferencia significativa estadísticamente con Butaca. En cambio, en lo que al grado alcohólico probable se refiere, el resto de zonas son iguales,

por lo que podemos determinar que la mayor parte de estas, maduran homogéneamente.

4.2. DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBPARCELAS MEDIANTE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN

La Figura 9 muestra los intervalos de valores de los diferentes índices una vez realizada la interpolación discreta. Para obtener datos estadísticos de la parcela con estos índices se han dibujado polígonos siguiendo los siguientes criterios:

- La zona Noroeste es la zona más baja del viñedo cuyos valores de NDVI y NDRE son los más elevados. Igualmente, la temperatura media en dicha zona es moderadamente alta.
- En la zona Oeste, se observa como los valores NDVI y NDRE son los más bajos de la parcela. En cambio, la temperatura es más elevada.
- En la zona Noreste, se observa que los valores NDVI y NDRE son moderados con temperaturas más bajas.
- En la zona Sur hay dos franjas muy definidas en la línea de las plantas jóvenes:
 - o Al Oeste de esa línea los valores NDVI y NDRE son mas altos que en la zona Este.
 - o Si se presta atención al mapa de temperatura, la zona Oeste es más cálida que en la zona Este.

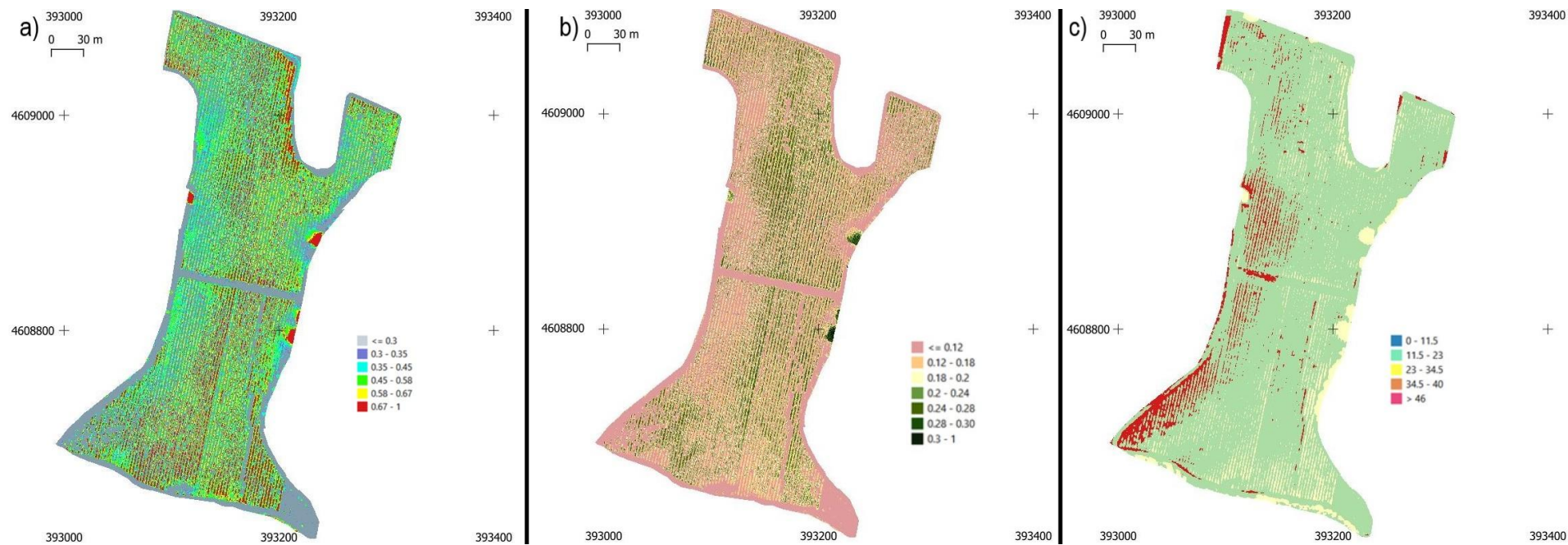


Figura 9: Mapas a) NDVI, b) NDRE y c) mapa térmico con la interpolación realizada. Sistema de referencia de coordenadas EPSG 25830

Una vez relacionados los tres mapas entre sí, se define el viñedo en 5 zonas diferentes:

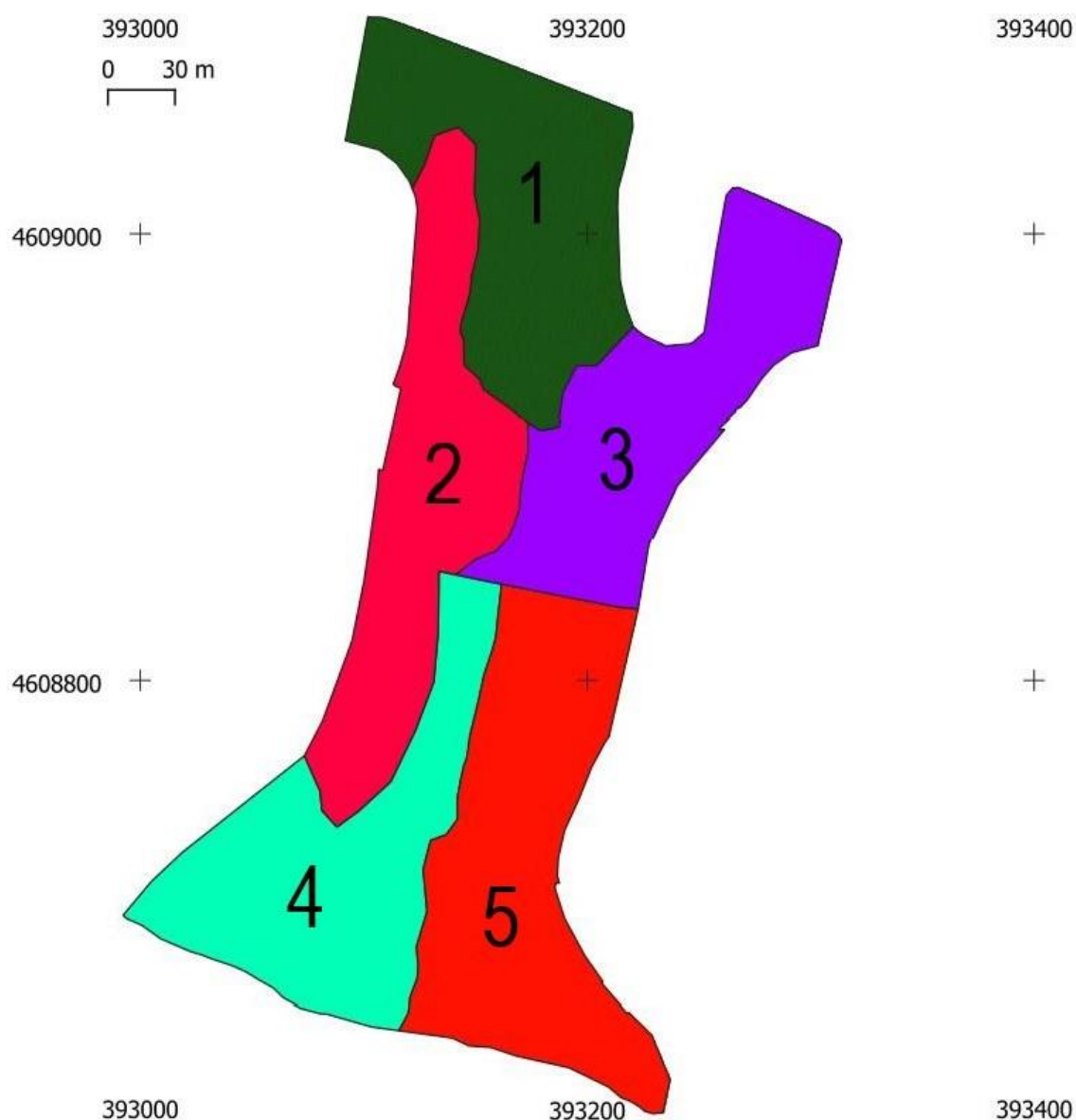


Figura 10: Propuesta de nueva zonificación del viñedo. Siendo: Zona 1 (Verde), Zona 2 (Rosa), Zona 3 (Morada), Zona 4 (Azul), Zona 5 (Roja). Sistema de referencia de coordenadas EPSG 25830

De esta forma, de cada zona, mediante la herramienta *zonal statistics* de QGIS, se computa la media y la varianza de cada uno de los índices de vegetación y de temperatura (Tabla 7). Con la herramienta “calculadora de campos”, se obtiene la superficie de cada una de las zonas nuevas en hectáreas (Tabla 6).

Tabla 6: Superficie, en hectáreas, de cada una de las nuevas suparcels

ZONA 1	1,2248736 ha
ZONA 2	1,19535684 ha
ZONA 3	1,19259732 ha
ZONA 4	1,4390531 ha
ZONA 5	1,58584855 ha

Reorganizando el índice de área foliar (LAI) calculado en campo y situándolo cada repetición (Tabla 6) en su nueva zona, se realiza una comparación entre valores reales obtenidos en viñedo y datos tomados mediante sensores.

Tabla 7: Media y varianza de cada índice de vegetación por zona

		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
NDVI	Media	0,489	0,415	0,441	0,443	0,451
	Varianza	0,028	0,020	0,026	0,036	0,035
NDRE	Media	0,155	0,119	0,139	0,134	0,137
	Varianza	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Temperatura	Media	39,666	41,887	39,126	38,225	40,349
	Varianza	16,336	13,683	13,346	17,458	21,955
LAI	Media	3,218	1,770	1,682	2,506	2,705
	Varianza	0,383	0,254	0,080	0,541	0,318
Índice de Ravaz	Media	4,523	4,423	7,904	6,192	3,868
	Varianza	3,47	2,92	6,95	3,87	0,18

Diferentes autores indican que hay una relación directa no lineal entre el NDVI y LAI (Myneni, et al., 2002). Esta relación se observa en las zonas en las que el NDVI es mayor. Por ejemplo, la Zona 1 posee la mayor media de NDVI y a la vez la mayor media de área foliar. Si se centra el punto de atención en la Zona 2, superficie donde el área foliar tiene el valor menor, se observa que el NDVI también es el mínimo de los valores medios.

En lo relacionado al vigor, se observa que se han corregido los valores promedios elevados. La única zona que presenta un valor superior a 7 es la Zona 3, en la que habrá que trabajar para reducir este vigor para intentar reducir este valor y que se acerque al equilibrio.

4.3. ASIGNACIÓN DE NUEVOS PUNTOS DE MUESTREO

Con el fin de una optimización en muestreos posteriores y un mejor manejo del viñedo, se propone eliminar antiguas zonas de muestreo reduciendo el número por zona, con el fin de obtener información estadística representativa. Para ello, se mantienen tres repeticiones de muestreo dentro de cada zona abarcando éstas toda la superficie de las mismas.

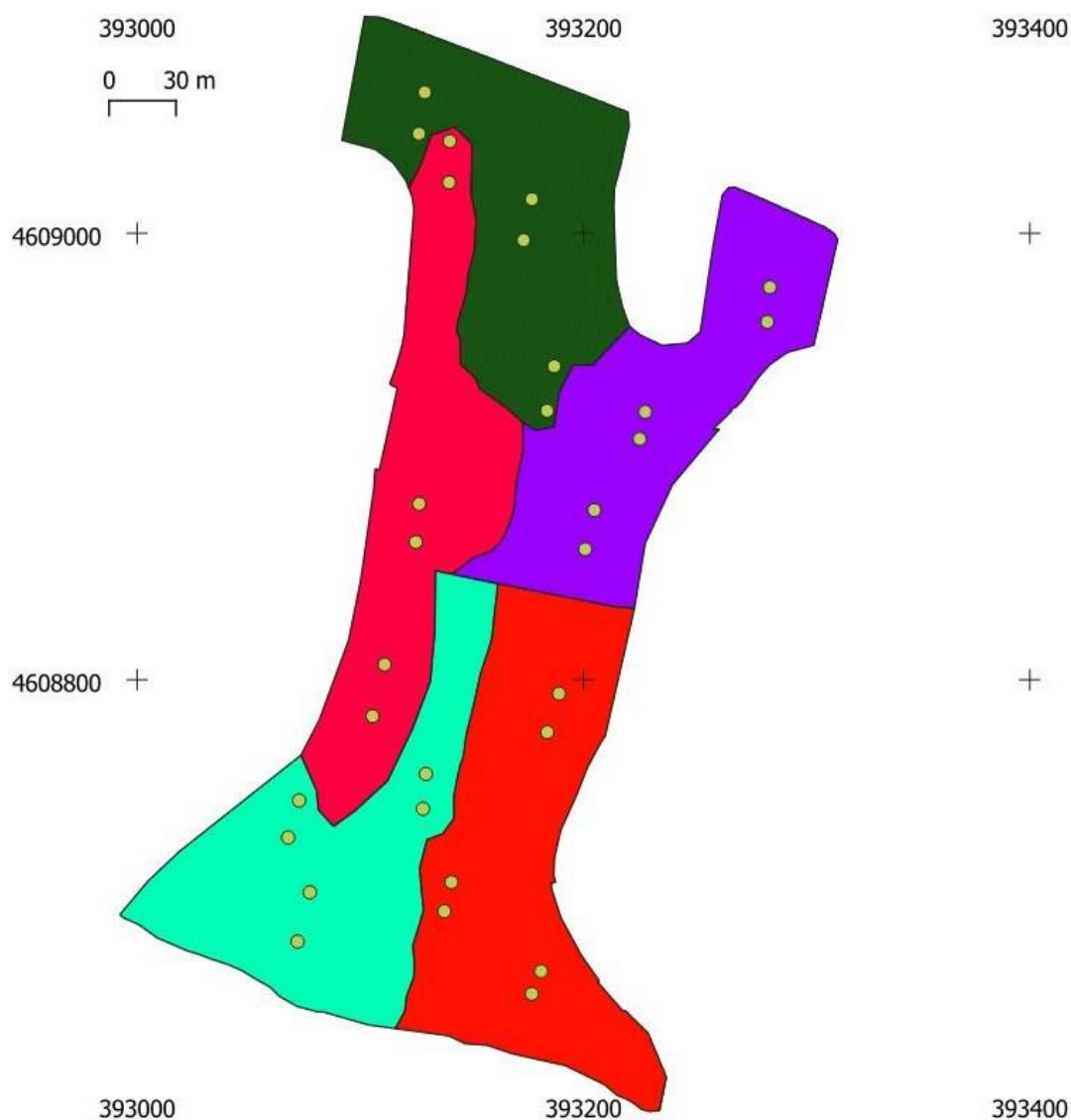


Figura 11: Zonas y repeticiones propuestas para la plantación. Sistema de referencia de coordenadas EPSG 25830

Las zonas se han seleccionado teniendo en cuenta la homogeneidad dentro de cada zona, tanto agronómica como de espectrometría, del viñedo. Cada zona está compuesta por 15 plantas sanas y adultas, formadas con dos brazos y ocho pulgares como estructura permanente.

Tabla 8: Repeticiones de muestreo en la nueva zonificación

ZONA 1	Butaca 1
	Patio 2
	Patio 3
ZONA 2	Butaca 2
	Tribuna 1
	Palco 1
ZONA 3	Balcón 2
	Platea 2
	Platea 3

	Anfiteatro 2
ZONA 4	Anfiteatro 3
	Anfiteatro joven 1
	Anfiteatro 1
ZONA 5	Palco 2
	Galería 2

Para verificar si estas zonas son las adecuadas se procederá a realizar durante los ciclos vegetativos posteriores los estudios de seguimiento fenológico de las nuevas zonas. Para ello, se calcularán los índices de Ravaz y de Área Foliar (LAI), se tomarán los índices de madurez, el tamaño de la baya y, en el momento de máxima expresión vegetativa, se calculará mediante el vuelo de una aeronave no pilotada, el índice de vegetación normalizada (NDVI), el índice en el borde rojo de la diferencia normalizada (NDRE) y un mapa térmico.

5. CONCLUSIONES

Como conclusión general, las medidas agronómicas realizadas y las fotografías aéreas tomadas han resultado ser herramientas muy prácticas para caracterizar el viñedo, de manera que han permitido su parcelación, pasando a agrupar el viñedo en zonas homogéneas.

Las conclusiones se pueden desglosar en las siguientes premisas:

- Se ha podido comprobar que existe una variabilidad de las zonas en las que se divide el viñedo actualmente. Estas han resultado ser no del todo homogéneas, así como algo redundantes.
- Se han propuesto 5 nuevas zonas que deberán ser estudiadas en los siguientes ciclos, con el fin de mantenerlas o modificarlas a lo largo de la vida de la plantación:
 - Zona 1, situada al Noroeste, es la zona en la que se han obtenido los índices de vegetación más elevada y la concentración de azúcares del mosto más elevada.
 - Zona 2, situada al Oeste, es la zona más cálida. Asimismo, posee los valores de vigor de vegetación más bajos.
 - Zona 3, situada al Noreste, es la que mayor desequilibrio presenta. Posee una producción elevada que se puede solventar mediante técnicas de cultivo, como por ejemplo aumentando la carga de poda o con operaciones de poda en verde como el aclareo de racimos.
 - Zona 4, situada al Suroeste, es una zona que muestra valores medios al conjunto de las zonas del viñedo.
 - Zona 5, situada al Sureste, a pesar de estar formada mayoritariamente por plantas con diferente edad y diferente material vegetal, ha mostrado un comportamiento similar al resto de la parcela. Se observa una adaptación de las plantas adecuada al terreno y a las técnicas de cultivo utilizadas, llegando a conseguir la calidad deseada.
- El comportamiento agronómico de las plantas, reafirmado con las imágenes espectrales, hace que el producto final obtenido se muestre más homogéneo, tal y cómo se intuía inicialmente.
- Con la nueva zonificación del viñedo se conseguirá trabajar vitícolamente de un modo bastante más preciso, lo que llevará a obtener un producto de más calidad que redundará en vinos considerablemente mejores.

6. BIBLIOGRAFÍA

- agroEstrategias. (Junio de 2010). <https://bit.ly/3yH0hh5>. Recuperado el Abril de 2021, de agroEstrategias: <https://bit.ly/3yH0hh5>
- Ancev, T., Whelan, B., McBratney, A., & Stafford, J. (2005). Evaluating the benefits from precision agriculture: The economics of meeting traceability requirements and environmental targets. *Precis Agric*, 5:985–992.
- az3oeno. (29 de Abril de 2019). *La concepción del vino con los pies en la tierra: Agroenología Viva*. Recuperado el Mayo de 2021, de oz3oeno. Enología Viva: <https://bit.ly/3ouo7lc>
- Baeza, P. (1994). *Caracterización ecofisiológica y evaluación agronómica de diferentes sistemas de conducción del viñedo (Vitis vinifera L.) en regadío*. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: <https://bit.ly/3wKAGBQ>
- Baeza, P. (2017). *Guía de campo de viticultura*. (M. de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente, Ed.) Madrid: editorial agrícola.
- Baeza, P., Bartolomé, M., Sotes, V., Ruiz, C., & Lissarrague, J. (1999). Diferencias de la superficie foliar de cuatro sistemas de conducción de la vid y sus consecuencias en el desarrollo y la producción. *Investigación Agraria. Producción y protección de los vegetales.* , 173-190.
- Baillod, M., & Baggiolini, M. (1993). Les stades repères de la vigne. *Rvitic. Arboric. Hortic.*, 25 (1), 7-9.
- Balda, P. J. (2014). *Identificación y caracterización completa (ampelográfica, agronómica, enológica, polifenólica, aminoácida, aromática y sensorial) de variedades tintas minoritarias de la D.O.Ca. Rioja*. [Tesis Doctoral]. Universidad de la Rioja
- Baluja, J., Diago, M. P., López-Davalillo, J., Balda, P., & Tardaguila, J. (2010). Estimación de la variabilidad espacial del NDVI del viñedo mediante un sensor proxy. Establecimiento de unidades de manejo diferenciado. *VII Foro mundial del vino*, 1-8. Retrieved from <https://bit.ly/3bEjjdW>
- Barajas, E. (2010). *Comportamiento fisiológico y agronómico y calidad de la uva de la variedad tempranillo, en función de la distancia entre cepas, en el valle del río Duero* [Tesis Doctoral]. Universidad de Valladolid.
- Bartolomé, M. C. (1993). *Respuestas de la vid (Vitis Vinífera L.) a condiciones de estrés hídrico: efectos sobre las relaciones agua-planta, el crecimiento, la producción, y la calidad (cv. Tempranillo)*. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Blanco, J. A. (2013). *Aclareo mecánico en viticultura: efectos sobre los componentes de la producción y la composición de la uva y el vino*. [Tesis Doctoral]. Universidad de La Rioja
- Bodegas Comenge. (7 de Noviembre de 2019). *Los suelos de las parcelas de Bodegas Comenge*. Recuperado el Mayo de 2021, de Bodegas Comenague: <https://bit.ly/2T4cnR3>

- Boiarskii, B., & Hasegawa, H. (2019). Comparison of NDVI and NDRE Indices to Detect Differences in Vegetation and Chlorophyll Content. . *Journal of mechanics of continua and mathematical sciences*, 20-29.
- Bramley, R. G., & Hamilton, R. P. (2007). Terroir and precision viticulture. Are they compatible? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* , 1:1-8.
- Candolfi-Vasconcelos, M. C., Candolfi, M. P., & Koblet, W. (1994). Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissues into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in *Vitis vinifera* L. *Springer*, 192(4), 567-573.
- Carbonneau, A. (1976). Analyse de la croissance des feuilles du sarment de vigne: estimation de sa surface foliaire par échantillonnage. *Coïnnaisance Vigne Vin*(2), 141-159.
- Cedar Lake Ventures, Inc. (Febrero de 2017). *Weather Spark*. Recuperado el Mayo de 2021, de <https://bit.ly/3cmLkHd>
- de Cara, J. A. (2009). Recuperado el Marzo de 2021, de Características agroclimáticas de la vid (*Vitis vinifera* L. subsp. vinífera): <https://bit.ly/3tUHZpf>
- EOS. (Octubre de 2020). *Diferencia normalizada de borde rojo*. Recuperado el Marzo de 2021, de Earth Observing System: <https://bit.ly/3rksQvx>
- García, J., Balda, P., Sancha, J., & Martínez de Toda, F. (2014). Un nuevo enfoque sobre la adaptación de las variedades al cambio climático: el desacoplamiento entre antocianos y azúcares de la uva. *I Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la SECH - Retos Actuales de I+D en Viticultura* (págs. 163-168). Logroño: ICVV.
- Hidalgo, J., & Hidalgo, L. (2011). *Tratado de viticultura*. Madrid: MundiPrensa.
- Inzunza, J. C. (2005). Clasificación de los climas de Köppen. *Ciencia...Ahora*, 15:1-14. Obtenido de <https://bit.ly/3fcMTJI>
- Lasheras, J., León, J. M., & Ramírez, P. (Marzo de 2016). *Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera*,. Recuperado el Abril de 2021, de <https://bit.ly/3uEfQmk>
- Martínez, F. (2011). *Claves de la viticultura de calidad. Nuevas técnicas de estimulación y control de la calidad de la uva en el viñedo* (2a. edición revisada y ampliada ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- Martorell, A. (Mayo de 2017). *Geolnova*. Recuperado el Marzo de 2021, de <https://bit.ly/31iNxxw>
- Montesinos, S., & Fernandez, L. (2005). «BACCHUS» *Methodological approach for vineyard inventory and management*. European Commission: COMPOBELL S.L.
- Myneni, R.B., Hoffman, S., Knyazikhin, Y., Privette, J.L., Glassy, J., Tian, Y., Wang, Y., Song, X., Zhang, Y., Smith, G.R., Lotsch, A., Friedl, M., Morisette, J.T., Votava, P., Nemani, R.R., Running, S.W. (2002). Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Elsevier*, 214–231.

- Pérez, C. (2011). *Estudio comparativo de la respuesta agronómica y enológica de los cultivares tintos de vid (Vitis vinifera L.) Mencía, Pinot Noir y Tempranillo en dos situaciones de alimentación hídrica. [Trabajo Fin de Carrera]*, Universidad Politécnica de Madrid.
- Pérez, J. (2006). Viticultura de precisión aplicada al viñedo. *Revista de Enología*, 2: 1-8.
- Pérez, M. A. (Octubre de 2002). *Densidad de plantación y riego: aspectos ecofisiológicos, agronómicos y calidad de la uva en cv. TEMPRANILLO (Vitis vinifera L.)*. [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rodríguez-Pérez, J. R., Riaño, D., Carlisle, E., Ustin, S. L., & Smart, D. R. (2007). Evaluation of Hyperspectral Reflectance Indexes to Detect Grapevine Water Status in Vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58.
- Sagan, V., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Eblimit, K., Peterson, K. T., Hartling, S., Esposito, F., Khanal, K., Newcomb, M., Pauli, D., Ward, R., Fritschi, F., Shakoor, N., Mockler, T. (2019). UAV-Based High Resolution Thermal Imaging for Vegetation Monitoring, and Plant Phenotyping Using ICI 8640 P, FLIR Vue Pro R 640, and thermoMap Cameras. *Remote Sensing*, 11(3)-330.
- SenseFly. (Agosto de 2014). *MultiSPEC 4C camera. User Manual*. Recuperado el Mayo de 2021, de SenseFly Ltd: <https://bit.ly/3fxJR1z>
- SenseFly. (2014). *User Manual multiSPEC 4C camera*. Recuperado el Mayo de 2021, de SenseFly: <https://bit.ly/3fxJR1z>
- senseFly. (Febrero de 2021). *eBee Ag. Dron de Ala Fija*. Recuperado el Mayo de 2021, de SenseFly: <https://bit.ly/3fxLkVD>
- Smart, R., & Robinson, M. (1992). *Sunlight into wine*. Adelaide, Australia: Winetitles.
- Smith, L., & Whigham, P. (1999). Spatial Aspects of Vineyard Management and Wine Grape Production. *Spatial Information Research Centre*, 1-11.
- TecniTop. (Agosto de 2017). *Cómo reclasificar los índices de temperatura absoluta de la cámara de senseFly thermoMAP con QGIS*. Recuperado el Mayo de 2021, de TecniTop: <https://bit.ly/3u7H6cB>
- Tobes, A. (Septiembre de 2020). *Situación del viñedo - Informe 3/20*. Recuperado el Mayo de 2021, de Ribera del Duero: <https://bit.ly/3fQloWG>
- Toribio, G. (Octubre de 2019). *NDVI, ¿qué es y para qué sirve?* Recuperado el Mayo de 2021, de Cursos de Teledetección. com: <https://bit.ly/2Th4c3S>
- Urretazcaya, I., Santesteba, L. G., Tisseyre, B., Guillaume, S., Miranda, C., & Royo, J. B. (2014). Oenological significance of vineyard management zones delineated using early grape sampling. *Precision Agric*, 15:111-129. Retrieved from <https://bit.ly/3bSoelq>
- Vine to Wine Circle. (09 de Enero de 2014). *Influencia del suelo en la calidad de los vinos*. Recuperado el Mayo de 2021, de Vine to Wine Circle: <https://bit.ly/2Sc1SLg>
- Viveros Barber. (13 de Junio de 2020). *Accesorios Vendimias*. Recuperado el 18 de Abril de 2021, de <https://bit.ly/2SfM3mF>

Yuste, J. (1995). *Comportamiento fisiológico y agronómico de la vid (Vitis vinifera L.) en diferentes sistemas de conducción en secano y regadío*. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.

Yuste, J. (Enero de 2001). *Sistema de conducción: técnica de cultivo en viticultura*. Vida Rural, 121.

7. ANEXOS

ANEXO I

Tabla 9.: Analítica completa de suelo antes de realizar la plantación

		cm	Textura	Arena %	Limo %	Arcilla %	pH	Conductividad mmhos/cm	M.O. %	Fósforo: (Met. Olsen) (ppm)	Potasio ppm	Magnesio ppm	Carbonatos %	Caliza activa %	Calcio cambiable ppm	Sodio cambiable ppm	Boro ppm
PATIO	Ap	30	Franca	50	28	22	8,2	0,82	1,4	40	342	300	12,38	4,75		58	0,68
	A1p	90	Franco Arcillo arenosa	66	12	22	8,7	0,43	0,9	15	264	299	4,77			55	0,65
	B	>150	Areno Limoso	86	4	10	9,1	0,26	0,4	2	49	203	Ç			55	0,33
BUTACA	Ap	25	Franco Arcillosa	43	26	31	8,4	0,19	0,5	2	164	287	7,31			58	1,78
	A1p	80	Franco arcillosa	45	24	31	8,6	0,14	0,5	6	173	373	0,54			78	0,6
	B	145	Franco arcillosa	39	30	31	8,7	0,17	0,7	3	132	636	26,62	15,13		155	0,28
	C	>200	Franca	46	40	14	8	0,86	0,5	2	162	779	24,54	13,38		130	0,48
TRIBUNA	Ap	20	Franca	46	28	26	8,6	0,21	1,5	28	273	328	16,77	10,25		85	1,13
	A1p	50	Franca	46	28	26	8,6	0,24	1,3	22	135	313	23,92	12		75	1,15
	B	130	Franco arcilloso arenoso	64	14	22	8,5	0,26	0,4	3	150	294	5,23			83	0,48
	C	>200	Franco arcillosa	38	32	30	8,6	0,29	0,4	5	138	453	19	8		118	0,65
PLATEA	Ap	20	Franco Limoso	38	58	4	8	1,82	1,3	31	287	211	12	8,25		60	1,25
	A1p	50	Franco-Limoso	44	50	6	8	2,01	0,8	4	150	219	14	13,25		73	0,33
	B	90	Franco Limoso	40	56	4	8	2,13	0,7	4	169	302	13,77	11,75		95	0,48

	C	>200	Franco-Limoso	44	54	2	7,9	2,17	1,0	4	179	395	8,77			98	0,35
BALCÓN	Ap	40	Franca	32	46	22	8,3	0,41	1,1	30	201	338	24,38	11		78	1,13
	A1p	75	Franca	34	48	18	8,4	0,38	0,6	3	92	399	24,08	5,38		135	1,28
	B	125	Franca	28	50	22	8,4	0,18	0,5	3	92	406	25,15	5,88		140	1,05
	C	>200	Franco Limoso	36	52	12	8,5	0,14	0,4	3	71	389	31,54	2,5		80	1
PALCO	Ap	30	Franco Arenosa	65	32	3	8	1,56	0,7	4	136	181	8			90	0,53
	A1p	70	Franco Arenosa	57	40	3	8	1,88	0,6	5	168	196	9			83	0,15
	B	>200	Franco arcillosa	45	28	27	8,2	0,87	0,7	17	395	295	7,62			90	0,55
GALLERIA	Ap	25	Franco Arcillosa	40	28	32	8,4	0,36	0,9	37	422	246	12,15	6,63		88	1,5
	A1p	60	Franco arcillosa	40	32	28	8	1	0,9	29	382	284	9,62			85	2,58
	B	120	Franco Arcillo Arenosa	52	26	22	8,3	0,56	0,5	5	244	412	3,92			120	0,58
	C	>200	Franco arenosa	65	22	13	8,3	0,7	0,7	2	118	285	13,92	4,13		98	0,1
ANFITHEATRO	Ap	30	Franco arcillosa	40	32	28	8,3	0,32	1,6	26	302	311	12,85	5,25		78	0,65
	A1p	75	Franco arcillosa	38	32	30	8,3	0,36	1,6	6	97	293	10,31	5,13		105	1,43
	B	115	Franco arcillosa	38	28	34	8,4	0,38	0,7	4	135	363	17,38	8,88		153	1,05
	C	>200	Franco Arcilloso Arenoso	48	26	26	8,8	0,29	0,5	5	139	393	19,69	12,38		113	0,95