

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

## RELACIONES ENTRE PARÁMETROS QUÍMICOS DETERMINANTES DE LA CALIDAD DE LA UVA Y EL NDVI, PARA LA ESTIMACIÓN DE LA FECHA DE VENDIMIA

*Autor: David Ezquerro López*

*Director: Fernando Pérez Cabello*

**Máster Universitario en  
Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del  
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

**Noviembre 2016**



**Universidad**  
Zaragoza

1542

**Departamento de Geografía  
Ordenación del Territorio**





## RESUMEN

*El uso de la viticultura de precisión está cada vez más extendido entre los agricultores del sector, propiciando la reducción de esfuerzos por parte del personal, la obtención de vinos de mejor calidad, e incluso la estimación de parámetros de campo a partir de imágenes de satélite.*

*En el presente trabajo, se llevó a cabo en primer lugar, un análisis multitemporal del NDVI promedio de siete variedades de uva, con el que se pudo ver la evolución del vigor vegetal durante el periodo de maduración de los racimos. Las gráficas obtenidas, mostraron el estancamiento del vigor que experimentan las cepas en este periodo, ocasionado por la modificación de la inversión energética de la planta hacia las bayas. Además, en los años 2013 y 2016, se apreció el alcance del vigor máximo de las cepas con la llegada del verano.*

*Por otro lado, mediante el estudio de la relación del grado Baumé y la acidez total, con respecto al NDVI, a través de barras de error y análisis Anova, se determinó la existencia de ciertos patrones correlativos. Concretamente, entre el grado y el NDVI en dos de los años de estudio para el Tempranillo, la relación resultó directa. Por otra parte, en el caso de la Garnacha, se observó una correlación inversa entre la acidez y el vigor vegetal, aunque los resultados fueron menos concluyentes. El resto de variedades no ofrecieron patrones específicos.*

*Por ello, a pesar de la existencia de cierta correlación entre los parámetros, no se consideró factible la estimación de estos a través del vigor vegetal, debido a la escasez de resultados positivos, a los múltiples factores influyentes en los parámetros estudiados, y a los antecedentes observados en la bibliografía.*

**Palabras clave:** *Agricultura de precisión, NDVI, variedad, vigor vegetal, Anova, muestra, calidad, mosto, Teledetección.*

## ABSTRACT

*The use of precision viticulture is increasingly widespread among farmers in the sector, leading to reduced staffing, better quality wines, and even the estimation of field parameters from satellite imagery.*

*In the present work, a multidimensional analysis of the average NDVI of seven grape varieties was carried out in the first place, with which it was possible to see the evolution of the vegetal vigor during the ripening period of the clusters. The graphs obtained, show the stagnation of the vigor experienced by the strains in this period, caused by the modification of the energy investment of the plant towards the berries. In addition, in the years 2013 and 2016, the extent of maximum vigor of the strains was appreciated with the arrival of summer.*

*On the other hand, through the study of the relation of the Baumé degree, and the total acidity, respect to the NDVI, through the bars of error and Anova analysis, determine the existence of certain correlative patterns. Specifically, for Tempranillo, the relationship was direct, between grade and NDVI in two of the years of study. On the other hand, in the case of Garnacha, an inverse correlation between acidity and plant vigor was observed, although the results were less conclusive. The other varieties did not offer specific patterns.*

*In spite of the existence of a certain correlation between the parameters, was not considered feasible the estimation of these through plant vigor, due to the scarcity of positive results, the multiple factors influencing the parameters studied, and the antecedents observed in the bibliography.*

**Key Words:** *Precision agriculture, NDVI, variety, plant vigor, Anova, sample, quality, grape juice, Remote Sensing.*

# ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Teledetección .....	2
1.1.1. Concepto de Resolución .....	3
1.2. Sistemas de Información Geográfica .....	4
1.3. Concepto de calidad en el ámbito de la vinificación.....	4
1.3.1. Índices/cocientes de vegetación.....	4
1.3.2. NDVI .....	5
1.3.3. Fisiología de la vid y control de la maduración de la uva. ....	5
2. OBJETIVOS .....	7
3. ZONA DE ESTUDIO .....	8
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
4.1. Elaboración de la base de datos de los viñedos.....	11
4.2. Obtención de imágenes Landsat.....	11
4.3. Toma de muestras de los viñedos.....	12
4.4. Extracción del mosto y análisis químico.....	14
4.5. Preparación de los datos para su estudio.....	14
4.6. Análisis de los datos.....	15
4.6.1. Análisis de la tendencia anual del NDVI promedio por variedad de uva.....	15
4.6.2. Diferencias en los valores de NDVI en función de los parámetros químicos. ....	15
5. RESULTADOS.....	16
5.1. Análisis de la tendencia intra-anual de los valores de NDVI por variedad.....	16
5.2. Relación entre los valores de NDVI y, el grado <i>Baumé</i> y la acidez total .....	18
5.2.1. Distribución del NDVI por categorías de grado <i>Baumé</i> .....	18
5.2.2. Análisis de la relación entre los valores de NDVI y la acidez total .....	20
5.3. Test Anova .....	22
5.3.1. Análisis estadístico de la distribución del NDVI en categorías de grado <i>Baumé</i> .....	22
5.3.2. Análisis estadístico de la distribución de valores de NDVI en categorías de acidez ....	25
6. DISCUSIÓN .....	26
6.1. Tendencia del NDVI por variedad .....	26
6.2. Relación NDVI-grado <i>Baumé</i> .....	27
6.3. Relación NDVI-acidez total .....	28
7. CONCLUSIONES .....	29
8. AGRADECIMIENTOS .....	29
9. BIBLIOGRAFÍA .....	30
Anexo 1: Gráficos de barras de error por variedades. Análisis correlativo NDVI-grado <i>Baumé</i> . .	34
Año 2013.....	34
Año 2014.....	37

Año 2015.....	39
Año 2016.....	43
Anexo 2: Gráficos de barras de error por variedades. Análisis correlativo NDVI-acidez total. ....	46
Año 2013.....	46
Año 2014.....	49
Año 2015.....	51
Año 2016.....	55
Anexo 3. Resultados de los test Anova de la variedad Tempranillo. Análisis del NDVI y del grado <i>Baumé</i> .....	57
Año 2013.....	57
Año 2014.....	60
Año 2015.....	61
Año 2016.....	62
Anexo 4. Resultados de los test Anova de la variedad Garnacha. Análisis del NDVI y de la acidez total.....	63
Año 2013.....	63
Año 2014.....	63
Año 2015.....	64
Año 2016.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general sobre la aplicación de viticultura de precisión en viñedos.....	2
Figura 2. Evolución de un racimo de uva tinta. Cambios físicos que experimenta.....	7
Figura 3. Variedades y localización de la finca Viñas de Rioja. ....	8
Figura 4. Variedades y localización de la finca La Montesa. ....	9
Figura 5. Variedades y localización de la finca de Corella.....	9
Figura 6. Sectores de muestreo por fincas de estudio.....	13
Figura 7. Resumen del tratamiento de las muestras.....	14
Figura 8. NDVI promedio de las variedades de estudio. Año 2013.. ....	16
Figura 9. NDVI promedio de las variedades de estudio. Año 2014.. ....	17
Figura 10. NDVI promedio de las variedades de estudio. Año 2015.. ....	17
Figura 11. NDVI promedio de las variedades de estudio. Año 2016. ....	17
Figura 12. Gráficos de barras de error obtenidos para la variedad Tempranillo. Año 2014 .....	19
Figura 13. Gráficos de barras de error obtenidos para la variedad Tempranillo. Año 2015 .....	20
Figura 14. Gráficos de barras de error obtenidos para la variedad Garnacha. Año 2014.....	21
Figura 15. Gráficos de barras de error obtenidos para la variedad Garnacha. Año 2016.....	22
Figura 16. Desarrollo temporal del pámpano de la vid.....	27
Figura 17. Crecimiento del pámpano.....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las imágenes seleccionadas. ....	11
Tabla 2. Codificaciones de las variables grado <i>Baumé</i> y acidez total. ....	15
Tabla 3. Descriptivos obtenidos tras el test Anova. Variedad Tempranillo. Año 2014. ....	23
Tabla 4. Resultados del test Anova para la variedad Tempranillo. Año 2014.....	23
Tabla 5. Descriptivos obtenidos tras el test Anova. Variedad Tempranillo. Año 2015. ....	24
Tabla 6. Resultados del test Anova para la variedad Tempranillo. Año 2015.....	24
Tabla 7. Descriptivos obtenidos tras el test Anova. Variedad Garnacha. Año 2014.....	25
Tabla 8. Resultados del test Anova para la variedad Garnacha. Año 2014.....	25
Tabla 9. Descriptivos obtenidos tras el test Anova. Variedad Garnacha. Año 2016.....	26
Tabla 10. Resultados del test Anova para la variedad Garnacha. Año 2016.....	26

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años 2000, se ha producido un enorme desarrollo de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIGs) en el ámbito agrícola, afectando sobre todo a la agricultura extensiva. Este enorme avance tecnológico, ha dado lugar a la aparición de un nuevo término agronómico, que hace referencia al conjunto de técnicas de gestión de las parcelas cultivadas, teniendo en cuenta la variabilidad inter e intra-cultivo: La Agricultura de Precisión. Esta nueva percepción de la agricultura, mediante el uso de herramientas de posicionamiento y localización espaciales, permite la obtención de una mayor producción agrícola, con mayor calidad y a menor coste, minimizando además de forma considerable los impactos al medio ambiente (Martínez-Casasnovas & Bordes, 2005; Quezada, 2006).

Concretamente, el campo de la viticultura ha sido uno de los más beneficiados en cuanto a dicho desarrollo tecnológico se refiere, debido entre otras cosas, a las crecientes exigencias mercantiles dentro de este sector, al endurecimiento de la normativa, a la reducción del consumo de vino de mesa (Ausín & Rodrigues, 2015) y como no, al peso del sector en sí.

La importancia de éste a nivel regional, nacional, europeo e incluso mundial es una realidad desde una perspectiva ambiental, cultural, social y económica. En términos numéricos, atendiendo a la estimación de la Organización Internacional de la Vid y el Vino (OIV), la producción de vino mundial en 2015 se estimó en 275.7 millones de hectolitros, lo que supuso un incremento del 2% con respecto al año anterior. A nivel nacional, España ocupa el tercer puesto (36.7 millones de hectolitros/año) en cuanto a la producción anual de vino, por detrás de Italia y Francia. En cambio, encabeza la lista de los países con mayor superficie de viñedo a nivel mundial, y por supuesto europeo (Diago Santamaría, 2010; ICEX, 2015).

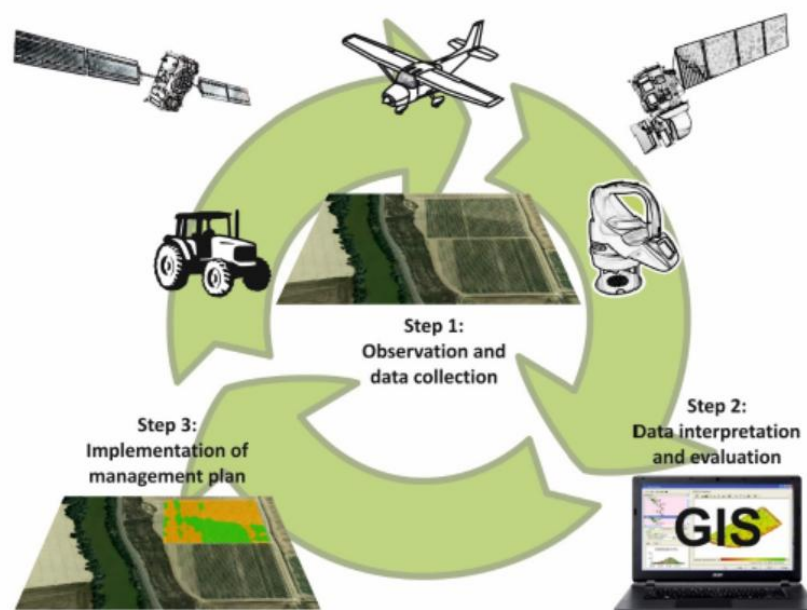
El cultivo de la vid, se extiende por todas las Comunidades Autónomas españolas, siendo Castilla La Mancha la que mayor superficie posee. Pero en proporción a la superficie cultivada, La Rioja es la Comunidad con mayor extensión de viñedo. En España encontramos 73 zonas de producción de vinos de calidad producidos en región determinada (v.c.p.r.d.), de las que la mayor parte son Denominaciones de Origen (D.O.) y solo 2 Denominaciones de Origen Calificadas (D.O.Ca), Rioja y Priorato. La D.O. Ca Rioja, es un referente a nivel mundial y produce 272 millones de litros de calidad reconocida (D.O.Ca Rioja, 2015).

Tradicionalmente, las labores vitícolas como pueden ser la poda, la aplicación de tratamientos fitosanitarios o las fertilizaciones, se realizaban de forma uniforme en los viñedos, sin tener en cuenta la localización espacial dentro de los mismos, ni la heterogeneidad de los factores influyentes en la producción, como pueden ser los de tipo biótico (patógenos, malas hierbas, etc.) o abiótico (textura, profundidad y fertilidad del suelo) (Arnó et al., 2009; García-Torres et al., 2009). Pero gracias a esta evolución tecnológica, han surgido múltiples aplicaciones entre las que se encuentra la Teledetección, que posibilitan, entre otras cosas, el establecimiento de unidades de manejo mediante el conocimiento de la variabilidad intra-parcelaria, o la realización de estudios multitemporales en los cultivos. Todo ello, para conseguir prometedoros objetivos como: el conocimiento de la evolución o desarrollo temporal del viñedo, una mejor organización de las prácticas de cultivo, la estratificación de muestreos de maduración, o una vendimia selectiva (Martínez-Casasnovas et al., 2010; Santesteban et al., 2010). Esta última opción, que permite separar la cosecha atendiendo a diferencias de vigor de la planta, propiedades de los suelos y/o calidad de la uva, parece ser la más aceptada entre los viticultores, puesto que garantiza la obtención de vinos de mejor calidad (Bramley & Lamb, 2003).

En lo referente al uso de la viticultura de precisión, las regiones de California y Australia se consideran pioneras. En el primer caso, el desarrollo de este campo se orientó al uso de sensores remotos (Johnson et al., 1996; Nemani et al., 2001) y los primeros resultados fueron obtenidos por los autores Wample et al. (1999). A diferencia de Australia, donde Bramley y Proffitt (1999) fueron los primeros en poner en práctica esta técnica, prosperando más la adquisición de datos a través de monitores de rendimiento con posicionamiento GPS instalados en las propias cosechadoras (Caramés, 2015; Montesinos et al., 2007).

La aplicación de este nuevo enfoque en el manejo de los viñedos, constituye un ciclo continuo basado en tres pasos generales (Bramley, 2001):

1. **Observación y toma de datos:** esta etapa consiste en la obtención de datos de la viña mediante el uso de sensores remotos (Proffitt et al., 2006).
2. **Interpretación de los datos y evaluación:** paso en el que la información obtenida es analizada y estudiada mediante el uso de los SIG, pudiendo así realizar los análisis espaciales de interés e incluso la generación de sub-zonas dentro del viñedo (Bramley, 2010).
3. **Aplicación del plan de gestión:** la información capturada y estudiada se emplea para el correcto manejo de los viñedos, adoptando diferentes estrategias para cada sub-área obtenida. Es recomendable el estudio del viñedo durante un mínimo de dos años antes de adoptar cambios relevantes en el manejo del mismo (Proffitt et al., 2006).



**Figura 1.** Esquema general sobre la aplicación de viticultura de precisión en viñedos. Fuente: (Caramés, 2015).

Los beneficios a obtener con la viticultura de precisión por parte del agricultor son varios: incremento de la rentabilidad del cultivo gracias a la reducción de las labores, uso de maquinaria, productos químicos, agua, energía, etc.; reducción de la emisión de pesticidas y nutrientes al medio; y una optimización de la producción (Tey & Brindal, 2012).

### 1.1. Teledetección

Haciendo referencia al concepto previamente introducido, la Teledetección (también conocida por el término anglosajón “*Remote Sensing*”), podría definirse como la técnica, o conjunto de ellas, que permiten la obtención de información procedente de los objetos localizados en la superficie terrestre, mediante el uso de sensores aéreos o espaciales, sin la existencia de contacto físico entre ellos (Pérez & Muñoz, 2006).

La posibilidad de este fenómeno radica en la existencia de interacciones físicas entre dichos objetos observados y el sensor remoto empleado. Estas interacciones, son debidas a la presencia de radiación electromagnética, ya sea procedente de la radiación solar, de la emisión del propio objeto observado, o de un haz artificial propio de sensores de tipo activo (como el radar). Cada objeto o sistema posee una respuesta espectral propia, condicionada por factores externos (ambientales) y por sus características físico-químicas en el momento de la toma de la imagen. Ésta, se conoce como firma espectral (Castaño et al., 1994; Pérez & Muñoz, 2006). Por tanto, podría decirse que el objetivo fundamental de la Teledetección es identificar los objetos, cubiertas y fenómenos de la superficie terrestre, a partir de su firma espectral y cambios temporales, apoyándose en determinadas leyes y principios físicos resumibles en los siguientes puntos (Castaño et al., 1994):



- La radiación electromagnética como fuente energética.
- La interacción de esta con la atmósfera.
- La interacción de la misma con los objetos de la superficie de la tierra.
- La captación de información a través de sensores.

A parte, también cuenta con el pre-procesamiento y tratamiento de las imágenes, además de su posterior análisis por parte del usuario (Castaño et al., 1994; Pérez & Muñoz, 2006).

El proceso de Teledetección, consta de los siguientes componentes fundamentales (Chuvieco, 2010):

- **Fuente de energía:** origina la radiación electromagnética que capta posteriormente el sensor. Puede tratarse de una fuente externa a este (Teledetección pasiva), o que sea el propio sensor el emisor del haz energético (Teledetección activa).
- **Cubierta terrestre:** formada por diferentes masas de vegetación, agua, zonas urbanas, etc. que reflejan o emiten energía en función de sus características.
- **Sensor:** compuesto por la plataforma y por el sensor que esta transporta. Su función versa en recibir, codificar y grabar la energía procedente de las cubiertas previamente mencionadas.
- **Sistema de recepción:** es donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un determinado formato y se distribuye a los interesados.
- **Intérprete:** convierte los datos en información temática, de forma visual o digital.
- **Usuario:** analiza el resultado de la interpretación.

La radiación electromagnética, tras ser reflejada por los objetos y posteriormente recibida, procesada y almacenada por los sensores remotos, se obtienen finalmente productos susceptibles de ser adquiridos por el usuario.

Estos, se encuentran formados por abundantes y determinadas regiones del espectro, que posibilitan la obtención de mucha más información de la que el ser humano es capaz de adquirir con sus ojos (Chuvieco, 2010). Los productos más usados en este tipo de prácticas, son las imágenes aéreas y satelitales, debido a su conveniencia en cuanto a disponibilidad y escala de trabajo. Ambos tipos de imágenes, poseen las ventajas de poder observar zonas de interés de difícil acceso y de gran complejidad en cuanto al relieve se refiere; ofrecen una cobertura periódica de la superficie y permiten obtener una visión global de amplios espacios (Castaño et al., 1994; Quezada, 2006). Por tanto, el seguimiento de cultivos y plantaciones mediante visitas al terreno y muestreos, están siendo sustituidos por el procesamiento de imágenes remotas, mediante el uso de softwares específicos (García-Torres et al., 2009).

En estos últimos años, numerosos autores han mostrado las múltiples y variadas aplicaciones de la Teledetección, como son Bramley et al. (2005) en cuanto a predicciones de cosecha; Delgado et al. (2008) en cuanto a la planificación de fertilización nitrogenada; o Thorp & Tian (2004) en el mapeo de rodales para el uso de herbicidas.

Estas novedosas técnicas, son muy prometedoras a corto-medio plazo, puesto que están en continuo desarrollo e implementación. Lo que posibilitará, el desempeño de una actividad agrícola mucho más cómoda, precisa, y por supuesto productiva y de calidad.

A la hora de emplear un producto/imagen procedente de sensores remotos comienza a cobrar importancia un concepto clave, la resolución.

### 1.1.1. Concepto de Resolución

Según determinados autores, la resolución de un sensor se podría definir como su habilidad para la discriminación de información de detalle (Estes & Simonett, 1975). Entendiéndose esta última como no solo el detalle espacial que ofrece el sensor, sino también el número y anchura de bandas que posee, periodo de revisita, y capacidad de distinción de variaciones en la energía que detecta (Campbell, 1996). Todas estas dimensiones, consideradas de vital importancia para la discriminación de cubiertas entre otras cosas, permiten definir diversas manifestaciones del concepto resolución. Las más usuales en la literatura son las siguientes (Chuvieco, 2010):

- *Resolución espacial*: término que hace referencia al objeto más pequeño capaz de ser distinguido en una imagen. Se mide en metros sobre el terreno, o milímetros en la imagen y depende varios factores: altura orbital, longitud focal y número de detectores que posee. Marca de alguna forma el nivel de detalle en la imagen. En Teledetección se puede definir también como el tamaño final del pixel de la imagen (Best & León, 2006).
- *Resolución temporal*: periodo de revisita o frecuencia de cobertura que proporciona un sensor. Ésta, depende de las características orbitales de la plataforma que porta el sensor (altura, velocidad e inclinación), así como del propio diseño del mismo.
- *Resolución radiométrica*: capacidad que muestra un sensor para detectar variaciones en la radiancia espectral que registra, o niveles de codificación que es capaz de discriminar un sensor. Esta dependerá del diseño del mismo. Actualmente, la mayor parte de los equipos ofrecen 256 niveles de grises por pixel (8bits), pero hay sistemas como NOA-AVHRR que trabajan con 1024 niveles (10 bits), o IKONOS con 2048 (11bits).
- *Resolución espectral*: se asocia al número y anchura de bandas que puede discriminar un sensor. Cuanto mayor sea el número de bandas discriminadas por estos, más fácil resultará la interpretación y caracterización espectral posterior de las cubiertas de sus productos. Este número depende únicamente de los objetivos de diseño.

## 1.2. Sistemas de Información Geográfica

Como complemento a las técnicas de Teledetección, que permiten la administración y gestión de la información adquirida del territorio, se encuentran los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Best & León, 2006). Junto con ésta primera, constituyen una fuente de información de gran valor para la gestión de los viñedos (Ausín & Rodrigues, 2015), puesto que, posibilitan la relación de la información, la representación de la misma mediante cartografías descriptivas, o la realización de consultas rápidas sobre las bases de datos del parcelario. Además, son de gran utilidad para el estudio de la distribución de enfermedades del viñedo, o para la realización de acciones preventivas y de control por ejemplo (Seral et al., 2008).

## 1.3. Concepto de calidad en el ámbito de la vinificación

En la actualidad, para la realización de las tareas y consecución de los objetivos comentados hasta ahora, se recurre al uso de múltiples aplicaciones basadas en Teledetección y, al cálculo de diversos factores de interés o variables biofísicas (como se comenta en el apartado siguiente), empleando para ello productos, ya comentados, procedentes de sensores remotos. De esta forma, en el ámbito de la viticultura, se puede optar a la obtención de vino de mayor calidad, con menores costes e impactos ambientales como ya se ha mencionado.

Pero hay que tener en cuenta, que el concepto de calidad en el ámbito de la vinificación, es complejo de definir. Autores como Jackson & Lombard (1993) afirman que éste, depende de características intrínsecas y sensoriales. Dentro de estas, se pueden distinguir las de carácter químico, como son la acidez, pH, fenoles, sólidos solubles o el grado alcohólico, y por otra parte características más propias de las plantas en sí (parámetros de carácter físico), como el vigor vegetal (Best & León, 2006). Es por esto, que la composición físico-química del vino, está directamente relacionada con la composición de la uva empleada en su elaboración (Diago Santamaría, 2010). Por tanto, para la obtención de un vino de calidad, será necesario la vendimia de racimos procedentes de plantas sanas y vigorosas, y con unas características químicas determinadas, controladas de forma objetiva mediante análisis en laboratorio durante el periodo de envero y maduración (época previa a la vendimia).

### 1.3.1. Índices/cocientes de vegetación

El estado y vigor de las plantas en Teledetección, suele obtenerse empleando índices o cocientes de vegetación. Estos, consisten básicamente en realizar una división pixel a pixel entre los Niveles Digitales (ND) almacenados en al menos, dos bandas diferentes de la misma imagen. Se pueden emplear estos, para mejorar la capacidad discriminatoria entre cubiertas con diferente comportamiento reflectivo en dicho espacio espectral, o para reducir los efectos provocados por la orientación y la pendiente (relieve) en la caracterización espectral de cubiertas (Chuvieco, 2010).

Los índices de vegetación se basan en el diferente comportamiento espectral que presentan las plantas en las bandas del rojo (0.6-0.7 micrómetros) e Infrarrojo cercano (0.7-1.1 micrómetros).

En el visible, los pigmentos de las hojas (clorofila, xantofilas, carotenos, etc.) de la planta, absorben una gran cantidad de la energía que reciben, mientras que al Infrarrojo próximo apenas le afectan. De esta forma, es posible separar la vegetación sana y vigorosa del resto de cubiertas. En cambio, cuando la vegetación presenta algún problema (sequia, plagas, etc.) se reduce la reflectividad en el INP y aumenta en el espectro del visible, disminuyendo por tanto el contraste entre ambas regiones espectrales (Chuvieco, 2010). En resumen, se puede afirmar que cuanto mayor es el contraste entre las dos bandas, mayor vigor vegetal presenta la superficie observada, y en cambio, un contraste reducido, es sinónimo de una falta de vigor, provocada por estrés hídrico, plagas, etc.

Los índices de vegetación más empleados son: el cociente simple entre ambas bandas, “C” y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, (NDVI) (Chuvieco, 2010).

### 1.3.2. NDVI

Uno de los índices más populares y empleados es el NDVI (Índice Vegetativo Diferencial Normalizado), introducido por Rouse et al. (1974) y que según los autores Hall et al. (2003) está estrechamente relacionado con la calidad de la uva. Concretamente, éste permite la estimación del desarrollo vegetativo de los cultivos, a través del uso de determinadas franjas del espectro electromagnético (Rojo e Infrarrojo cercano), de productos como las imágenes multiespectrales.

El cálculo de este índice responde a la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{IRCercano - ROJO}{IRCercano + ROJO}$$

Un aspecto relevante del NDVI, es que es asociado a diferentes categorías de vigor: alto, medio, bajo, oscilando sus valores entre -1 y +1 (Best & León, 2006; Chuvieco, 2010).

Las imágenes necesarias para el cálculo de este índice en trabajos como este, son adquiridas a lo largo del periodo de maduración de las bayas, tal y como se explica en el apartado siguiente.

### 1.3.3. Fisiología de la vid y control de la maduración de la uva.

Para realizar el seguimiento de la maduración de la uva y obtener los índices de maduración químicos de los que se ha hablado anteriormente, es necesario conocer la evolución que experimentan, tanto la vid, como sus racimos.

La vid (*Vitis vinífera*), es una planta perenne y leñosa, que se desarrolla experimentando un ciclo vegetativo interanual, y un ciclo anual propio, altamente influenciado por su hábitat natural.

En cuanto al ciclo vegetativo interanual, desde que las cepas se plantan, experimentan cuatro etapas diferentes (Hidalgo, 2002):

- **Crecimiento-formación:** periodo en el que la planta se desarrolla hasta conseguir su forma de conducción adulta, sin tener prácticamente producción.
- **Desarrollo de la planta:** en esta fase, la planta adquiere su forma adulta, con producciones crecientes en cuanto a cantidad y calidad. Aproximadamente, el desarrollo dura entre 7 y 10 años, dependiendo de las condiciones circundantes del medio.
- **Periodo productivo:** aquí la producción se estabiliza, atendiendo a los medios de producción aplicados, a las posibilidades propias de cada planta y al potencial vegetativo de las mismas. Presenta una duración de entorno a los 40 años desde la plantación.
- **Decrepitud:** decrecen las producciones sensiblemente, pese al continuo incremento de la calidad, (en esta etapa más atenuado que en la anterior). Esta fase, teóricamente puede llegar a intuirse, localizando el punto de cruce entre las curvas de producción y calidad, pudiendo de esta forma prever una disminución del rendimiento económico y de la uniformidad del viñedo.

Por otro lado, la vid también sigue un ciclo vegetativo anual propio como ya se ha dicho, influenciado enormemente por el clima imperante en la zona, y en el que la planta se encuentra en permanente vegetación.

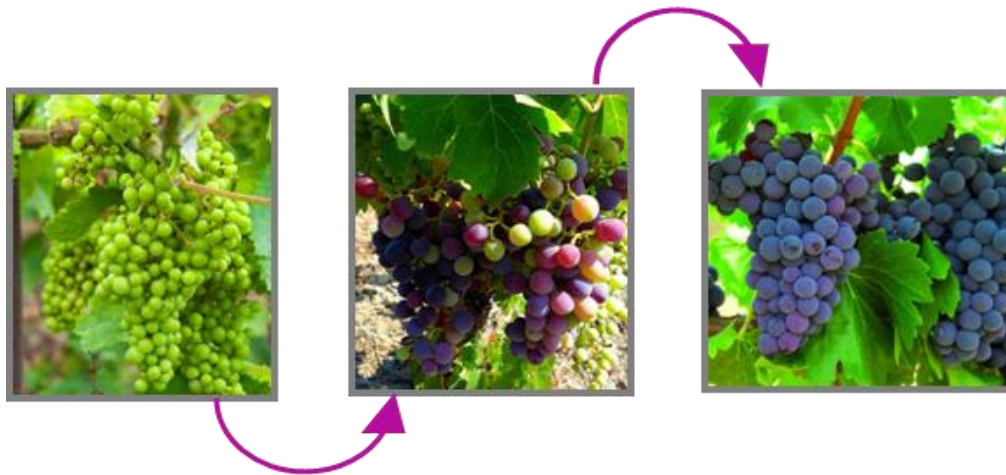
Este ciclo comienza tras el periodo de reposo invernal con la etapa del Lloro. Ésta, muestra el comienzo de la actividad del sistema radicular de las plantas, debido a una activación de la respiración celular, una mayor absorción de agua y minerales, y a una movilización de las reservas que posee la propia planta. Se caracteriza por una segregación de savia por los cortes ocasionados por las podas, y variará en función de la variedad cultivada.

Tras el lloro, se produce la brotación de las yemas (a finales del invierno-inicios de la primavera), debido a la multiplicación celular que ocurre en los tejidos meristemáticos terminales de la planta. Le sigue el desarrollo y crecimiento de los pámpanos, donde la vid desarrolla los órganos localizados en los conos vegetativos y crea otros nuevos: raíces, yemas, nietos y racimillos entre otros. Tras la formación de las yemas latentes, se produce la floración y fecundación. La primera se sucede entre la primavera y el verano, al superar los 16 grados de temperatura. Seguidamente se produce la fecundación, de tipo anemófilo y normalmente de una flor a otra (Hidalgo, 2002; Reynier, 2005).

La etapa más relevante en este trabajo, el proceso de maduración de las uvas o bayas en los racimos, se origina gracias al estímulo hormonal triple, procedente de la polinización, fecundación y formación de semillas. Consta de 3 etapas diferenciables:

- **Crecimiento/periodo herbáceo:** fase que se extiende desde el cuajado (formación del grano) hasta el envero, con un duración aproximada de 45-65 días. Recibe este nombre por la permanencia del pigmento clorofílico en el epicarpio. Se basa principalmente en el crecimiento rápido de los frutos, producido por procesos de división celular, consecuencia del aporte de auxinas de crecimiento y de sustancias nutritivas por parte del propio fruto o de las hojas de la planta. La uva aquí, presenta únicamente 20 gramos de azúcar por kilo de uva y otro tanto de acidez (Hidalgo, 2002; Hidalgo Togados, 2003; Peynaud, 1996).
- **Envero:** tras el periodo herbáceo, se sucede el envero. Etapa donde el fruto adquiere elasticidad, y experimenta una drástica disminución temporal del crecimiento, pérdida de la clorofila de forma progresiva, y la aparición de los pigmentos que tornarán el fruto del color característico de la variedad (véase figura 2). Las variedades blancas pasan del verde al amarillo, y las tintas del verde al rojo claro primero, y oscuro después. Dura entre 1 y 2 días por grano de uva, y entre 12 y 15 días en un viñedo completo (Hidalgo, 2002; Hidalgo Togados, 2003; Peynaud, 1996).
- **Maduración/translucido:** se extiende desde el envero hasta la madurez de las bayas. Esta fase, de brusca ocurrencia, abarca numerosos e importantes cambios físico-químicos de los frutos, que terminan con su madurez, y adquisición de características óptimas para su consumo. Dura entre 40-50 días y se pueden distinguir tres tipos de madurez: fisiológica (las semillas logran germinar), industrial (evolución del fruto que permite alcanzar un gran rendimiento económico), y tecnológica (el fruto adquiere características óptimas para obtener productos derivados para su consumo y venta). El incremento del volumen de las bayas experimentado en esta fase, es debido a una dilatación celular, fomentada por el aporte externo de sustancias nutritivas y agua, convirtiendo la uva en un almacén de reservas. Estas provienen de la savia elaborada por los órganos verdes, y se ven influenciadas también por las variaciones de luz y calor, determinando junto con la humedad edáfica, la cantidad de uva cosechada (Hidalgo, 2002; Hidalgo Togados, 2003; Peynaud, 1996; Reynier, 2005).

Finalmente, las plantas, tras el agostamiento de los pámpanos y la caída de las hojas, entran de nuevo en su fase de reposo invernal, hasta la nueva aparición del lloro (Hidalgo, 2002; Reynier, 2005).



**Figura 2.** Evolución de un racimo de uva tinta. Cambios físicos que experimenta.

Tras sucederse la maduración de las bayas, como ya se ha dicho se procede a su vendimia (aproximadamente al finalizar el verano). Tradicionalmente, se establecía la fecha de tal evento atendiendo a la experiencia de las vendimias realizadas en la zona años atrás, no siendo este dato preciso en absoluto. Pero en la actualidad, existen varios métodos para la determinación del periodo de vendimia, mediante el cálculo de una serie de índices que permiten realizar un seguimiento del estado de madurez de las bayas. De esta forma, la recolección de la uva se puede realizar en el momento idóneo de madurez, y según necesidades y destino de esta (Hidalgo, 2002; Hidalgo Tогores, 2003).

Para realizar dicho seguimiento del estado de madurez de la uva, a partir del envero se realizan muestreos de bayas de forma regular, con la suficiente antelación como para observar de forma correcta la evolución de determinados parámetros indicativos del estado de la uva (los ya comentados índices de maduración, en este caso de tipo químico): pH, acidez total y grado *Baumé* entre otros (Hidalgo Tогores, 2003; Reynier, 2005). Estos dos últimos parámetros, son los contemplados en este trabajo para la realización del seguimiento de la maduración, siendo el grado *Baumé* el más relevante. La asignación de mayor peso a este último, se debe a la existencia de un Pliego de Condiciones de la denominación de origen correspondiente, adaptado y publicado antes del comienzo de cada campaña, que determina los niveles mínimos de grado que debe presentar la uva para su recogida, junto con producciones máximas, rendimientos de transformación, etc. (Normas de Campaña de Vendimia, 2016). Además, es la variable que más condiciona la época de vendimia, ya que el contenido en glúcidos de la uva (y la relación glucosa/fructosa) condicionará los procesos fermentativos para la obtención del vino (González-Fernández et al., 2010).

## 2. OBJETIVOS

El presente trabajo persigue dos objetivos principales:

- El estudio multitemporal de la tendencia intra-anual del NDVI de siete variedades de uva, localizadas en tres fincas, dos de ellas pertenecientes a la Denominación de Origen Calificada Rioja y la tercera a la Denominación de Origen Navarra.
- Análisis de la capacidad predictiva de los valores de NDVI, en relación a dos de los tres parámetros analíticos más importantes que definen la calidad de la uva (grado *Baumé* y acidez total), para intentar posteriormente determinar o acotar la fecha de vendimia.

La existencia de correlación entre las variables citadas, podría permitir una reducción de los esfuerzos invertidos en la determinación de la fecha de vendimia. Posibilitando así, a partir de imágenes de satélite, determinar los niveles de grado y acidez total que poseerían las bayas, mediante el cálculo del NDVI, y realizando los análisis estadísticos pertinentes. Este hecho, supondría la reducción del número de muestreos necesarios para realizar el seguimiento de la maduración de la uva, resultando beneficioso desde un punto de vista económico y laboral.

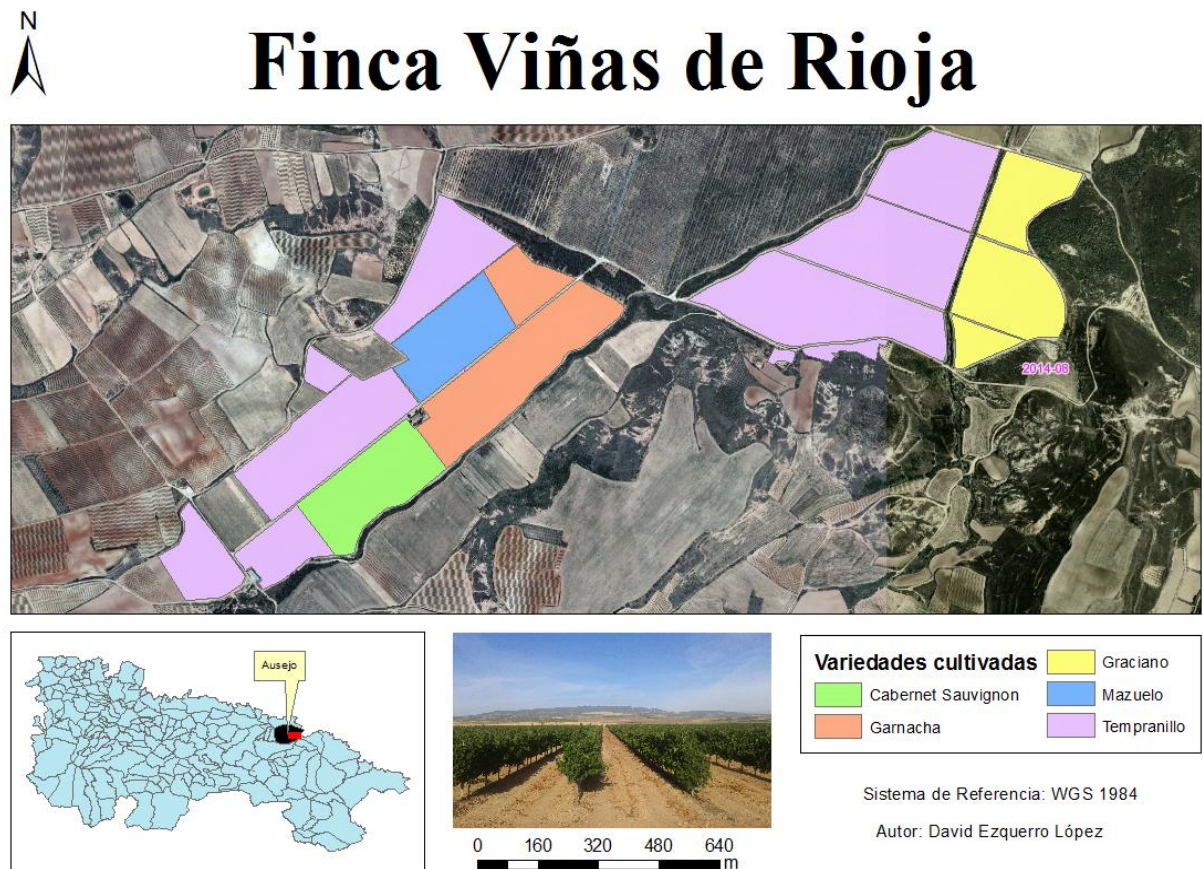


### 3. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio contemplada en el presente trabajo, se compone de tres fincas/viñedos de gran extensión, propiedad de la empresa riojana Bodegas Ontañón, afincada en Aldeanueva de Ebro, y en la cual se llevaron a cabo las practicas externas. Dos de ellas pertenecientes a la D.O. Ca. Rioja, y la tercera a la D.O. Navarra.

Los nombres con los que se identifican los viñedos de estudio, así como las características de los mismos son los siguientes:

**Finca Viñas de Rioja:** localizada en la D.O.Ca. Rioja, en el término municipal de Ausejo, junto al municipio de Pradejón. Presenta 80 hectáreas de extensión, un marco de plantación de 2.6 x 1.3 m, unas 3000 cepas por hectárea y una formación en cordón doble (con 6 pulgares y 12 yemas). Alberga cinco variedades de uva diferentes: Mazuelo, Graciano, Tempranillo, Garnacha y Cabernet sauvignon, todas tintas (véase figura 3):



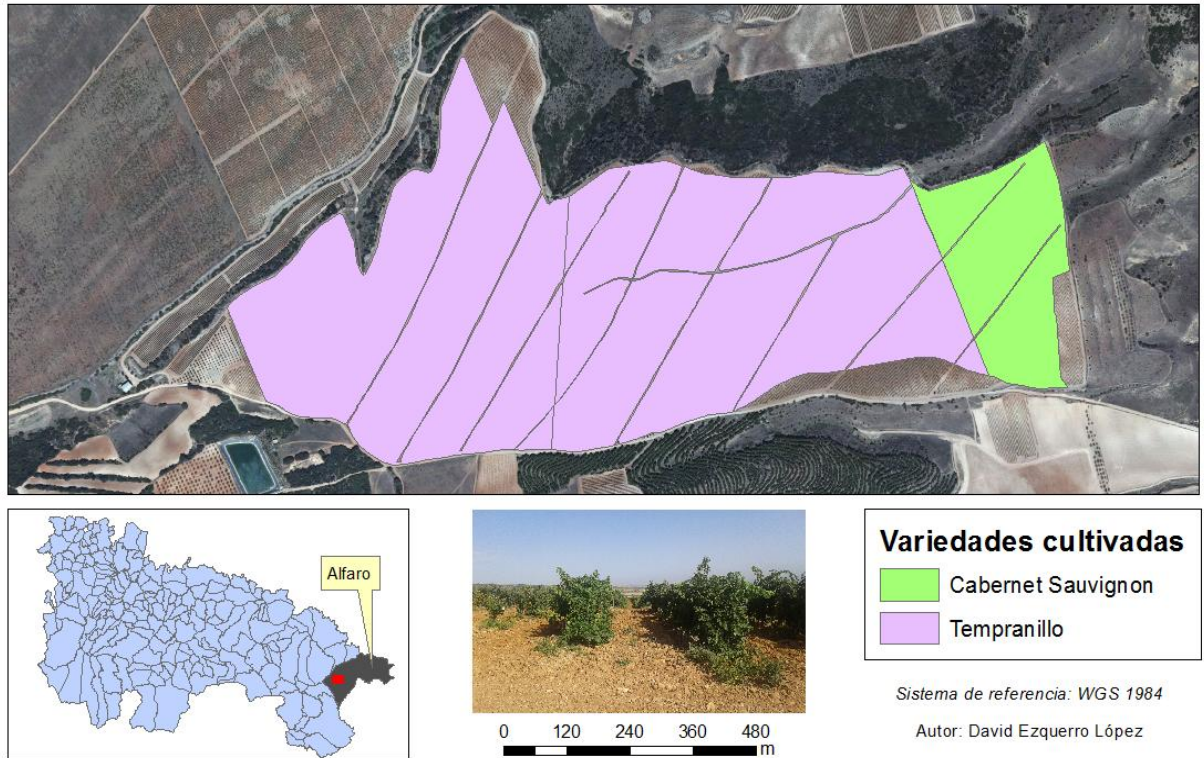
**Figura 3.** Variedades y localización de la finca Viñas de Rioja. Fuente: elaboración propia.

**Finca La Montesa:** localizada también en la D.O.Ca. Rioja, en el municipio de Alfaro. Cuenta con una extensión de 75 hectáreas, un marco de plantación de 2.90 x 1.10 m, 3000 cepas por hectárea y una formación de las cepas en cordón doble (con 6 pulgares y 12 yemas). Contiene dos variedades de uva: Cabernet sauvignon y Tempranillo (véase figura 4):





# Finca La Montesa

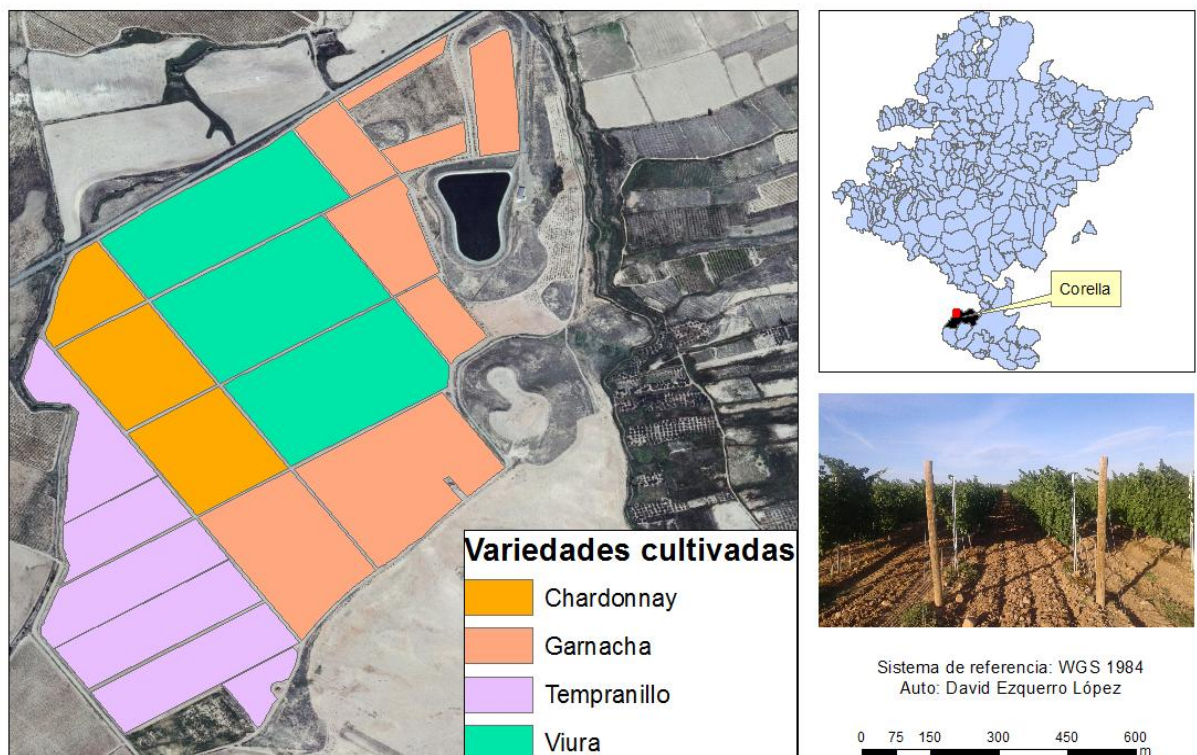


**Figura 4.** Variedades y localización de la finca La Montesa. Fuente: elaboración propia.

**Finca Corella:** perteneciente a la D.O. Navarra y localizada en el municipio de Corella, presenta una extensión cultivada de 65 hectáreas, un marco de plantación de 2.2 x 1.1 m, 3000 cepas por hectárea y formación también en cordón doble (6 pulgares y 12 yemas). Alberga las variedades: Tempranillo, Garnacha, Viura y Chardonnay (véase figura 5):



# Finca de Corella



**Figura 5.** Variedades y localización de la finca de Corella. Fuente: elaboración propia.

Las variedades de uva presentes en las parcelas de estudio pueden ser descritas de la siguiente forma:

*Cabernet sauvignon*: variedad con origen bordelés, procedente del cruce de las variedades Cabernet franc y Sauvignon blanc. Se cultiva por las zonas templadas-cálidas de todo el mundo. Es una variedad tinta con un vigor medio, racimo pequeño y apretadas bayas esféricas. Se adapta a climas cálidos o secos y no acepta suelos húmedos y fértiles. Produce vinos potentes, con aromas a frambuesa, pimiento verde, con un color rubí intenso. Presenta una estructura fenólica muy elevada, haciéndolos muy aptos para la producción de vino de crianza (Hidalgo, 2003; Vivai Cooperativi Rauscedo, 2013).

*Chardonnay*: variedad originaria de Francia, cultivada en la región de Champagne y Borgoña con amplia difusión por todo el mundo. Presenta cepas de gran vigor, porte erguido y equilibradas. Su brotación y maduración es precoz. Se adapta a multitud de suelos y climas, pero es sensible a heladas y a la botrytis en zonas húmedas. Da lugar a vinos de sabor varietal, color amarillo pajizo, con aromas delicados y buena aptitud alcohólica. Adecuado como base para espumosos (Vivai Cooperativi Rauscedo, 2013).

*Garnacha tinta*: variedad también muy extendida en el mundo, de procedencia aragonesa. Esta es muy rústica, capaz de resistir condiciones muy adversas en cuanto al clima y propiedades edáficas se refiere. Presenta un vigor notable, de porte erguido. Prefiere climas cálidos. Da lugar a vinos no muy ácidos, ni muy coloreados, afrutados, de estructura ligera y armónicos, no muy aptos para la producción de vino de crianza, pero sí para el vino rosado como en La Comunidad Foral de Navarra (Hidalgo, 2003; Vivai Cooperativi Rauscedo, 2013).

*Graciano*: variedad de origen riojano, cultivada también en otras partes del país, Portugal, Cerdeña, Francia, Argelia, Australia, Sudáfrica y California, con maduración más tardía que la variedad Tempranillo, y que produce vinos con aromas exuberantes, tonos florales, intenso color y con aptitud para su guarda. Presenta buen vigor y porte, se adapta a suelos de todo tipo y soporta bien la sequía (Hidalgo, 2003; Vivai Cooperativi Rauscedo, 2013).

*Mazuelo*: variedad tinta española conocida también como Carignano, Carignan Samsó y Cariñena, identificado por primera vez en la localidad de Cariñena. Cultivada en La Rioja, Cataluña, La Mancha, la región francesa de Midi, Córcega, Argelia, Marruecos y Túnez. Es muy rústica, de brotación tardía y maduración media, que produce vinos de intenso color y regular tanicidad. Su cepa es de vigor medio-elevado y vegetación extendida (Hidalgo, 2003; Vivai Cooperativi Rauscedo, 2013).

*Tempranillo*: variedad tinta española de mayor calidad y fama, procedente de la zona alta del Ebro entre La Rioja y Navarra. Está muy difundida en Portugal, Francia, Argentina, EEUU, Australia, Marruecos, Brasil, Tailandia, Uruguay, México y Venezuela. Su nombre se debe a la temprana maduración que presenta esta variedad. Posee gran vigor, porte erguido y es adaptable a todo tipo de suelos y climas. Con una brotación y maduración media-precoz. Da lugar a vinos de importante carga polifenólica y aroma a frutos negros y regaliz, muy adecuados para su crianza (Hidalgo, 2003; Vivai Cooperativi Rauscedo, 2013).

*Viura*: variedad de origen español, también conocida por el nombre de Macabeo. Presenta un gran vigor, con gran aptitud para el soporte de cualquier clima y altitud. Es muy vigorosa y de porte erguido. Se adapta a todas las condiciones climáticas y altitudinales, pero prefiere suelos fértiles y frescos. De brotación y maduración tardía. Proporciona vinos de tonos amarillos pajizos, con aromas afrutados y buena acidez. Soporta bien la crianza en bodega, y es ideal para la obtención de vinos jóvenes y como base para cava (Vivai Cooperativi Rauscedo, 2013).

#### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la realización de este trabajo, se han llevado a cabo diversas tareas que son expuestas a continuación en orden cronológico:



#### 4.1. Elaboración de la base de datos de los viñedos

Inicialmente, se llevó a cabo la elaboración de las bases de datos de partida, contando con los datos referentes a recintos, polígonos y parcelas del SIG-PAC, nombre de la finca, números de registro, superficie de derecho, empresas titulares, población, extensión cultivada y variedad de cada parcela. Procedentes todos ellos, de las bases de datos empleadas para la Política Agraria Común (PAC), del visor del SIG-PAC, el listado de viñedos inscritos en el Registro de Inscritos D.O.Ca. Rioja del Consejo Regulador para el año 2016, y del Registro de Explotaciones Agrarias del Gobierno de la Rioja (REA).

Con el inventario del parcelario hecho, se generó un archivo “*Shapefile*”, donde se digitalizaron todas las parcelas propias de la empresa. A cada una, se le asignaron los atributos comentados en el párrafo anterior, y finalmente se seleccionaron aquellas de mayor extensión, y con una antigüedad de producción y muestreo igual o superior a 4 años.

#### 4.2. Obtención de imágenes Landsat

Las imágenes empleadas en el presente trabajo, fueron obtenidas del portar de *Earth explorer*, y pertenecen al sensor O.L.I. (*Operational Land Imager*) de la plataforma Landsat 8. Este sensor se caracteriza por captar escenas de 170 x 185 kilómetros, con una resolución de 30 metros para las bandas multiespectrales, y de 15 metros para la banda pancromática. Su periodo de revisita es de 16 días (USGS, 2015).

Se escogieron para el trabajo, aquellas escenas pertenecientes al periodo de envero y maduración de los racimos, cuyas zonas ocupadas por las parcelas de estudio no estuviesen cubiertas por nubes. Para ello, se contó con la colaboración de la empresa *Ager Technology*, encargada del suministro de las imágenes. Concretamente, las escenas seleccionadas para cada año fueron las siguientes:

**Tabla 1.** Resumen de las imágenes seleccionadas.

Año	Imagen	Plataforma	Fecha de adquisición
2013	1	Landsat 8	18/06/2013
	2	Landsat 8	20/07/2013
	3	Landsat 8	05/08/2013
	4	Landsat 8	06/09/2013
2014	1	Landsat 8	12/07/2014
	2	Landsat 8	05/08/2014
	3	Landsat 8	13/08/2014
	4	Landsat 8	14/09/2014
	5	Landsat 8	30/09/2014
2015	1	Landsat 8	04/07/2015
	2	Landsat 8	12/07/2015
	3	Landsat 8	20/07/2015
	4	Landsat 8	28/07/2015
	5	Landsat 8	13/08/2015
	6	Landsat 8	21/08/2015
	7	Landsat 8	14/09/2015
	8	Landsat 8	22/09/2015
2016	1	Landsat 8	22/04/2016
	2	Landsat 8	11/07/2016
	3	Landsat 8	18/07/2016
	4	Landsat 8	27/07/2016

A estas, se les aplicó la corrección TOA (*Top of Atmosphere*), empleando el software Quantum Gis y la siguiente fórmula genérica para todas las bandas:

$$\text{Resultado} = \frac{((\text{REFLECTANCE\_MULT\_BAND} * \text{BANDA LANDSAT}) - (\text{REFLECTANCE\_ADD\_BAND}))}{\text{SUN\_ELEVATION}}$$

Con todas las bandas corregidas, se calculó el índice NDVI, usando la fórmula comentada con anterioridad, y empleando para este sensor las bandas 4 y 5, pertenecientes a las regiones del rojo e Infrarrojo próximo respectivamente. Este proceso se aplicó para todas las imágenes disponibles.

### 4.3. Toma de muestras de los viñedos

Para la obtención de los datos que posteriormente fueron analizados junto con el NDVI de algunas de las parcelas propias, se llevaron a cabo diversos muestreos cada pocos días (siguiendo las indicaciones del departamento agrícola) en las fincas de estudio. La toma de muestras se realizó durante el periodo comprendido entre agosto-octubre, coincidiendo con la fase de maduración de los racimos, y unos 10-20 días después del envero. Además, para el estudio multitemporal de la correlación entre el índice de vigor NDVI y los parámetros que a continuación se exponen, se recopilieron los datos muestrales de los años comprendidos entre el 2013 y 2015, ambos incluidos.

El objetivo del muestreo consiste en el seguimiento de determinados parámetros o índices de maduración químicos de la uva (descritos en el apartado siguiente), para poder concretar de forma más objetiva la fecha óptima de recolección o vendimia (Hidalgo Togores, 2003).

La técnica empleada se corresponde con las directrices marcadas por los autores Hidalgo Togores (2003) y Peynaud (1996):

Cada finca o unidad agrícola, se dividió en unidades más pequeñas teniendo en cuenta dos aspectos: la variedad de uva y la homogeneidad del terreno. En cada unidad resultante se definió una zona de muestreo (denominada mediante el uso del nombre del paraje y de los sectores de riego a los que afecta, véase figura 6) sobre la que realizar la toma de muestras cada año. Es por esto que, en casos como la extensa zona de Tempranillo de la finca La Montesa, existen dos zonas de muestreo, permitiendo un control más exhaustivo del estado de los racimos, sin pasar por alto las posibles diferencias de maduración de estos, ocasionadas por las variaciones de altitud de la parcela entre otras cosas.

Concretamente, en cada finca de estudio se definieron las siguientes zonas:

#### ***La Montesa:***

Se generaron tres zonas de muestreo: dos para la variedad Tempranillo, denominadas a partir de ahora sector 6 y sector 10, y una zona para el Cabernet sauvignon, en adelante sector 15.

#### ***Viñas de Rioja:***

Se obtuvieron siete zonas de muestreo:

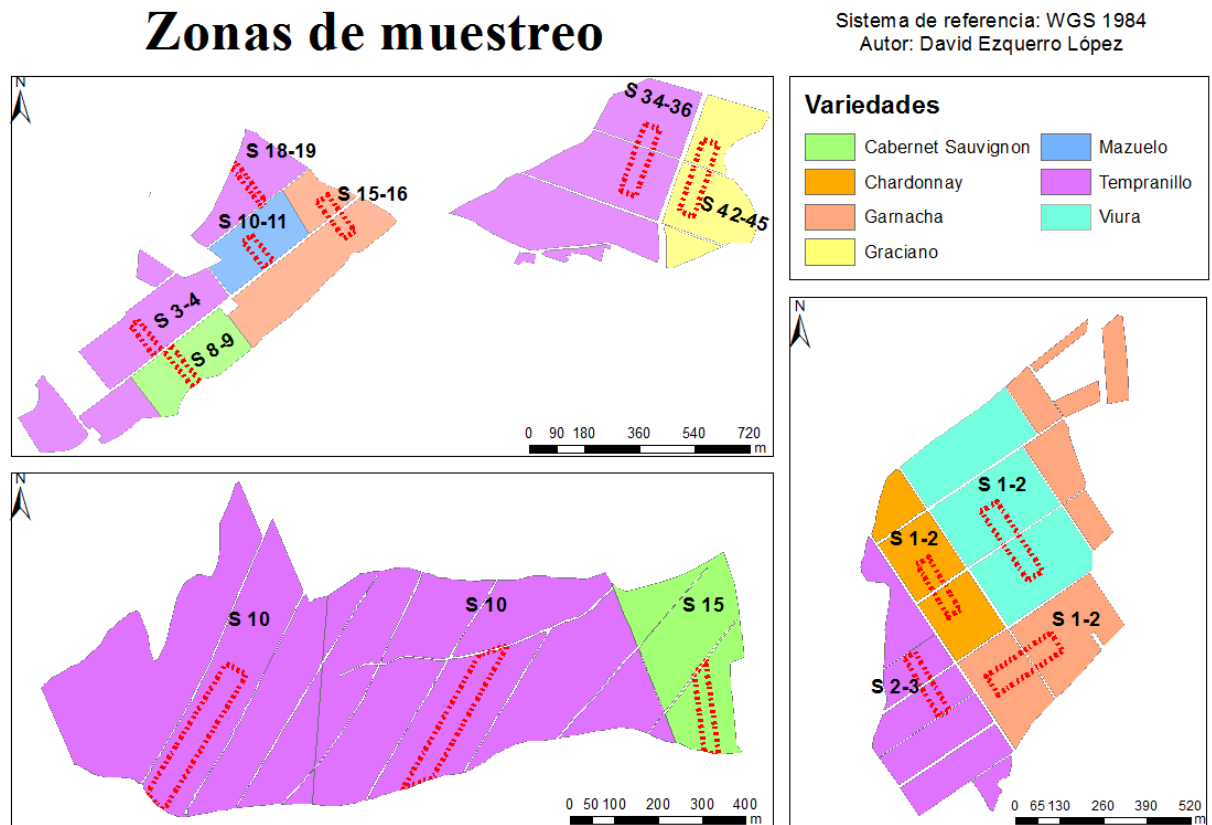
- *Variedad Graciano:* denominada Pieza Rey III. Alberga los sectores de riego 42 y 45.
- *Variedad Tempranillo:* se distinguieron tres zonas. La primera denominada Pieza Rey II con los sectores de riego 36 y 34. Las otras dos, localizadas en el paraje Rubiejo, albergaban los sectores 18, 19, y 3, 4, respectivamente.
- *Variedad Garnacha:* se definió una sola zona en el paraje Rubiejo, que engloba los sectores 15 y 16.
- *Variedad Mazuelo:* una sola zona que engloba los sectores 10 y 11, localizada también en el mismo paraje.
- *Variedad Cabernet sauvignon:* una zona con los sectores 8 y 9.

### Corella:

En la finca de Corella, se definió una zona de muestreo para cada variedad.

- *Variedad Garnacha*: la zona de muestreo afectaba a los sectores de riego 2 y 3, que conforman la mayor cantidad de terreno cultivado por dicha variedad.
- *Variedad Tempranillo*: el muestreo se localizó en los sectores 2 y 3, coincidiendo con la zona intermedia de toda la extensión de la finca.
- *Variedad Chardonnay*: la toma de muestras se localizó en los sectores 1 y 2 de riego, al igual que ocurría en el caso de la variedad Viura.

En cada zona de muestreo definida (véase figura 6), se seleccionaron una serie de filas o hileras de viñedo (en función de la longitud de las mismas), con un vigor vegetal medio, y un estado sanitario y aspecto visual estándar. Ciertamente, se pueden observar en la literatura otros sistemas que seleccionan un determinado número de cepas en cada parcela, para efectuar las labores de muestreo año tras año. Para ello, se realiza una selección exhaustiva de las mismas, asegurando que sus frutos sean representativos de la totalidad del viñedo, y evitando además, plantas de excesivo vigor, muy débiles, o que ocupen una situación geográfica poco usual en la finca. Es por eso que se optó por seleccionar solamente las zonas, asegurando la representatividad de las muestras tomadas.



**Figura 6.** Sectores de muestreo por fincas de estudio. Fuente: elaboración propia.

Las filas seleccionadas se recorrieron de principio a fin tomando muestras de los racimos, en intervalos de 10 cepas, tanto a izquierda como a derecha. Cabe destacar que se evitó muestrear las cepas más exteriores de la parcela, puesto que son las más expuestas a las inclemencias externas y al tránsito de vehículos.

Por otra parte, para que el muestreo del racimo fuese representativo, se tomaron diez granos de uva sin criterio de selección visual: dos granos de la parte de abajo, dos de la parte media de la cara, dos de la parte media de la espalda, y dos de los hombros izquierdo y derecho. Esta metodología permite tener en cuenta las notables diferencias de desarrollo, maduración y distribución de azúcares

en los distintos puntos del racimo, provocados por las diferentes horas de sol, sombras proyectadas por las cepas adyacentes, etc.

Cada muestra presentaba un número de granos o bayas acorde a la extensión de la zona muestreada (siempre superior a 250), asegurando por un lado que si se repitiese varias veces esta operación, se obtuviese siempre un resultado similar, y por otro, que hubiese material suficiente para el análisis en laboratorio, véase figura 7.

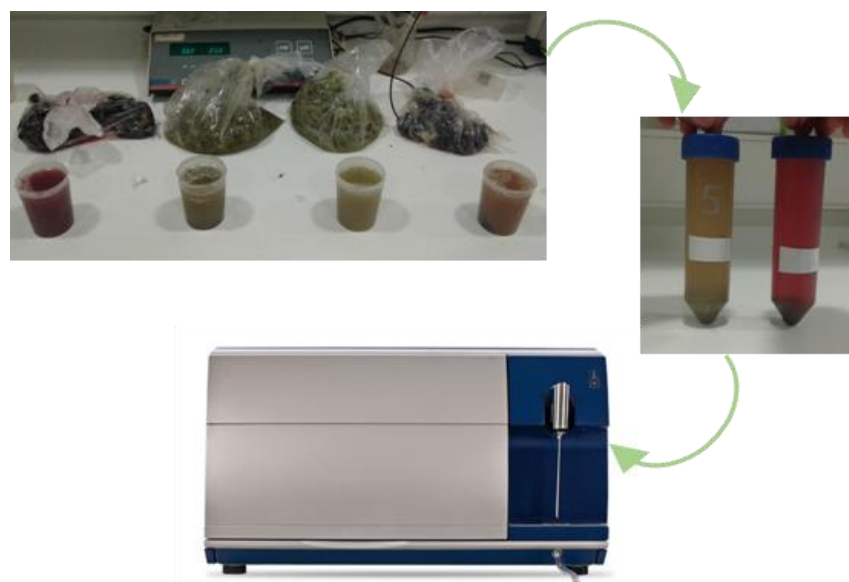
#### 4.4. Extracción del mosto y análisis químico

Dichas muestras fueron almacenadas en recipientes fríos, y transportadas a los laboratorios para efectuar los pertinentes análisis.

Estos, consistieron en determinar el grado *Baumé* y acidez total, del mosto obtenido de las muestras, mediante el uso de un equipo multianalizador FOSS. Éste, permite realizar análisis de hasta 30 parámetros de control de calidad de uva de forma rápida, empleando el método del Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR). Tras el análisis de la muestra, el programa desarrolla los espectros y calcula los diferentes parámetros automáticamente. De este modo, se registran las medidas proporcionando listas de resultados que pueden ser revisadas en cualquier momento (FOSS WineScan™, 2011).

Para extraer el mosto, se aplastaron inicialmente los granos de uva de las muestras, reuniendo el jugo en un tubo Falcon. Posteriormente, los tubos se centrifugaron durante 5 minutos a 4000 revoluciones por minuto, separando la parte líquida del resto de impurezas. El mosto limpio se introdujo en un recipiente de medida propio del equipo FOSS, y se realizaron las mediciones de, acidez total y grado *Baumé* entre otras, (obteniendo ficheros Excel con los resultados):

- **Grado *Baumé*:** concentración de azúcares en el mosto, expresado en grados, que será determinante en la graduación alcohólica del vino resultante (Blouin & Guimberteau, 2004).
- **Acidez total:** se define como la suma de todos los ácidos en estado libre, expresada en gramos por litro de ácido sulfúrico, y calculada habitualmente por volumetría manual o automática (Blouin & Guimberteau, 2004; Ibarra et al., 2005). Estos, condicionan las características organolépticas del vino (González-Fernández et al., 2010).



**Figura 7.** Resumen del tratamiento de las muestras. Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Preparación de los datos para su estudio

Antes de proceder al análisis estadístico y multitemporal de los datos analíticos y de vigor de las parcelas, se procedió a su preparación y adecuación.

Inicialmente, para obtener una muestra representativa de los valores de vigor de cada imagen y de cada unidad agrícola, dada la auto-correlación espacial de los valores de NDVI, se realizó una selección de puntos, aleatoriamente distribuidos, para asegurar la independencia de los valores de los píxeles; en caso contrario se violaría uno de los requisitos indispensables para concluir sobre la significación de las variables independientes. En este sentido, se generó una red de puntos aleatoria (dentro del perímetro de cada polígono definido), con el software *ArcGis* 10.1 empleando la herramienta “*Random*”. Concretamente, se introdujo una restricción de 30 metros de distancia entre dos puntos contiguos, para evitar que un mismo píxel de las imágenes de NDVI pudiera ser contabilizado dos veces. Además, se determinó un número de puntos a crear de 1000, asegurando que se generasen el máximo número de estos en cada polígono, teniendo en cuenta la restricción impuesta anteriormente.

Con la red de puntos creada, y empleando la herramienta “*Extract Multi Values to Points*”, se extrajeron los valores de cada imagen de vigor a cada punto generado.

Posteriormente, para asignarle a cada uno de estos, los atributos de la parcela a la que pertenecía, se realizó un “*Intersect*” entre la capa de puntos con los valores de vigor introducidos, y la capa “*Shp*” con las parcelas. Se obtuvo así, la capa de puntos final, que contaba ya con la información del vigor y de los atributos de cada parcela.

Por último, esta capa final se exportó en formato “*dbf*.” y se añadieron en Excel los muestreos analíticos a cada uno de los registros/puntos. Como resultado de las operaciones descritas, se generaron las tablas que se emplearon en el análisis estadístico, descrito posteriormente.

Este proceso se aplicó a los datos de cada año por separado, para generar una base de datos final por cada uno.

#### 4.6. Análisis de los datos.

##### 4.6.1. Análisis de la tendencia anual del NDVI promedio por variedad de uva.

Con el objetivo de analizar la tendencia del índice de vigor vegetal (NDVI) en cada año y para cada variedad, se calcularon los promedios de vigor para cada una de ellas y se realizaron gráficos de evolución intra-anual para 2013, 2014, 2015 y 2016.

##### 4.6.2. Diferencias en los valores de NDVI en función de los parámetros químicos.

Tras crear las bases de datos en Excel, se procedió al tratamiento de los datos con el software SPSS versión 15.1.

Para ello, se recodificaron en primer lugar las variables: grado *Baumé* y acidez total empleando los siguientes valores:

**Tabla 2.** Codificaciones de las variables grado *Baumé* y acidez total.

Rango de valores (grado <i>Baumé</i> , grados)	Codificación	Rango de valores (acidez total, g/L)	Codificación
8-9.99	1	0-2.99	1
10-11.99	2	3-4.99	2
12-13.99	3	5-6.99	3
14-20	4	7-15	4

Después, se aplicó una segmentación a los datos, empleando la variable/columna “variedad”, generando finalmente un gráfico de barras de error para cada variedad e imagen, de cada año de estudio. Se optó por este tipo de representación, puesto que se considera adecuada para el trabajo con variables de naturaleza continua, como es el caso del vigor vegetal. A partir de dichos gráficos, se estudió la correlación entre el índice de vigor NDVI y ambas variables recodificadas, tal y como se explica posteriormente.

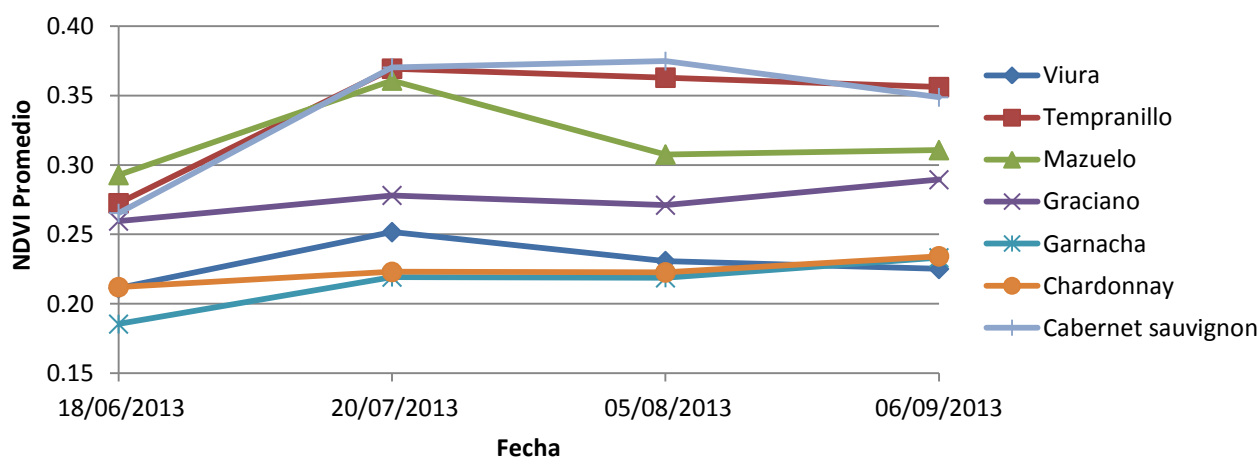
Tras analizar los resultados obtenidos en los gráficos de barras de error, se realizó un test Anova para aquellas variedades en las que se observó cierto comportamiento correlativo entre el vigor y el parámetro químico en cuestión. Esta prueba, se puede definir como una generalización del contraste de igualdad de medias, para dos muestras independientes. En este caso, con el fin de determinar si las tendencias observadas en los gráficos de barras de error tenían proyección estadística o no. Es decir, concluir si había diferencias significativas entre los diferentes niveles de grado/acidez y los valores de vigor. Se usó además, la prueba de *Bonferroni* cuando las varianzas resultaron homogéneas y *Tamhane* en caso de suceder lo contrario.

Como variable dependiente para el test, se empleó el NDVI de cada año, y como factor, el parámetro químico recodificado.

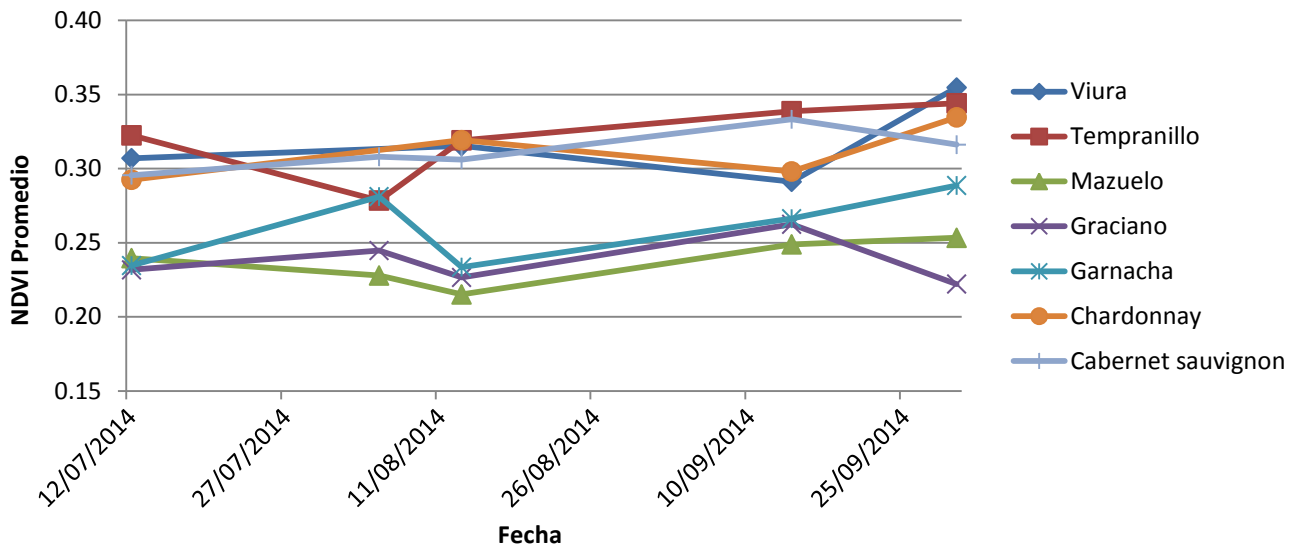
## 5. RESULTADOS

### 5.1. Análisis de la tendencia intra-anual de los valores de NDVI por variedad.

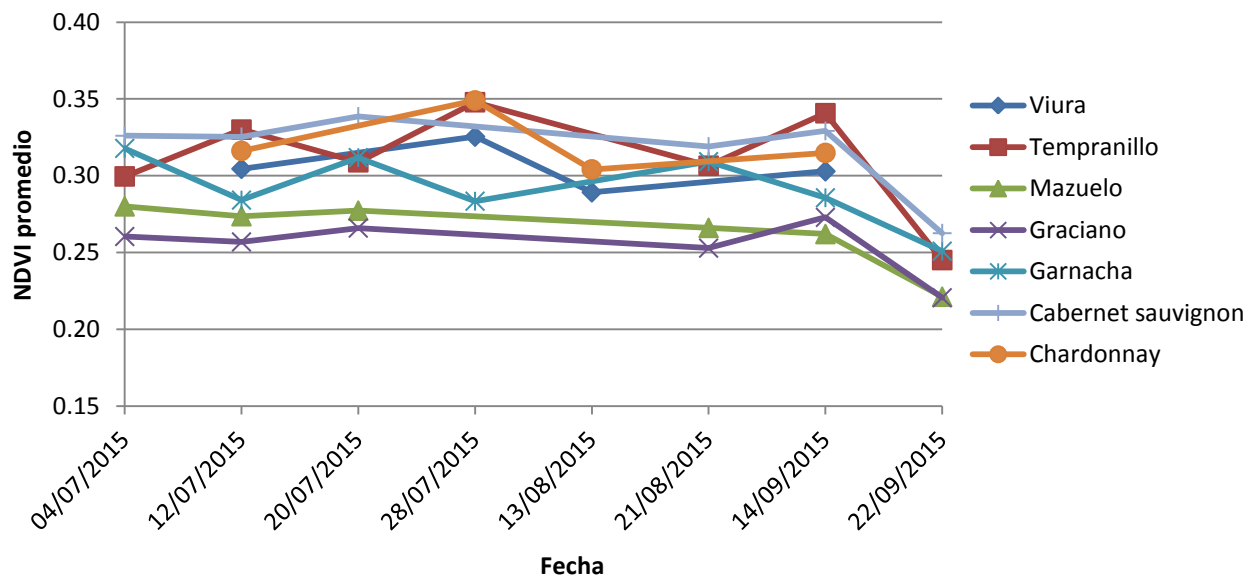
Las figuras 8 a 11 recogen la evolución intra-anual de los valores promedio de NDVI por variedad y año (periodo 2013-2016). En primer lugar cabe mencionar que, en términos generales, los valores de NDVI presentan una escasa magnitud independiente del año y variedad. En ningún caso se supera el valor de 0.40, teniendo en cuenta que el valor máximo del índice es 1. Dos variedades, Tempranillo y Cabernet sauvignon, suelen protagonizar los valores más elevados independientemente del año (~0.35). En el otro extremo, las variedades que presentan los valores más bajos (~0.20/0.25) suelen alternarse en función del año. En este sentido, mientras que en 2013 Chardonnay, Garnacha y Viura registran los valores más bajos, en 2014 y 2015 ceden el testigo a las variedades de Mazuelo y Graciano, siendo también esta última la más baja en 2016.



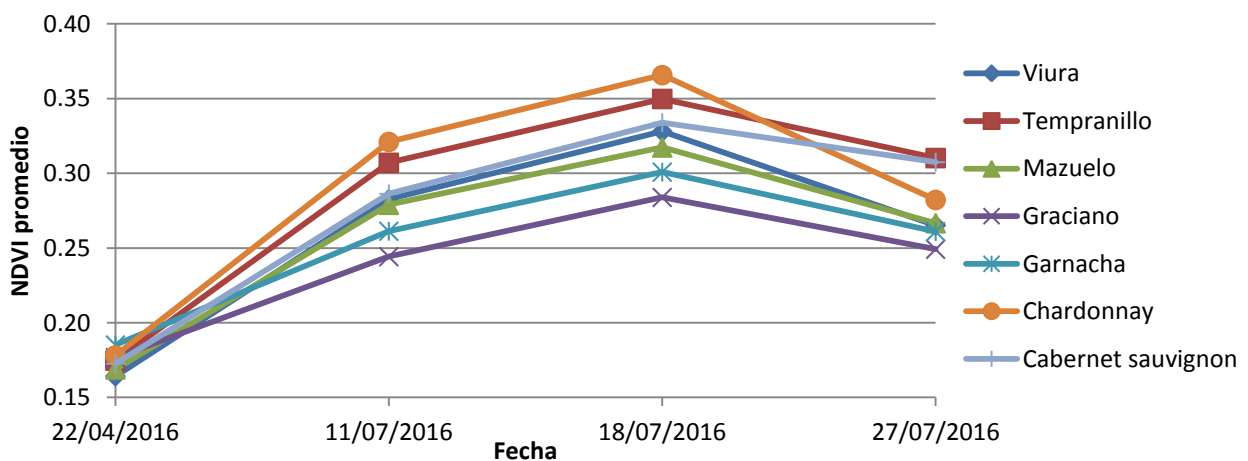
**Figura 8.** NDVI promedio de las variedades de estudio. Año 2013. Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** NDVI promedio de las variedades de estudio. Año 2014. Fuente: elaboración propia.



**Figura 10.** NDVI promedio de las variedades de estudio. Año 2015. Fuente: elaboración propia.



**Figura 11.** NDVI promedio de las variedades de estudio. Año 2016. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, es destacable la homogeneidad de valores a lo largo de los cuatro años de estudio, puesto que las variaciones apreciables en las gráficas son mínimas. Estos resultados tan uniformes, son atribuibles al estancamiento del desarrollo de las hojas y pámpanos de las vides, durante la maduración de los racimos de uva (como se explica en el apartado siguiente de forma más detallada). Evidentemente, la escasa variabilidad de los valores también se explica por la longitud del periodo para el que se disponen imágenes (básicamente de verano). En este sentido véase como en 2016 al disponer de una primera imagen de primavera (22 de abril), la variabilidad total de las diferentes variedades se ve notablemente incrementada.

Para el año 2013, se puede observar que el rango de valores de vigor oscila entre 0.19 y 0.37 aproximadamente. Las variedades de Cabernet sauvignon, Tempranillo y Mazuelo poseen los niveles más elevados, por encima del Graciano, Garnacha, Viura y el Chardonnay.

En este mismo año, se puede percibir también como las cepas alcanzan su vigor máximo, inmediatamente antes de comenzar la etapa de maduración (en torno a finales de julio principios de agosto), como se explica de forma más detallada en el siguiente apartado.

En el 2014, los valores presentan una mayor homogeneidad en cuanto al rango en el cual oscilan los niveles de NDVI (0.21-0.35 aproximadamente). En este año, el vigor máximo de las cepas ya se había alcanzado al tomar la primera imagen de satélite, puesto que no se observa ningún crecimiento notable de vigor. Los valores más elevados pertenecen a las variedades de Tempranillo y Cabernet sauvignon, igual que en el año anterior. En compañía del Chardonnay y la Viura con valores ligeramente inferiores. Las variedades menos vigorosas se corresponden con el Graciano y el Mazuelo, quedando la Garnacha en un término medio.

En 2015, los valores son todavía más homogéneos que en los dos años anteriores. Los niveles de NDVI son muy constantes, salvo a partir del día 14 de septiembre, donde se observa una ligera decaída del vigor, posiblemente ocasionada por el agostamiento de los pámpanos.

Finalmente en 2016, las imágenes se seleccionaron con fechas anteriores en comparación con el resto de años. Por tanto, es posible visualizar de una forma más acentuada, el desarrollo que experimentan las cepas, previo al periodo de maduración que se comentaba anteriormente. Los valores también son muy similares entre sí, como ocurría en el año anterior.

## **5.2. Relación entre los valores de NDVI y, el grado *Baumé* y la acidez total**

Los resultados obtenidos tras la generación de los gráficos de barras de error, para cada una de las variedades e imágenes, se ofrecen a continuación:

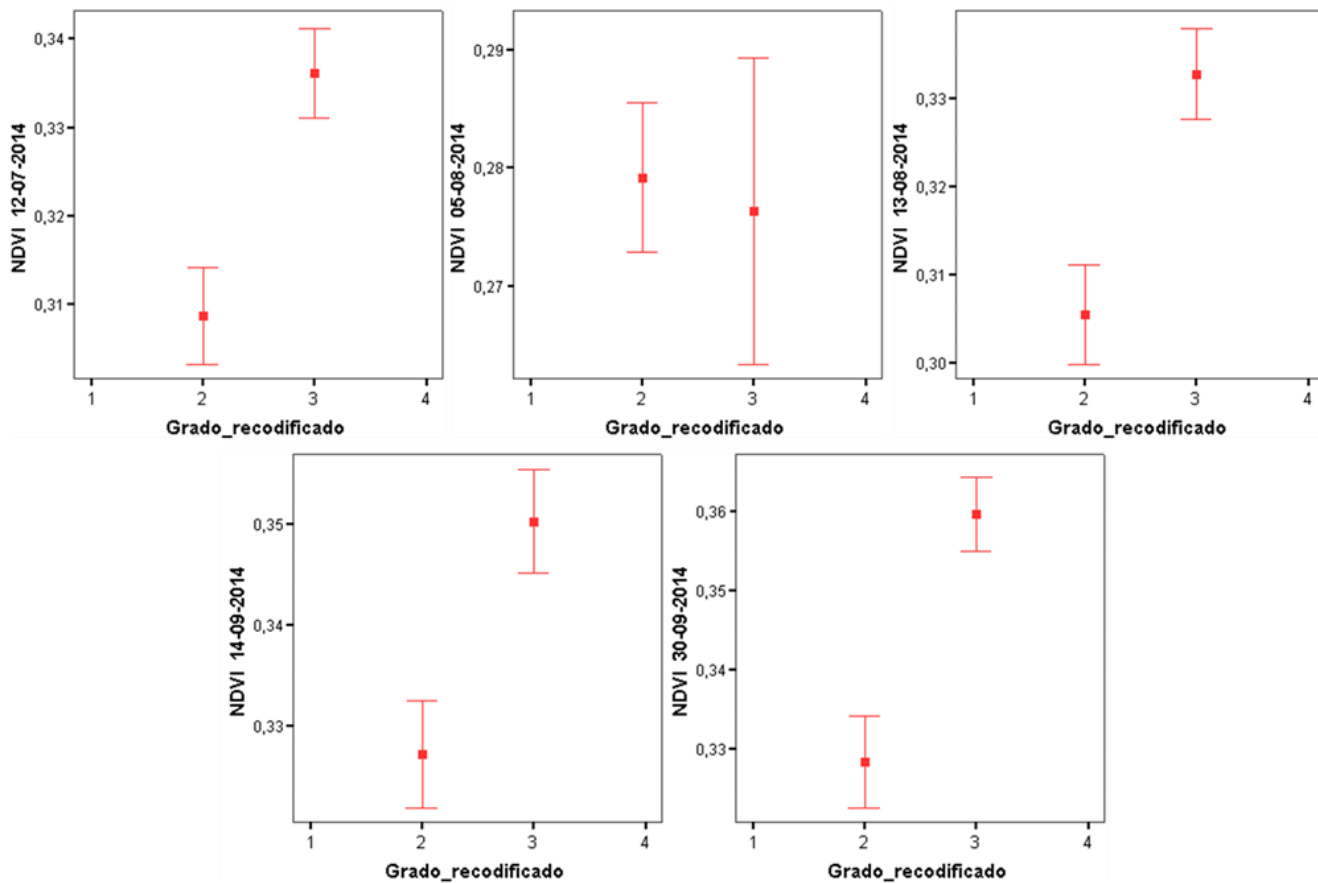
### **5.2.1. Distribución del NDVI por categorías de grado *Baumé***

Los resultados presentes en el Anexo 1, muestran los gráficos de barras de error obtenidos para cada año y por variedades. Estos, permiten relacionar el NDVI de cada una de ellas, con los niveles de grado *Baumé* previamente recodificados. Tras su análisis, se puede afirmar de una forma genérica que, exceptuando dos variedades, en la mayor parte no se identificaron diferencias entre categorías de grado y valores de NDVI.

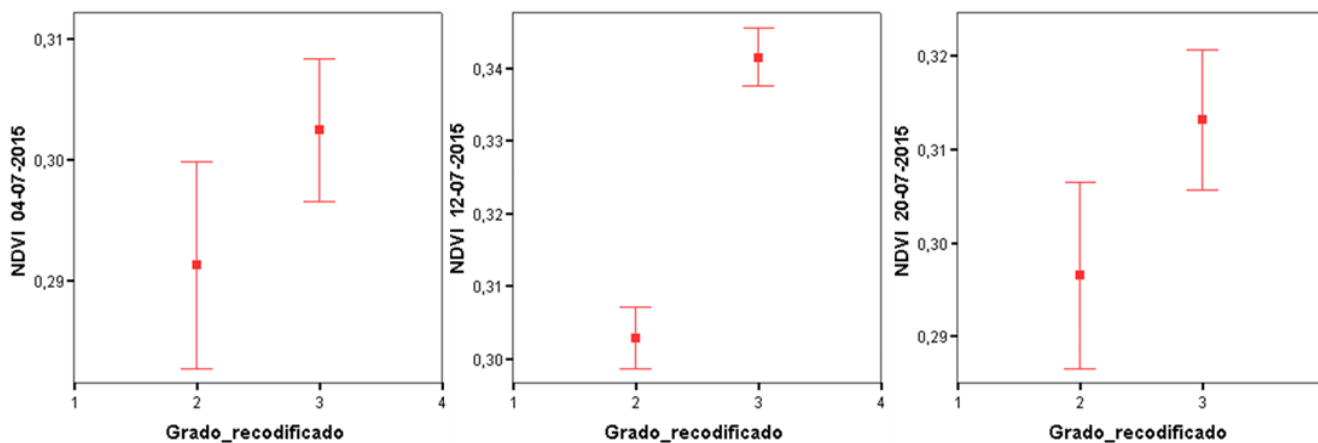
Concretamente, en los años 2013 y 2016, para los que se disponía de un menor número de escenas, no se observó ningún tipo de patrón específico en ninguna de las variedades de estudio. A diferencia de los años 2014 y 2015, donde el Tempranillo y la Garnacha ofrecieron patrones interesantes.

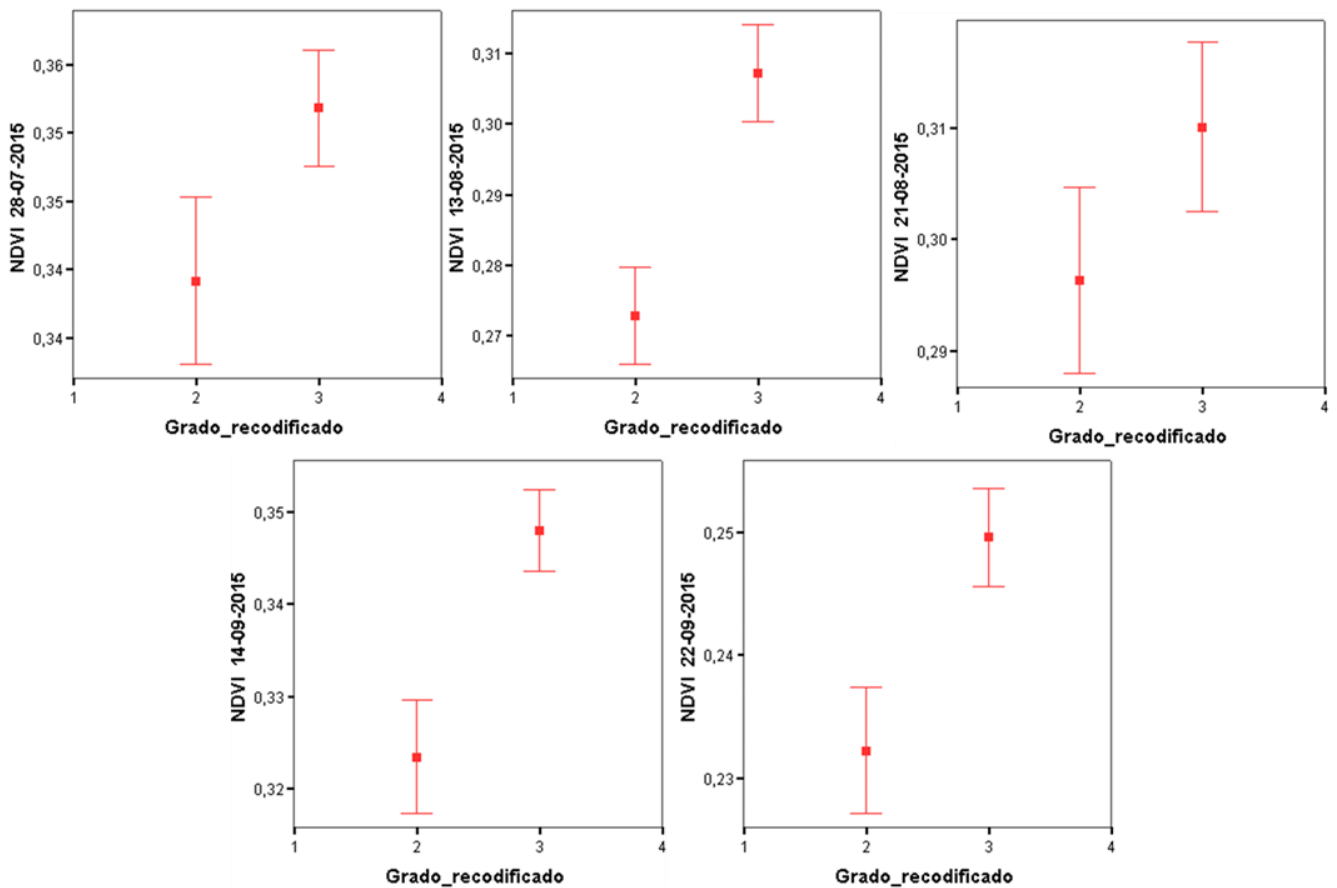
Si se dirige la atención a la primera variedad mencionada, la tendencia general marcada a lo largo de estos dos años, mostró una correlación positiva entre parámetros, es decir, cuanto mayor vigor presentaban las cepas, más elevado fue el grado de los racimos que producían. Este patrón, se observó en la mayor parte de las escenas del año 2014 (véanse gráficos de la figura 12) y en todas las del 2015 (véase figura 13). A excepción de la imagen correspondiente al 5 de agosto de 2014, que ofreció un resultado diferente al resto.





**Figura 12.** Gráficos de barras de error obtenidos para la variedad Tempranillo. Año 2014. Fuente: elaboración propia. Las equivalencias de los códigos de abscisas son las siguientes: 1 (8-9.99), 2 (10-11.99), 3 (12-13.99), 4 (14-20).





**Figura 13.** Gráficos de barras de error obtenidos para la variedad Tempranillo. Año 2015. Fuente: elaboración propia. Las equivalencias de los códigos de abscisas son las siguientes: 1 (8-9.99), 2 (10-11.99), 3 (12-13.99), 4 (14-20).

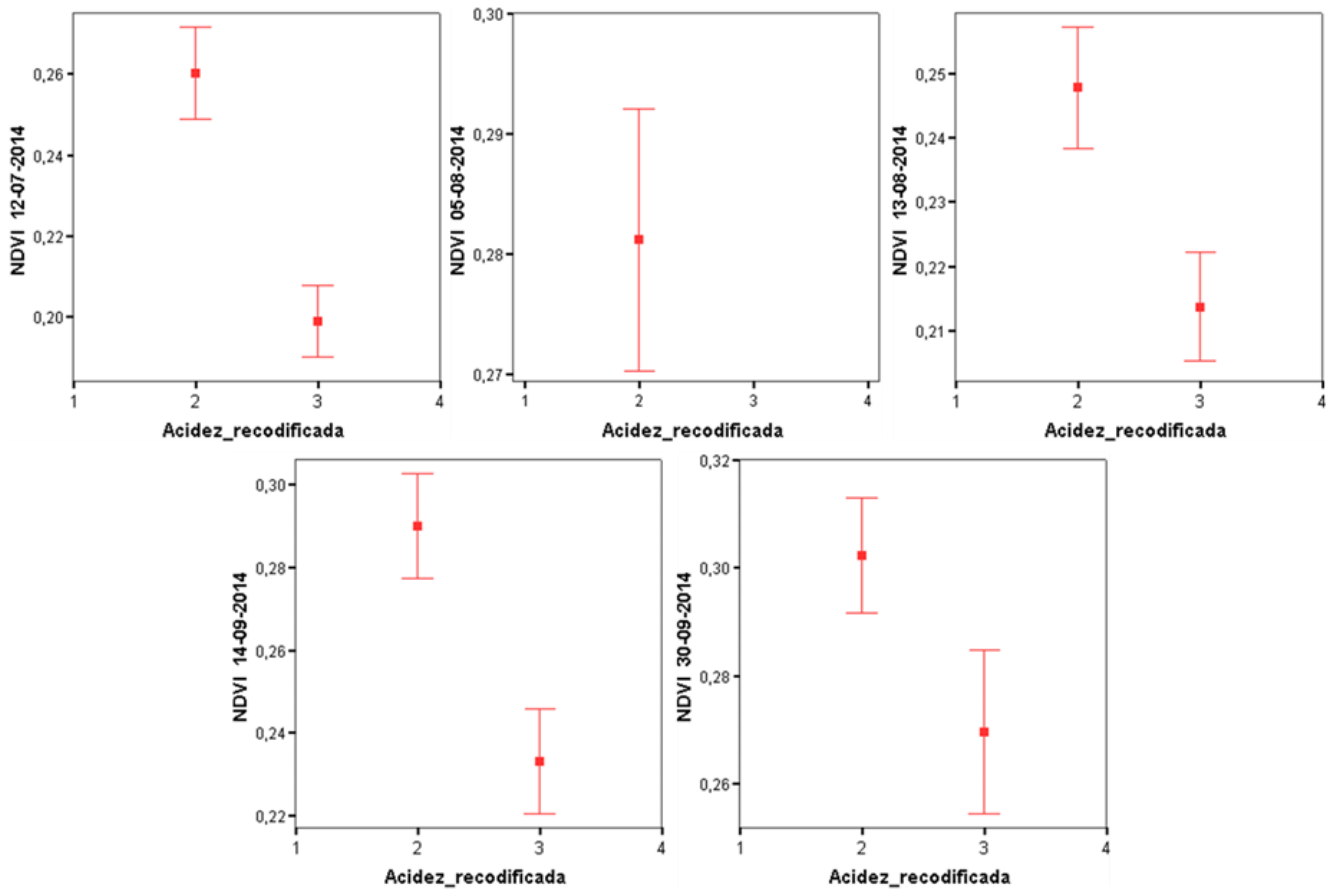
Puesto que, los resultados obtenidos para esta variedad, se repitieron en gran cantidad de las imágenes empleadas y en más de un año de estudio, se procedió a la realización de un test Anova para ratificar que este patrón presentaba rigor estadístico, es decir, que las diferencias en los valores de NDVI por categoría de grado eran diferentes de manera significativa. Además, hay que destacar también, que el Tempranillo es la variedad de mayor importancia y representatividad, tanto en La Rioja, como en las fincas de estudio. Por ello se le otorgó mayor peso en el contexto del presente trabajo.

Por otra parte, en el caso de la Garnacha, solamente en algunas de las imágenes del año 2014 se observó una correlación entre el vigor y el grado *Baumé*, exactamente la misma que en el Tempranillo (mayor índice de vigor en las plantas produjo racimos con un grado más elevado, véanse gráficos del Anexo 1). Como únicamente se apreciaron tendencias correlativas en alguna de las imágenes de un solo año, dichos resultados se atribuyeron al azar y no se consideraron lo suficientemente consistentes como para analizarlos estadísticamente.

### 5.2.2. Análisis de la relación entre los valores de NDVI y la acidez total

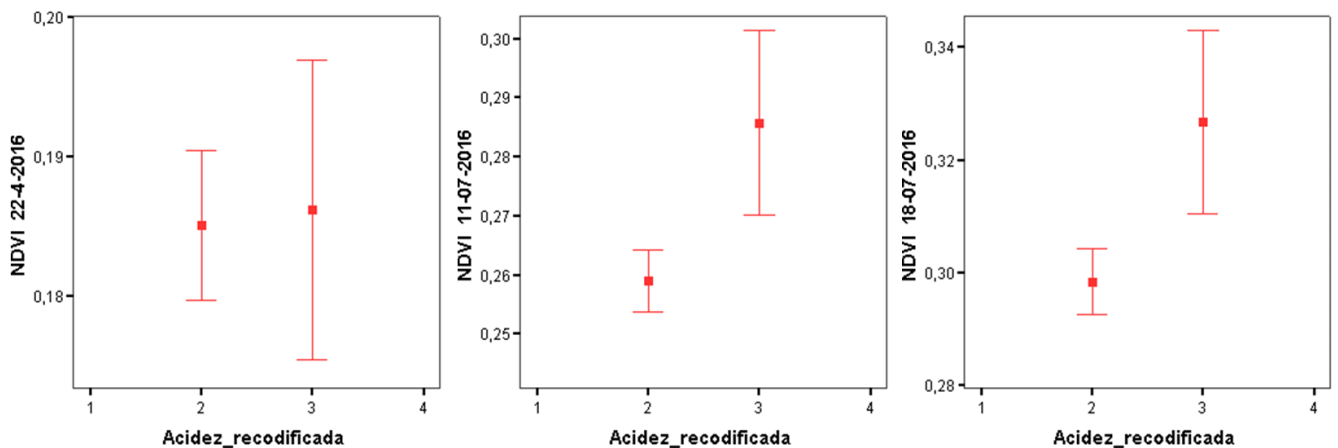
Para el parámetro acidez total, los resultados observados en estos cuatro años de estudio fueron menos concluyentes que en el caso del grado *Baumé* (véase Anexo 2). Conforme a los gráficos obtenidos, se puede afirmar que ninguna de las variedades ofreció una tendencia correlativa entre los dos parámetros comentados en ninguno de los años, exceptuando la Garnacha y el Tempranillo de nuevo.

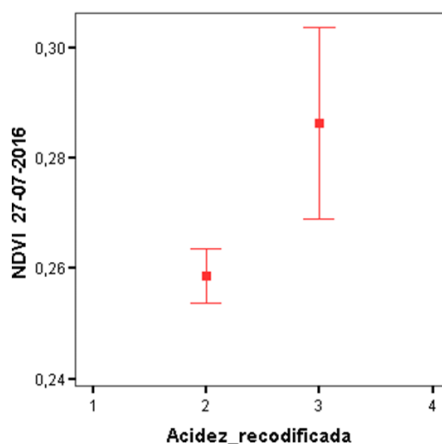
La primera variedad, en la mayor parte de las imágenes del año 2014 (a excepción de la segunda), mostró una relación inversa a la comentada en el apartado anterior. Ya que, cuanto mayor vigor presentaban las cepas de Garnacha, menor acidez poseían sus racimos (véase figura 14):



**Figura 14.** Gráficos de barras de error obtenidos para la variedad Garnacha. Año 2014. Fuente: elaboración propia. Las equivalencias de los códigos de abscisas son las siguientes: 1 (0-2.99), 2 (3-4.99), 3 (5-6.99), 4 (7-15).

Por el contrario, en el año 2016 dicha tendencia se invirtió, como puede verse de una forma más clara en las tres últimas imágenes, pertenecientes a los días 11, 18 y 27 de julio (véanse gráficos de la figura 15). Finalmente, en el resto de años, los resultados no ofrecieron ningún tipo de patrón claro (véase Anexo 2).





**Figura 15.** Gráficos de barras de error obtenidos para la variedad Garnacha. Año 2016. Fuente: elaboración propia. Las equivalencias de los códigos de abscisas son las siguientes: 1 (0-2.99), 2 (3-4.99), 3 (5-6.99), 4 (7-15).

Posteriormente, ante estas evidencias correlativas, se realizaron los análisis estadísticos pertinentes, con el fin de corroborar la existencia de diferencias significativas entre las categorías de acidez y el NDVI de dicha variedad. Tal y como se explica en el apartado siguiente.

Por último, en el caso del Tempranillo, únicamente se detectó un comportamiento específico en el año 2016. Las cepas más vigorosas produjeron racimos con un valor de acidez más elevado. Pero tras analizar detenidamente los gráficos obtenidos y revisar la literatura pertinente, se determinó que los resultados referentes a esta variedad no eran lo suficientemente robustos y consistentes como para atribuirlos a un comportamiento correlativo. Se consideraron por tanto, producto de la casualidad.

En el resto de años los resultados no fueron concluyentes.

### 5.3. Test Anova

Para ratificar que los resultados positivos obtenidos en el apartado anterior (tendencias correlativas entre el NDVI-grado para el Tempranillo, y NDVI-acidez para la Garnacha) presentaban una proyección estadística, que permitiera confirmar las conclusiones extraídas, se realizó un test Anova o análisis de la varianza de un factor. Los resultados de los test se ofrecen en los Anexos 3 y 4, y se comentan a continuación:

#### 5.3.1. Análisis estadístico de la distribución del NDVI en categorías de grado *Baumé*

En cuanto al grado *Baumé*, atendiendo a los valores obtenidos en la columna de significancia de la tabla Anova, se puede afirmar que en la variedad Tempranillo, en términos generales, se registraron diferencias estadísticamente significativas entre categorías de grado (véase Anexo 3). Este hecho, confirmó que las tendencias correlativas observadas en los gráficos de barras de error en 2014 y 2015 tenían significancia estadística. Pero además, los años 2013 y 2016, para los cuales no se había observado ningún comportamiento específico, también mostraron diferencias significativas entre categorías. De una forma más concreta, en cada año se observó lo siguiente:

En 2013, pese a no existir una tendencia clara, sí que se registraron diferencias significativas entre las categorías de grado y el NDVI en tres fechas, según muestra la tabla 13. Solamente en la fecha 06/09/2013, el valor de significancia superó el umbral de 0.05 indicando lo contrario. Específicamente, según el análisis *post Hoc* obtenido, para la imagen 18/06/2013 existieron diferencias significativas en todos los casos, o comparaciones por pares que se observan en la tabla 14 (Anexo 3). Ya que los valores de la columna de significancia resultaron inferiores a 0.05. En cuanto a la imagen del 20/07/2013, únicamente hubo diferencias entre los grupos 2 y 3 de grado con respecto al NDVI. Al igual que ocurrió en la fecha 05/08/2013.

Para el año 2014, los resultados obtenidos en la tabla Anova fueron similares (véase tabla 4). Atendiendo a los valores de la columna de significancia, en todas las fechas existieron diferencias significativas entre categorías, excepto en la imagen del 05/08/2014. Cabe destacar, que en este año,

no se pudo realizar el análisis *post Hoc* debido a la escasa cantidad de casos existentes en cada categoría definida.

En este mismo año, para el que se había localizado una tendencia correlativa, también se ofrece a continuación la tabla de descriptivos, donde se pueden apreciar los valores medios de NDVI para cada nivel de grado definido. Concretamente, a un NDVI de 0.28-0.36, le corresponde un nivel de grado de en torno a 2-3 (10-14 grados en valores reales), véase tabla 3.

**Tabla 3.** Descriptivos obtenidos tras el test Anova. Variedad Tempranillo. Año 2014.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
NDVI_12/07/2014	2.00	528	0.309	0.064	0.003	0.167	0.616
	3.00	532	0.336	0.060	0.003	0.167	0.616
NDVI_05/08/2014	2.00	280	0.279	0.054	0.003	0.170	0.468
	3.00	80	0.276	0.058	0.007	0.170	0.468
NDVI_13/08/2014	2.00	528	0.305	0.066	0.003	0.171	0.635
	3.00	532	0.333	0.060	0.003	0.171	0.635
NDVI_14/09/2014	2.00	528	0.327	0.062	0.003	0.174	0.632
	3.00	532	0.350	0.060	0.003	0.174	0.632
NDVI_30/09/2014	2.00	528	0.328	0.068	0.003	0.179	0.567
	3.00	532	0.360	0.056	0.002	0.192	0.567

**Tabla 4.** Resultados del test Anova para la variedad Tempranillo. Año 2014.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
NDVI_12/07/2014	Inter-grupos	0.199	1	0.199	51.892	0.000
	Intra-grupos	4.063	1,058	0.004		
NDVI_05/08/2014	Inter-grupos	0.001	1	0.001	0.168	0.682
	Intra-grupos	1.082	358	0.003		
NDVI_13/08/2014	Inter-grupos	0.197	1	0.197	49.398	0.000
	Intra-grupos	4.223	1,058	0.004		
NDVI_14/09/2014	Inter-grupos	0.140	1	0.140	37.522	0.000
	Intra-grupos	3.954	1,058	0.004		
NDVI_30/09/2014	Inter-grupos	0.260	1	0.260	67.025	0.000
	Intra-grupos	4.103	1,058	0.004		

El año 2015 no resultó muy diferente. En este, se observó (tabla 6), la existencia de diferencias estadísticamente significativas en todas las imágenes. Además, a pesar de no haberse podido realizar la prueba *post Hoc*, estos niveles de significancia aportaron validez estadística a los comportamientos correlativos observados previamente, al igual que ocurrió en 2014.

Observando los datos descriptivos de este año, las cepas con un NDVI de 0.23-0.35, contenían racimos con un valor de grado de entre 10 y 14, véase tabla 5.

**Tabla 5.** Descriptivos obtenidos tras el test Anova. Variedad Tempranillo. Año 2015.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
NDVI_04/07/2015	2.00	95	0.291	0.042	0.004	0.204	0.404
	3.00	265	0.302	0.049	0.003	0.204	0.427
NDVI_12/07/2015	2.00	315	0.303	0.038	0.002	0.205	0.409
	3.00	745	0.341	0.055	0.002	0.205	0.545
NDVI_20/07/2015	2.00	95	0.297	0.049	0.005	0.188	0.433
	3.00	265	0.313	0.062	0.004	0.188	0.472
NDVI_28/07/2015	2.00	220	0.339	0.460	0.003	0.225	0.442
	3.00	480	0.352	0.474	0.002	0.233	0.576
NDVI_13/08/2015	2.00	315	0.273	0.062	0.003	0.106	0.439
	3.00	745	0.307	0.095	0.003	0.106	0.607
NDVI_21/08/2015	2.00	95	0.296	0.041	0.004	0.209	0.422
	3.00	265	0.310	0.063	0.004	0.193	0.475
NDVI_14/09/2015	2.00	315	0.323	0.055	0.003	0.202	0.530
	3.00	745	0.348	0.062	0.002	0.202	0.657
NDVI_22/09/2015	2.00	95	0.232	0.025	0.003	0.175	0.313
	3.00	265	0.250	0.033	0.002	0.175	0.338

**Tabla 6.** Resultados del test Anova para la variedad Tempranillo. Año 2015.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
NDVI_04/07/2015	Inter-grupos	0.009	1	0.009	3.935	0.048
	Intra-grupos	0.792	358	0.002		
NDVI_12/07/2015	Inter-grupos	0.329	1	0.329	128.181	0.000
	Intra-grupos	2.716	1,058	0.003		
NDVI_20/07/2015	Inter-grupos	0.019	1	0.019	5.554	0.019
	Intra-grupos	1.242	358	0.003		
NDVI_28/07/2015	Inter-grupos	0.024	1	0.024	10.967	0.001
	Intra-grupos	1.541	698	0.002		
NDVI_13/08/2015	Inter-grupos	0.261	1	0.261	34.791	0.000
	Intra-grupos	7.949	1,058	0.008		
NDVI_21/08/2015	Inter-grupos	0.013	1	0.013	4.008	0.046
	Intra-grupos	1.190	358	0.003		
NDVI_14/09/2015	Inter-grupos	0.134	1	0.134	37.417	0.000
	Intra-grupos	3.787	1,058	0.004		
NDVI_22/09/2015	Inter-grupos	0.021	1	0.021	21.710	0.000
	Intra-grupos	0.349	358	0.001		

Finalmente, en 2016, pese a las conclusiones extraídas con respecto al comportamiento correlativo de las variables, las diferencias entre categorías resultaron significativas en todos los casos (tabla 20). Cabe mencionar, que no pudo obtenerse el análisis *post Hoc* por el mismo motivo que en el caso anterior. Por tanto, no se pudo determinar entre que niveles de grado existieron diferencias estadísticamente relevantes con respecto al vigor.

### 5.3.2. Análisis estadístico de la distribución de valores de NDVI en categorías de acidez

No se puede concluir de modo taxativo que la distribución de los valores de NDVI pueda utilizarse para predecir la acidez total.

Sin embargo, la identificación de diferencias estadísticamente significativas en algunas fechas y años (en la variedad Garnacha sobre todo), entre el grado de acidez y valores de NDVI, invita a pensar que más allá de una mera cuestión de azar, la acidez puede guardar cierto grado de relación con el vigor vegetal o, indirectamente con otras variables que controlan el desarrollo foliar de la vid.

Para los años 2013 y 2015, no se registraron diferencias significativas entre las categorías de acidez y vigor vegetal (Sig. >0.05, véase Anexo 4). Este hecho, confirmó la nula capacidad predictiva del NDVI sobre los niveles de acidez total, confirmándose los resultados gráficos de las barras de error.

Para el año 2014 los resultados fueron totalmente opuestos a las fechas de 2013 y 2015. En todas las fechas se observó un valor de significancia inferior a 0.05 (véase tabla 8). Por tanto, las diferencias entre categorías de acidez respecto a los valores del NDVI resultaron estadísticamente significativas.

Atendiendo a la tabla de descriptivos, los racimos de las cepas con un índice de vigor medio comprendido entre 0.20-0.27, presentaron un nivel de acidez total de entre 5 y 7 g/L, mientras que aquellas con un vigor ligeramente superior, produjeron racimos con un nivel de acidez comprendido entre 3 y 5 g/L.

**Tabla 7.** Descriptivos obtenidos tras el test Anova. Variedad Garnacha. Año 2014.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
<b>NDVI_12/07/2014</b>	2.00	150	0.260	0.071	0.006	0.118	0.468
	3.00	108	0.199	0.047	0.004	0.118	0.284
<b>NDVI_13/08/2014</b>	2.00	150	0.248	0.058	0.005	0.131	0.463
	3.00	108	0.214	0.044	0.004	0.131	0.295
<b>NDVI_14/09/2014</b>	2.00	150	0.290	0.079	0.006	0.126	0.543
	3.00	108	0.233	0.067	0.006	0.126	0.367
<b>NDVI_30/09/2014</b>	2.00	150	0.302	0.066	0.005	0.145	0.451
	3.00	108	0.270	0.080	0.008	0.145	0.437

**Tabla 8.** Resultados del test Anova para la variedad Garnacha. Año 2014.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>NDVI_12/07/2014</b>	Inter-grupos	0.238	1	0.238	62.265	0.000
	Intra-grupos	0.977	256	0.004		
<b>NDVI_13/08/2014</b>	Inter-grupos	0.073	1	0.073	26.127	0.000
	Intra-grupos	0.716	256	0.003		
<b>NDVI_14/09/2014</b>	Inter-grupos	0.203	1	0.203	37.021	0.000
	Intra-grupos	1.405	256	0.005		
<b>NDVI_30/09/2014</b>	Inter-grupos	0.067	1	0.067	12.891	0.000
	Intra-grupos	1.337	256	0.005		

Finalmente en 2016, a partir del 11 de julio (incluido), en todos los casos se registraron diferencias estadísticamente significativas entre categorías de acidez y NDVI. Confirmado por tanto las tendencias observadas previamente en la Garnacha, véase tabla 10.

**Tabla 9.** Descriptivos obtenidos tras el test Anova. Variedad Garnacha. Año 2016.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
NDVI_22/04/2016	2.00	334	0.185	0.050	0.003	0.133	0.427
	3.00	32	0.186	0.030	0.005	0.163	0.284
NDVI_11/07/2016	2.00	334	0.259	0.049	0.003	0.178	0.370
	3.00	32	0.286	0.044	0.008	0.206	0.370
NDVI_18/07/2016	2.00	334	0.298	0.054	0.003	0.209	0.420
	3.00	32	0.327	0.045	0.008	0.241	0.420
NDVI_27/07/2016	2.00	334	0.259	0.046	0.003	0.178	0.386
	3.00	32	0.286	0.048	0.009	0.204	0.386

**Tabla 10.** Resultados del test Anova para la variedad Garnacha. Año 2016.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
NDVI_22/04/2016	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.015	0.904
	Intra-grupos	0.850	364	0.002		
NDVI_11/07/2016	Inter-grupos	0.021	1	0.021	8.978	0.003
	Intra-grupos	0.851	364	0.002		
NDVI_18/07/2016	Inter-grupos	0.023	1	0.023	8.295	0.004
	Intra-grupos	1.029	364	0.003		
NDVI_27/07/2016	Inter-grupos	0.022	1	0.022	10.542	0.001
	Intra-grupos	0.769	364	0.002		

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. Tendencia del NDVI por variedad

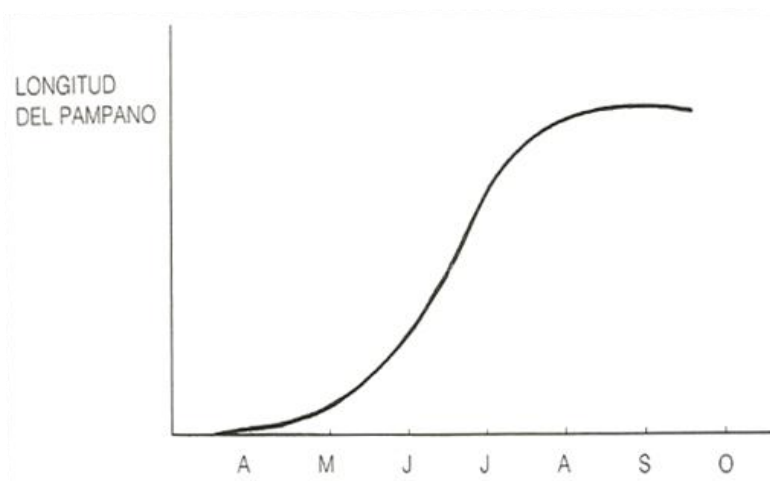
Como se ha citado anteriormente, los valores obtenidos del NDVI promedio de cada variedad en cada año no son elevados. En ningún caso se llegó a alcanzar el valor 0.4, siendo el máximo valor 1. Según autores como Holben (1986), el umbral crítico para cubiertas vegetales es un valor de NDVI de 0.1, y para la vegetación densa un valor comprendido entre 0.5 y 0.7. En este caso, teniendo en cuenta que en las superficies de viñedo el afloramiento de suelo desnudo es notable, debido a la formación en hilera que se adopta en este tipo de explotaciones, los valores obtenidos y visibles en los gráficos y tablas anteriores pueden ser considerados lógicos y coherentes.

Cierto es, que en el presente trabajo se ha obviado la corrección atmosférica de las imágenes empleadas, por cuestiones internas de la empresa suministradora de dicha información. Este hecho, implica la asunción de ciertas alteraciones de los niveles digitales de las imágenes con respecto a los valores de radiancia reales que deberían poseer. Ya que en general, la atmósfera existente entre el sensor y la superficie terrestre observada, causa un incremento de la radiancia registrada en la región del espectro electromagnético perteneciente al rojo. Por el contrario, la región del Infrarrojo próximo sufre el efecto inverso, viéndose reducida (Aronoff, 2005; Lamolda Ordoñez, 2008; Lillesand et al., 2014). Ambas distorsiones (ocasionadas principalmente por los aerosoles atmosféricos) provocan una reducción de los valores de NDVI obtenidos, equiparables a multiplicar por 0.85 el valor de NDVI obtenido a nivel de la propia cubierta vegetal (Myneni & Asrar, 1994). Este tipo de ruido, debería ser cuantificado sobre todo al estudiar la evolución de una zona en diferentes fechas, ya que la composición atmosférica va variar notablemente (Illera, El-Kaouri, & Vegas, 1997). La corrección atmosférica de la que se habla, consiste fundamentalmente en determinar la reflectancia real de la superficie terrestre, a partir de la aparente presente en las imágenes. Empleando métodos como el que propone Chavez (1988): Sustracción del objeto oscuro (*Dark Object Subtraction*) de fácil aplicación.



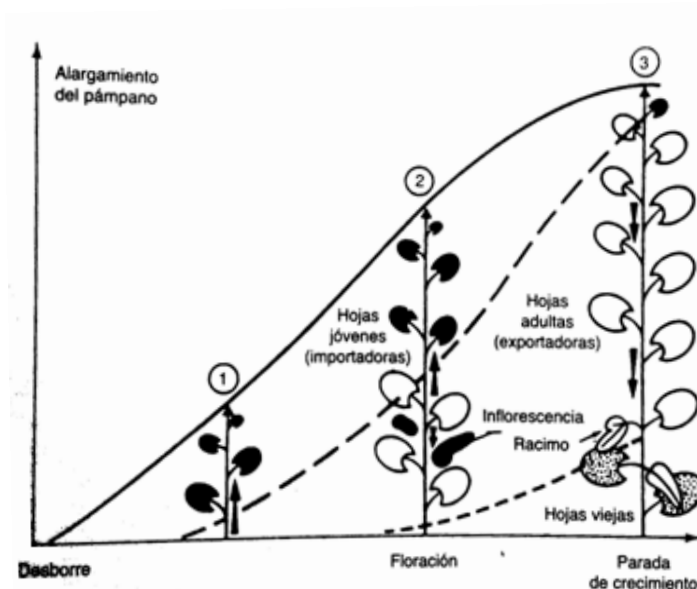
Lamolda Ordoñez (2008), por otra parte afirma que la magnitud de la corrección que se aplicaría a las imágenes empleadas, sería muy similar para las bandas del rojo e infrarrojo próximo, por lo que al calcular este índice la influencia atmosférica quedaría reducida, afectando de una forma leve al NDVI.

Cabe destacar también, que los resultados obtenidos son muy uniformes durante el periodo de de estudio como ya se ha dicho. La razón que explica este hecho, es la paralización del crecimiento que experimentan las cepas cuando comienza el periodo de maduración de los racimos. Concretamente, esta detención del crecimiento se produce entrado el verano (Hidalgo, 2002), tal y como indica la figura 16, y como puede verse en la figura 11.



**Figura 16.** Desarrollo temporal del pámpano de la vid. Fuente: (Toda, 1991).

Los pámpanos inicialmente crecen a costa de las reservas de la propia planta. Una vez que ésta posee hojas adultas, son éstas las que exportan azúcares hacia las partes consumidoras. Hasta que finalmente los sarmientos detienen su crecimiento, impidiendo por tanto que la planta incremente su vigorosidad. En este estadio, teniendo en cuenta que los azúcares son destinados a los racimos, hojas viejas, etc. (véase figura 17) y que existe gran déficit de agua como consecuencia de una importante transpiración, la detención del crecimiento es todavía más acusada (Hidalgo, 2002; Reynier, 2005).



**Figura 17.** Crecimiento del pámpano. Fuente: (Hidalgo, 2002).

## 6.2. Relación NDVI-grado Baumé

En lo referente al uso del índice NDVI como predictor de variables o parámetros que determinan la composición de la uva, ya ha sido probado por otros autores con anterioridad (Fiorillo et al., 2012; Lamb et al., 2004; Martínez-Casasnovas et al., 2012). Las conclusiones obtenidas por aquellos que han

intentado alcanzar dichos objetivos, no siempre han resultado satisfactorias, puesto que los factores que intervienen en la composición de la uva son muy numerosos y complejos: número de racimos por cepa, condiciones climáticas del año de estudio, riegos, abonado, formación de las cepas, tipo de podas, normas de la bodega receptora de la uva, y un largo etcétera (Bonilla et al., n.d.).

En este caso, en cuanto al estudio de la correlación entre el NDVI y el grado *Baumé*, únicamente se encontraron tendencias correlativas en los años 2014 y 2015 para las variedades Garnacha y Tempranillo. En ambos casos, un mayor vigor en las cepas se tradujo en racimos con un mayor grado. En el resto de años, el comportamiento de ambas variedades cambió por completo y no siguió ningún patrón determinado. La tendencia correlativa observada en la variedad Garnacha, como se ha mencionado antes, no se consideró fruto de una correlación entre el vigor y el grado finalmente, ya que el número de casos positivos fue demasiado reducido, y solo afectaron a un año de estudio.

Estas conclusiones se confirmaron posteriormente mediante los test Anova realizados a las bases de datos. Para el caso del Tempranillo, prácticamente en todas las fechas, existieron diferencias estadísticamente significativas entre las categorías de grado en función del NDVI. Dichas diferencias, aportaron el rigor estadístico suficiente para afirmar que las plantas más vigorosas produjeron racimos con un grado *Baumé* superior (en los años 2014 y 2015), tal y como habían mostrado antes los gráficos de barras de error. En cambio, las tendencias observadas para la Garnacha, no se tuvieron en consideración como ya se ha dicho.

Bonilla et al. (n.d.), también realizaron un estudio sobre las relaciones entre el vigor vegetal y la composición de la uva de una finca de Tempranillo, perteneciente también a la D. O. Ca. Rioja. Estos, observaron que las cepas de mayor vigor produjeron racimos con una menor concentración de azúcares, al contrario de lo que ocurría aquí. Pero solamente encontraron diferencias significativas que apoyaran dicha teoría, en dos de los cuatro años que abarcaba su estudio. En la misma línea, se encuentra el trabajo de Kliewer et al. (1967), que confirman la correlación inversa entre el vigor y el grado, incluyendo además otro factor responsable de la variación de este último: el sombreado de los racimos provocado por las hojas de las cepas adyacentes. Bonilla García (2015) que también estudió el nivel de correlación entre las mismas variables, pero en este caso medidas ya en vino, tampoco obtuvo resultados muy concluyentes. Debido a la variación de las tendencias que observó entre ambos parámetros en sus diferentes años de estudio, ocasionadas por los factores antes comentados. Es por esto, que a pesar de la aparente correlación existente entre los parámetros estudiados, la estimación del grado a partir del NDVI, no es factible o fiable a día de hoy, como puede verse.

### **6.3. Relación NDVI-acidez total**

Por otro lado, en el estudio del NDVI y la acidez total, los resultados fueron menos concluyentes todavía. Solamente en los años 2014 y 2016, y en una de las variedades (Garnacha) se experimentó cierto comportamiento correlativo entre los dos parámetros. Tras estudiar los resultados de los test Anova realizados para cada uno de los años estudiados, se observó la existencia de diferencias significativas entre los niveles de acidez con respecto al vigor vegetal, tanto en 2014, como en 2016. La presencia de significancia estadística entre categorías, observada en ambos años, aportaría en principio rigor estadístico a las tendencias observadas entre vigor y acidez. Pero, dichas tendencias no son constantes en el tiempo.

Esta ausencia de resultados concluyentes, ya fue observada por otros autores como Bonilla et al. (n.d.) o Bonilla García (2015), que tampoco lograron encontrar diferencias significativas entre los niveles de acidez total y el vigor en ninguno de los cuatro años que estudiaron. Es por esto, que en el caso de la acidez total, no se puede extraer una conclusión firme acerca del comportamiento de este parámetro químico con respecto al vigor, y en menor medida, estimar los valores que poseerían los racimos en una finca a través del índice NDVI.

Bien es cierto, que en algunos trabajos en los que se emplean productos de mayor resolución, como imágenes obtenidas por sensores aeroportados, o satelitales como Quickbird-2, sí se observó un comportamiento correlativo y significativo en algunos casos, entre el vigor y la acidez total. Por ejemplo, en el trabajo de Martínez-Casasnovas et al. (2010), donde se emplearon imágenes de

Quickbird-2 con una resolución espacial mayor que la que poseían las imágenes empleadas en este trabajo. Pero destacando que su estudio se realizó solamente en el año 2015, usando una sola imagen.

Se debe tener en cuenta, que en trabajos de esta índole, existen múltiples factores de tipo metodológico que influyen de una forma muy acusada en los resultados obtenidos: el primero de ellos podría ser el sistema de muestreo realizado en los años de estudio. Ya que para la obtención de resultados fiables, se debe asegurar que los muestreos de uva se realizan siempre en las mismas zonas, con cepas representativas y de un vigor intermedio, como afirman los autores Hidalgo (2002), Peynaud (1996) o Reynier (2005). El segundo factor es el uso de imágenes sin corrección atmosférica, ya que en un estudio multitemporal como es el caso, la composición de la atmósfera en los diferentes años es muy variable, afectando este hecho a los valores del NDVI (Illera et al., 1997).

También resulta evidente, que la propia naturaleza de los parámetros estudiados es influyente a la hora de obtener o no conclusiones de peso. Ya que concretamente, los parámetros de calidad de la uva, experimentan variaciones mucho menores en el tiempo (González-Fernández et al., 2010), si se comparan con aquellos de carácter más físico como son: la carga de uva, peso de las bayas, peso de los racimos, coloración del mosto, longitud de los sarmientos, etc.

## 7. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en este trabajo y la literatura revisada, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

En primer lugar, se ha puesto de manifiesto la utilidad del índice de vigor NDVI para el control y seguimiento del vigor vegetal de las parcelas de estudio, así como, para el análisis de la evolución multitemporal del mismo a lo largo de los años. Todo ello de una forma relativamente rápida, y sin invertir tantos esfuerzos como suponen las inspecciones visuales de todas las fincas.

En segundo lugar, se ha mostrado en algunos casos, un cierto comportamiento correlativo entre las variables que determinan la composición de la uva (grado *Baumé* y acidez total), y el índice de vigor NDVI, para las variedades Tempranillo y Garnacha. Tal y como se ha podido observar en los gráficos de barras de error y en los análisis Anova. En el primer caso, dicha correlación resultó directa, un mayor vigor implicó una mayor concentración de azúcares en los racimos de las cepas, al contrario de lo que se observa en la bibliografía. En cuanto a la acidez, aparentemente la tendencia fue la contraria, pero los resultados fueron muy poco concluyentes. Esta disparidad de resultados observada durante el periodo de estudio, puede ser debida a la multitud de factores que influyen en este tipo de trabajos, y que ya han sido mencionados.

Finalmente, pese a la existencia de comportamiento correlativo y estadísticamente significativo entre los parámetros estudiados, se considera arriesgado estimar dichas variables a partir del vigor vegetal todavía, debido a la inexistencia de resultados fiables y a la escasez de estudios realizados.

Como futura línea de investigación, sería recomendable extender este análisis en el tiempo, para comprobar si en las fincas de estudio (teniendo en cuenta el tipo de manejo, aditivos, condiciones climáticas, etc.) se cumplen las hipótesis que perfilan los objetivos de este trabajo. Para ello, se deberán realizar los muestreos y análisis atendiendo al protocolo expuesto. Y en el caso de que fuese posible, resultaría interesante la inclusión de otras variables determinantes como pueden, ser la carga de racimos por cepa, el peso de las bayas, etc.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Como autor del presente trabajo, deseo expresar mi gratitud a Fernando Pérez Cabello, por su gran ayuda, apoyo, disponibilidad, consejos y excelente trato recibido.

En segundo lugar, agradecer a José Ramón Ramos (tutor de la entidad) su ayuda, consejos, paciencia y el excelente trato. A la empresa *Ager Technology*, y en especial a Juan García por la información proporcionada.

Además, debo dar las gracias también, a todo el personal de la empresa Bodegas Ontañón, y en especial a José Antonio García, Verónica Simón, Francisco Javier Sanz, Alberto Eguizábal, Sara Pérez y Ruth Miguel, por el excelente trato recibido, aporte de ideas, consejos y buenos momentos.

Por supuesto, gracias a todos los compañeros del máster TIG, a Sara Martínez y a mi familia.

Este trabajo va por vosotros, GRACIAS.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Arnó, J., Martínez-Casasnovas, J. A., Ribes-Dasi, M., & Rosell, J. R. (2009). Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), 779–790.
- Aronoff, S. (2005). *Remote sensing for GIS managers* (p. 487). Nueva York: ESRI Press.
- Ausín, M., & Rodrigues, M. (2015). Desarrollo e implementación de un sistema para detección temprana de enfermedades en vid en entorno R. In *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (pp. 491–500).
- Best, S., & León, L. (2006). *Elementos de Vitivinicultura de Precisión*. Chillán: Centro Regional de Investigación Quilamapu.
- Blouin, J., & Guimberteau, G. (2004). *Maduración y madurez de la uva*. Madrid: Mundi-Prensa Libros.
- Bonilla García, I. (2015). *Análisis y manejo de la variabilidad intraparceldaria del viñedo en relación con la calidad de la uva y del vino*. Universidad de La Rioja.
- Bonilla, I., Martínez de Toda, F., & Martínez-Casasnovas, J. A. (n.d.). Relación positiva entre antocianos y vigor en añadas cálidas. In *I Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la SECH-Retos Actuales de I+D en Viticultura* (pp. 153–158).
- Bramley, R. G. V. (2001). *Progress in the development of precision viticulture-variation in yield, quality and soil properties in contrasting australian vineyards*. *CSIRO Land and Water and Cooperative* (pp. 25–43). Glen Osmond.
- Bramley, R. G. V. (2010). Precision Viticulture: managing vineyard variability for improved quality outcomes. In A. . Reynolds (Ed.), *Managing Wine Quality. Volume 1. Viticulture and wine quality*. (Vol. 1, pp. 445–480). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Bramley, R. G. V., & Lamb, D. W. (2003). Making sense of vineyard variability in Australia. In R. Ortega & A. Esser (Eds.), *Precision viticulture. Proceedings of an international symposium held as part of the IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología* (pp. 35–54). Santiago, Chile.
- Bramley, R. G. V., & Proffitt, A. P. B. (1999). Managing variability in viticultural production. *The Australian Grapegrower and Winemaker*, 427, 11–16.
- Bramley, R. G. V., Proffitt, A. P. B., Hinze, C. J., Pearse, B., & Hamilton, R. P. (2005). Generating benefits from precision viticulture through selective harvesting. In J. V. Stafford (Ed.), *Procc. Europ. Congr. Precision Agricult. (ECPA)* (pp. 891–898). Upsala: Wageningen Academic Publishers: The Netherlands.
- Campbell, J. B. (1996). *Introduction to Remote Sensing* (p. 622). Nueva York: Guilford Press.
- Caramés, C. R. (2015). *Assessment of the spatial variability of vegetative status in vineyards using non-destructive sensors . Application of remote and proximal sensing technologies in precision viticulture*. University of La Rioja.
- Castaño, S., Reyes, J., & Vela, A. (1994). La teledetección. Sus bases. *Sección de Teledetección Y Sistemas de Información Geográfica*.

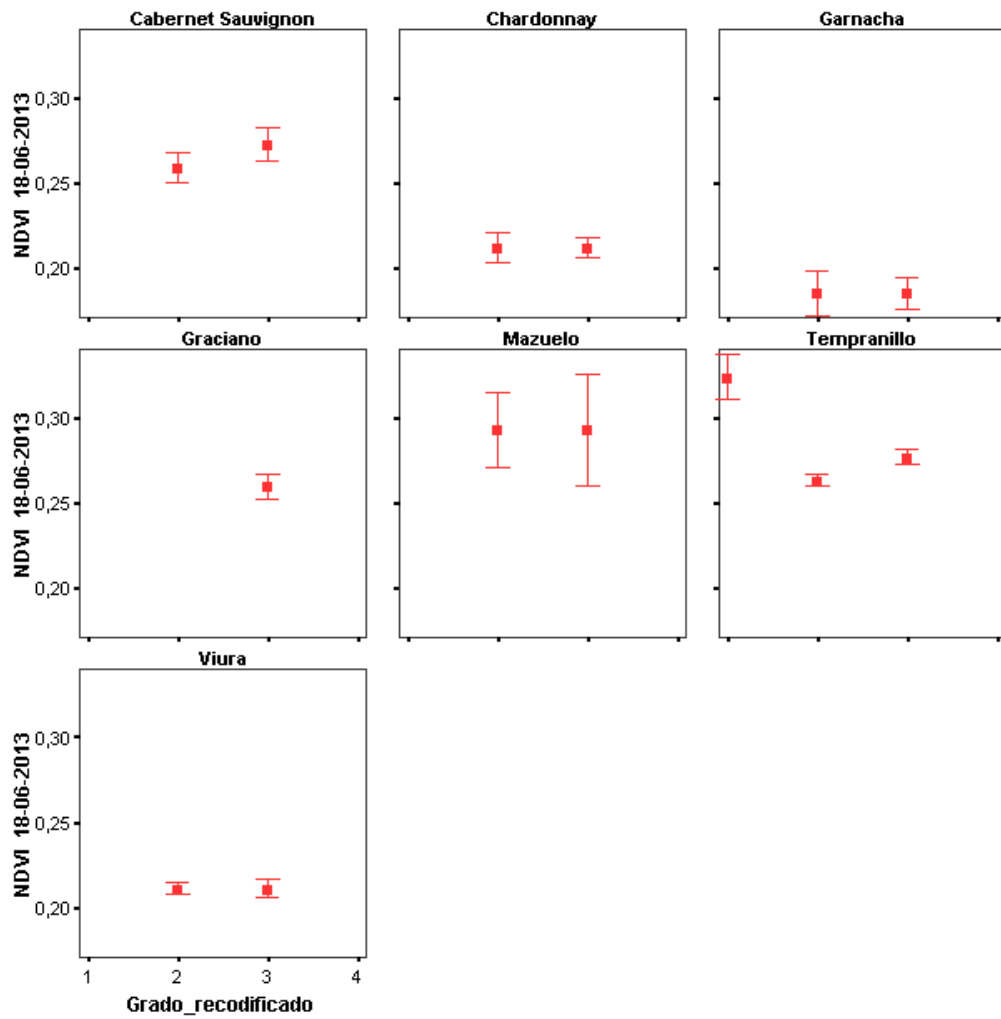
- Chavez, J. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24, 459–479.
- Chuvienco, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio* (p. 590). Barcelona: Ariel.
- Delgado, J. A., Berry, J. K., & Khosla, R. (2008). New avances and practices for precision conservation. In *International Conference on Precision Agriculture* (p. 16). Denver.
- Diago Santamaría, M. P. (2010). *Estudio y Desarrollo del deshojado precoz como técnica para el control del rendimiento productivo de la vid (Vitis vinifera L.). Efectos sobre el desarrollo vegetativo, los componentes de la producción, así como sobre la composición y la calidad de la uva*. Universidad de La Rioja.
- Estes, J. E., & Simonett, D. S. (1975). Fundamentals of imagen interpretation. In R. G. Reeves (Ed.), *Manual of remote Sensing* (pp. 869–1076). Falls Church: American Society of Photogrammetry.
- Fiorillo, E., Crisci, A., De Filippis, T., Di Gennaro, S. F., Di Blasi, S., Matese, A., ... Genesio, L. (2012). Airborne high-resolution images for grape classification, changes in correlation between technological and late maturity in a Sangiovese vineyard in Central Italy. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18, 80–90.
- García-Torres, L., Gómez-Candón, D., Peña-Barragán, J. M., Jurado-Espósito, M., García Ferrer, A., Castillejo, I., & López-Granados, F. (2009). El olivar desde el cielo , su caracterización mediante teledetección. *Vida Rural*, (296), 60–66.
- González-Fernández, A. B., Rodríguez-Pérez, J. R., Sanz Ablanado, E., Álvarez Taboada, M., & Catanzarite Torres, T. (2010). Determinación de la variabilidad espacial de parámetros de calidad y rendimiento en viñedo a partir de índices de vegetación obtenidos con un espectro-radiómetro de campo. In J. Ojeda, M. F. Pita, & I. Vallejo (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. (pp. 148–161). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Hall, A., Louis, J. P., & Lamb, D. W. (2003). A method for vineyard attribute mapping from high resolution multispectral images. *Computers and GeoSciences*, 29(7), 813–822.
- Hidalgo, L. (2002). *Tratado de Viticultura General* (tercera., p. 1212). Madrid: Mundi Prensa.
- Hidalgo Togores, J. (2003). *Tratado de Enología* (p. 752). Madrid: Mundi Prensa.
- Holben, B. N. (1986). Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1417–1434.
- Ibarra, A., Mendiola, J., Cabanillas, J., Huallanca, D., Chavez, G., García, L., & Espino, F. (2005). Niveles de grado alcohólico, acidez total y calidad sensorial de la cachina producida en el valle de Ica (Perú). *ACE Revista de Enología*, 53.
- ICEX. (2015). *El Vino en cifras*. Retrieved from [www.winesfromspain.es](http://www.winesfromspain.es)
- Illera, P., El-Kaouri, A., & Vegas, A. (1997). Influencia de las condiciones atmosféricas sobre el NDVI-AVHRR. In J. L. Casanova & J. Sanz (Eds.), *Teledetección. Usos y Aplicaciones. VII Congreso Nacional de Teledetección* (pp. 415–422). Valladolid.
- Jackson, D. I., & Lombard, P. B. (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(4), 409–430.
- Johnson, L., Lobitz, B., Armstrong, R., Baldy, R., Weber, E., Debenedictis, J., & Bosch, D. (1996). Airbone imaging aids vineyard canopy evaluation. *California Agriculture*, 50(4), 14–18.
- Kliwer, W. M., Lider, L. A., & Schultz, H. B. (1967). Influence of artificial shading of vineyards on the concentration of sugar and organic acids in grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 18(2), 78–86.

- Lamb, D. W., Weedon, M. M., & Bramley, R. G. B. (2004). Using remote sensing to predict phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), 46–54.
- Lamolda Ordoñez, H. (2008). *Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R., & Chipman, J. W. (2014). *Remote sensing and image interpretation* (p. 763). Nueva York: John Wiley & Sons.
- Martínez-Casasnovas, J. A., Agelet, J., Arnó, J., Bordes, X., & Ramos, M. C. (2010). Protocolo para la zonificación intraparcelsaria de la viña para vendimia selectiva a partir de imágenes multiespectrales. *Revista de Teledetección*, 33, 47–52.
- Martínez-Casasnovas, J. A., Agelet-Fernandez, J., Arnó, J., & 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(2), 326–337.
- Martínez-Casasnovas, J. A., & 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.
- Montesinos, S., Bea, M., Fernández, L., & Álvarez, R. (2007). Las imágenes de satélite en la gestión de la viña. In *Congreso internacional sobre Clima y Viticultura* (pp. 286–290).
- Myneni, R. B., & Asrar, G. (1994). Atmospheric effects and spectral vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 47(3), 390–402.
- Nemani, R., Johnson, L., & White, M. (2001). Adding science to intuition: application of remote sensing and ecosystem modelling to vineyard management. *The Australian Grapegrower & Winemaker*, (Annual Technical Issue:), 45–47.
- Pérez, C., & Muñoz, A. L. (2006). *Teledetección: Nociones y Aplicaciones* (p. 359). Universidad de Salamanca.
- Peynaud, E. (1996). *Enología Práctica* (3ª Edición., p. 406). Madrid: Mundi Prensa.
- Proffitt, T., Bramley, R. G. V., Lamb, D. W., & Winter, E. (2006). *Precision viticulture: a new era in vineyard management and wine production*. Ashford: Winetitles Pty Ltd.
- Quezada, J. P. (2006). Viticultura de precisión aplicada al viñedo. *Revista Enología*, 2, 1–8.
- Regulador, C. (2016). Normas de Campaña de Vendimia.
- Reynier, A. (2005). *Manual de viticultura* (sexta., p. 487). Madrid: Mundi prensa.
- Rioja, D. O. C. (2015). *Estadísticas 2015: El Rioja en cifras*. Logroño.
- Rouse, J. W., Haas, R. W., Schell, J. A., Deering, D. H., & Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. College Station, Texas.
- Santesteban, L. G., Miranda, C., Jiménez, C., Fuentemilla, M., Urretavizcaya, I., & Tisseyre, B. (2010). Evaluación del interés del índice NDVI para la delimitación de unidades de manejo diferenciado en una explotación vitícola Evaluation of the interest of NDVI to identify. *Revista de Teledetección*, 33, 11–16.
- Seral, C., Lozano, L., & Gómez, A. (2008). Uso de las Técnicas SIG y Teledetección en el seguimiento del cultivo de la viña. *Centro de Investigación Y Tecnología Agroalimentaria de Aragón*, 691–697.
- Tey, Y. S., & Brindal, N. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision Agriculture*, 13(6), 713–730.
- Thorp, D. R., & Tian, L. F. (2004). A review of remote sensing of weeds in agriculture. *Precision Agriculture*, 5(5), 477–508.

- Toda, F. M. (1991). *Biología de la vid. Fundamentos biológicos de la cultura*. Madrid: Mundi-Prensa.
- USGS. (2015). Landsat Missions. Retrieved November 21, 2016, from [http://landsat.usgs.gov/about\\_ldcm.php](http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php)
- Vivai Cooperativi Rauscedo. (2013). *Catálogo General de las Variedades y los Clones de Uva de Vino y de Mesa*.
- Wample, R. L., Mills, L., & Davenport, J. R. (1999). Use of precision farming practices in grape production. In R. P.C., R. R.H., & W. E. Larson (Eds.), *Precision Agriculture* (pp. 897–905). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

**ANEXO 1: GRÁFICOS DE BARRAS DE ERROR POR VARIEDADES. ANÁLISIS CORRELATIVO NDVI-GRADO BAUMÉ.**

**Año 2013**



**Figura 18.** Barras de error por variedades. Fecha: 18/06/2013. Fuente: elaboración propia.



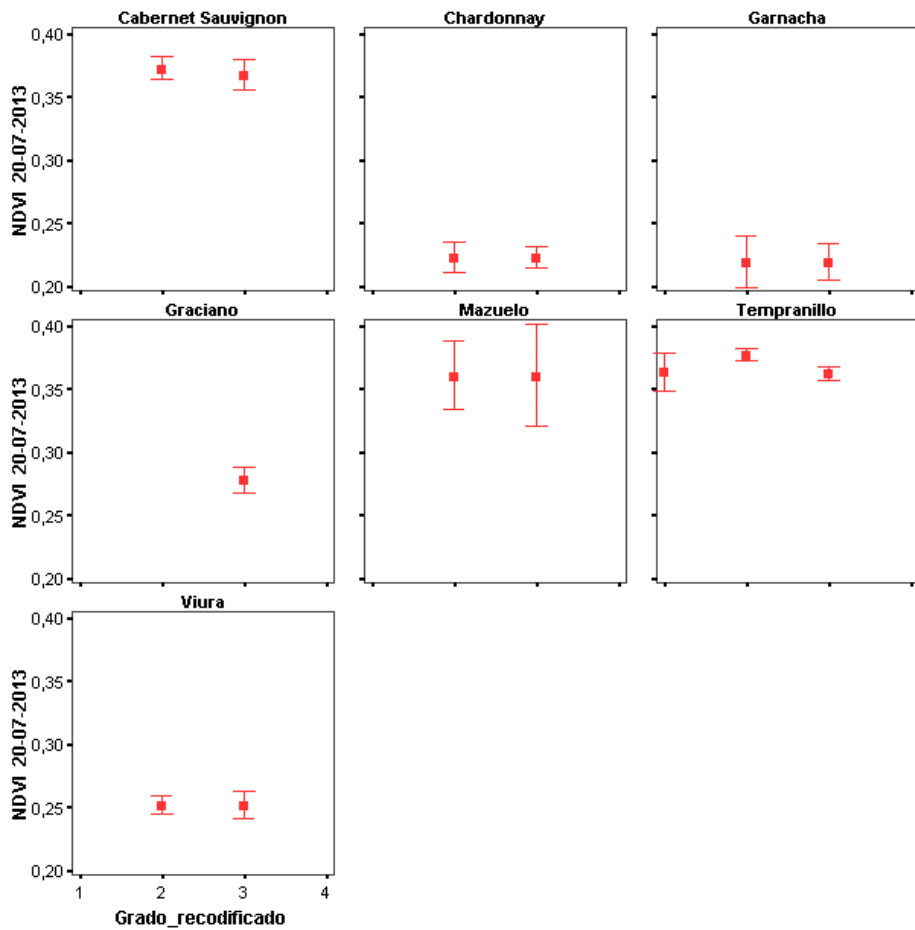


Figura 19. Barras de error por variedades. Fecha: 20/07/2013. Fuente: elaboración propia.

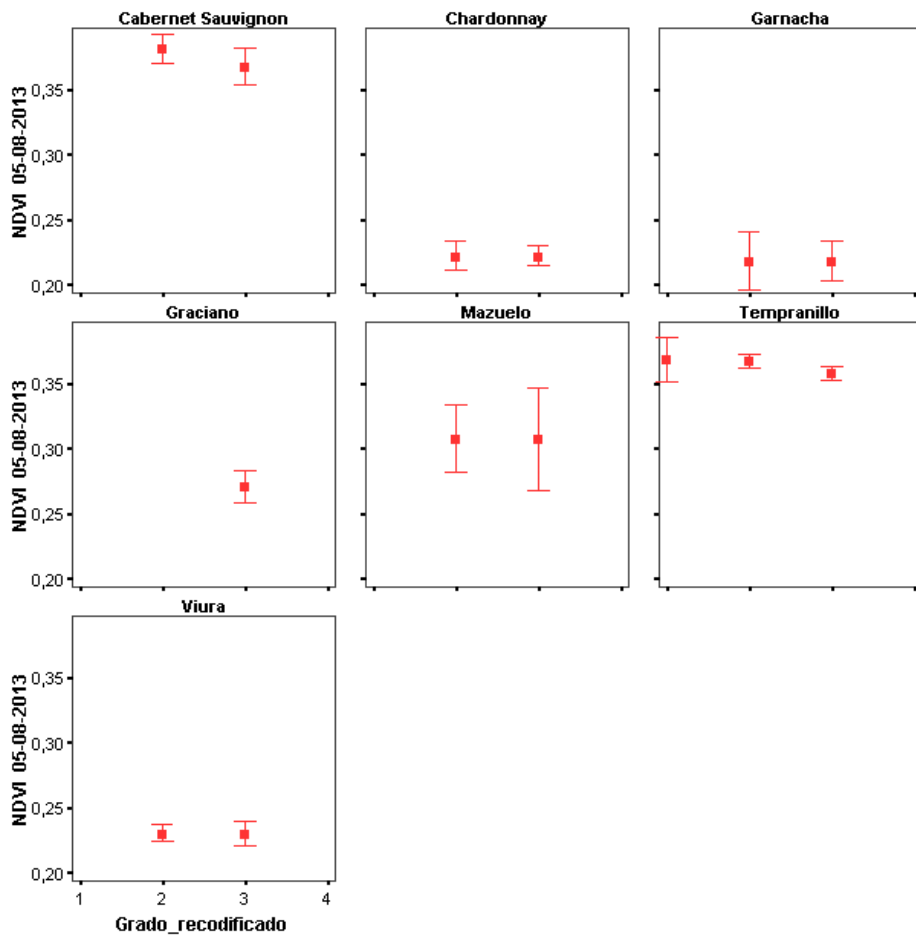
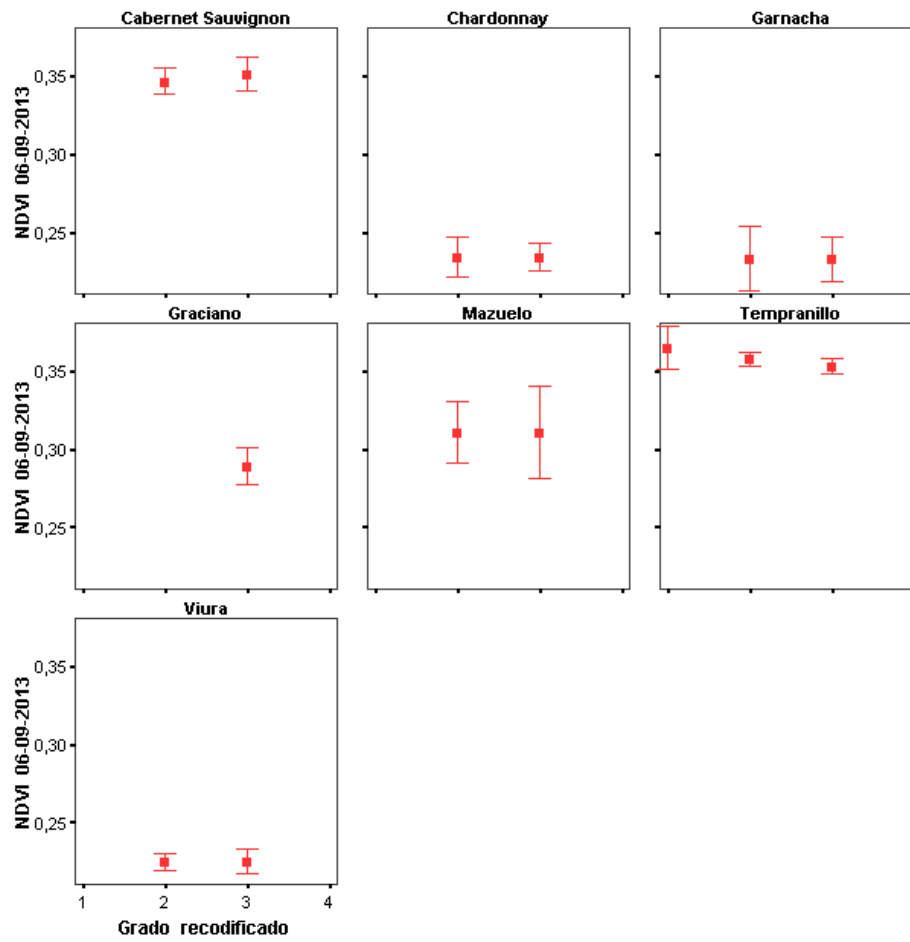


Figura 20. Barras de error por variedades. Fecha: 05/08/2013. Fuente: elaboración propia.



**Figura 21.** Barras de error por variedades. Fecha: 06/09/2013. Fuente: elaboración propia.

Año 2014

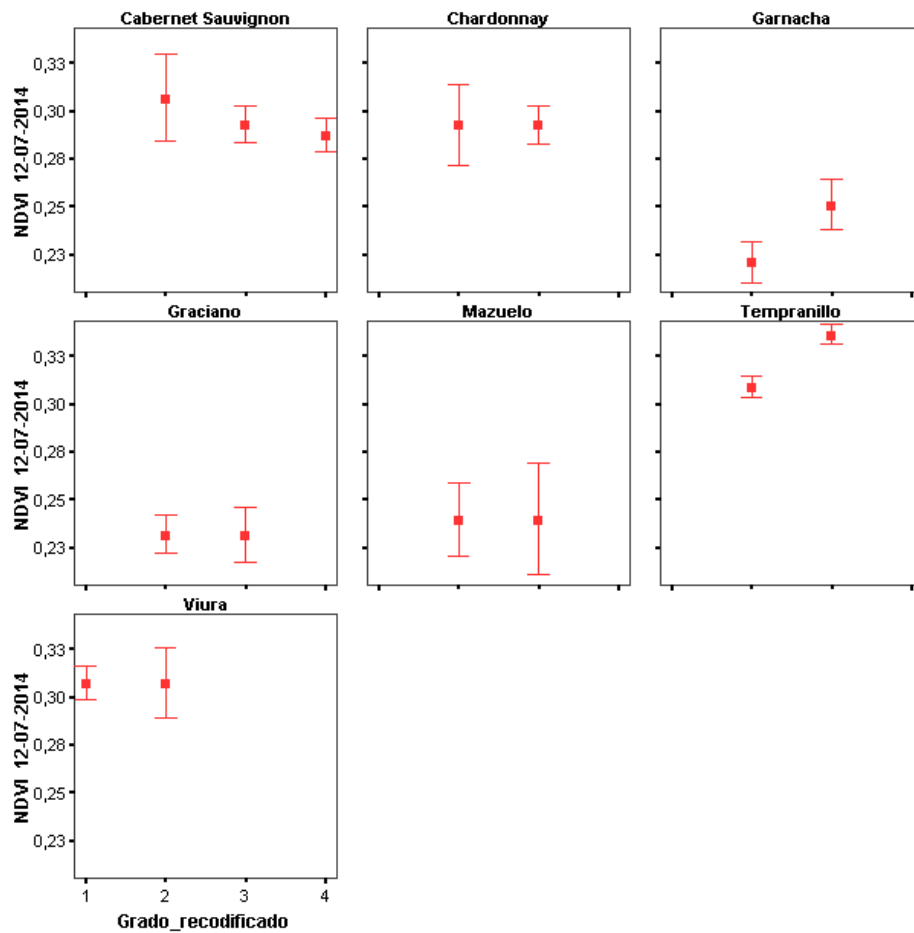


Figura 22. Barras de error por variedades. Fecha: 12/07/2014. Fuente: elaboración propia.

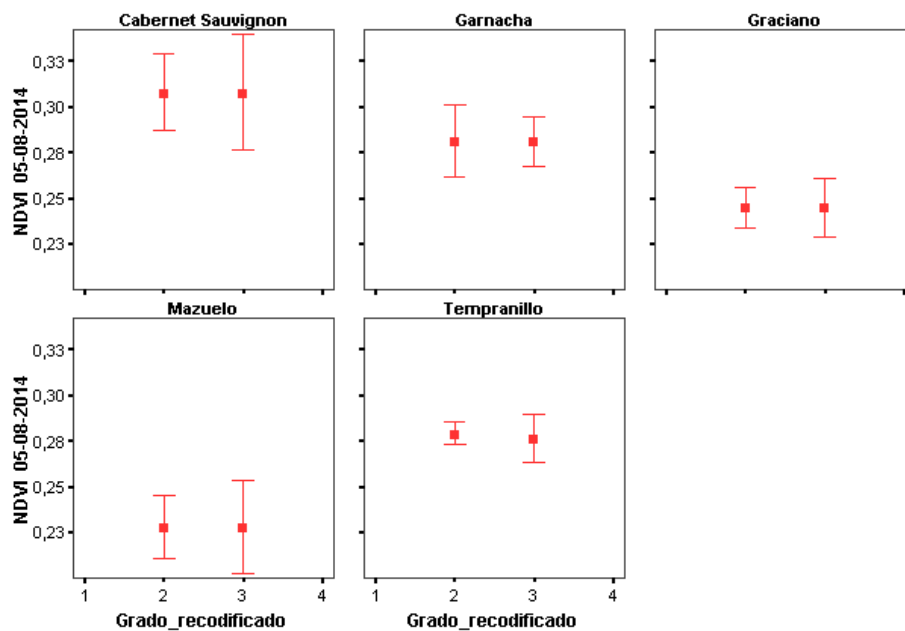


Figura 23. Barras de error por variedades. Fecha: 05/08/2014. Fuente: elaboración propia.

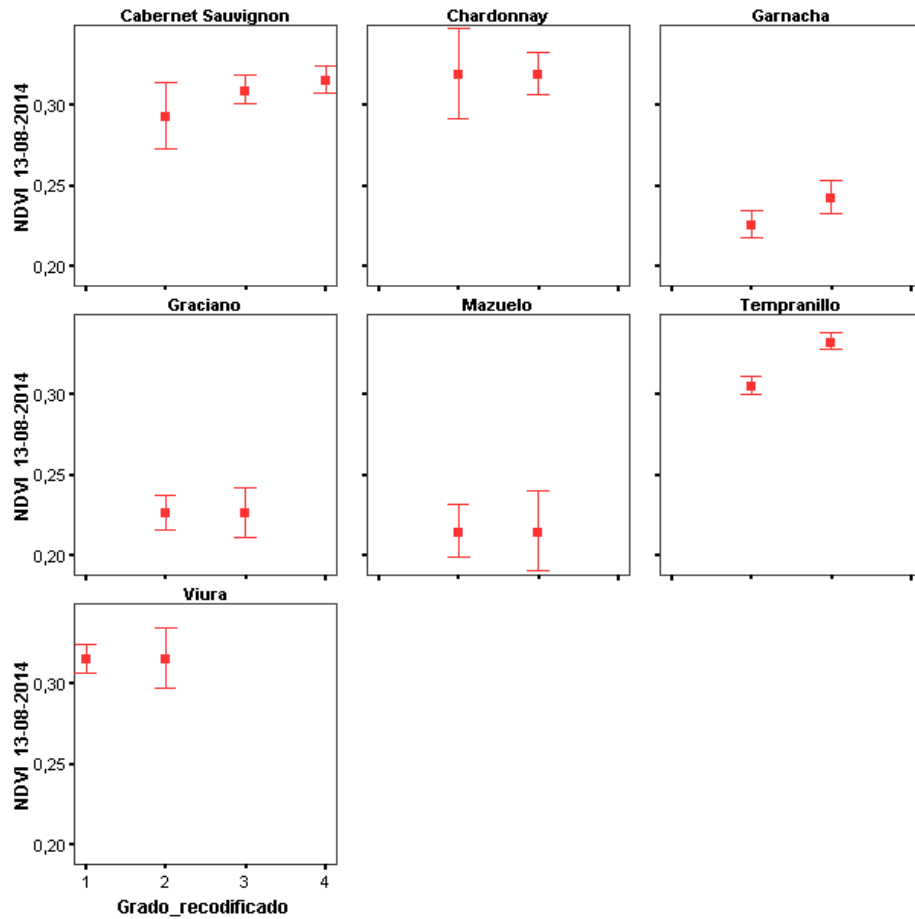


Figura 24. Barras de error por variedades. Fecha: 13/08/2014. Fuente: elaboración propia.

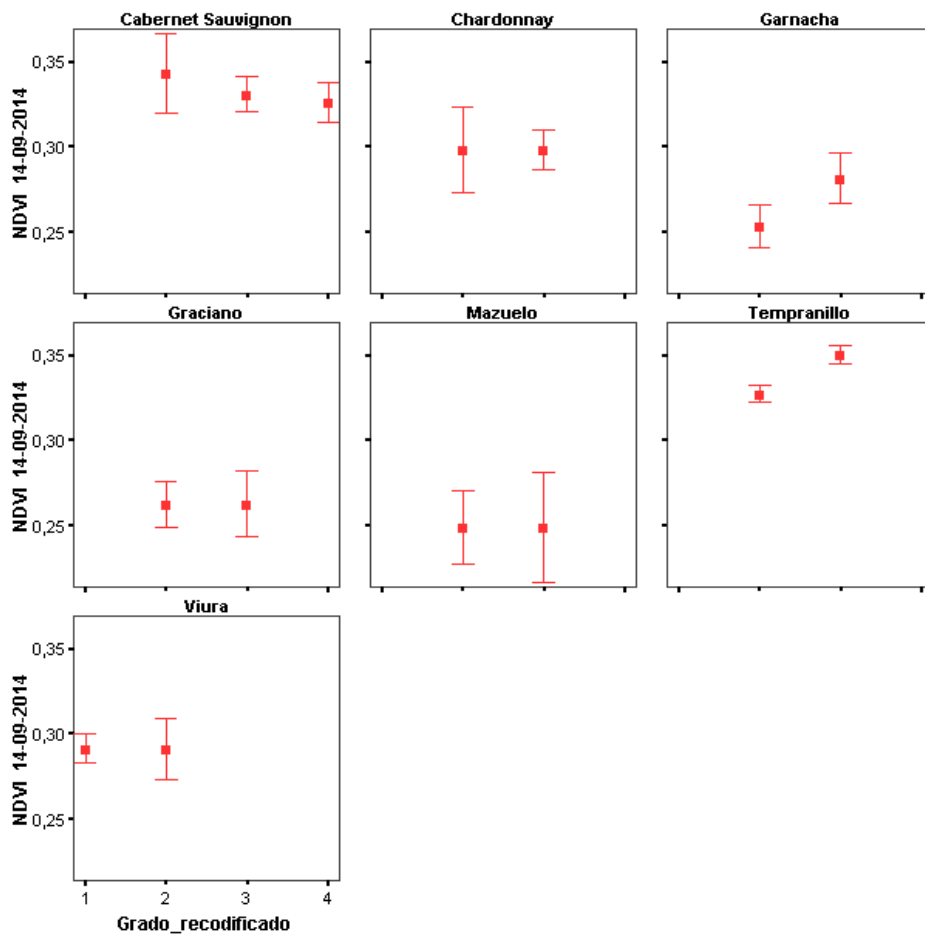


Figura 25. Barras de error por variedades. Fecha: 14/09/2014. Fuente: elaboración propia.

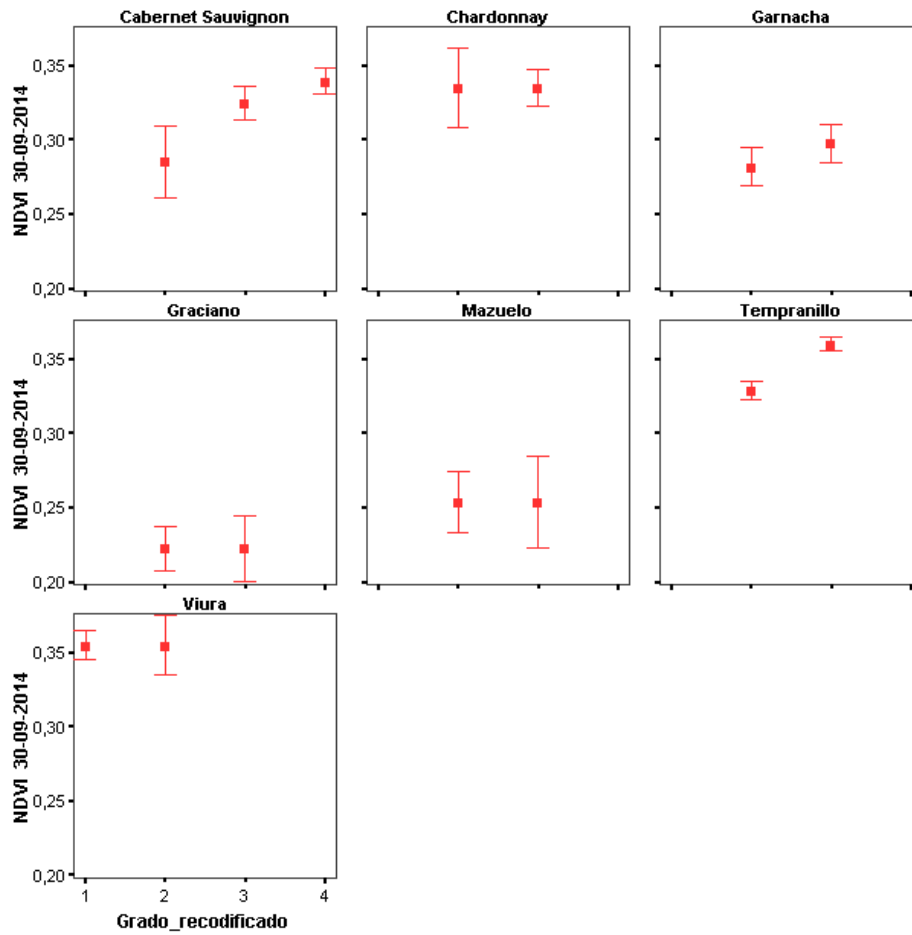


Figura 26. Barras de error por variedades. Fecha: 30/09/2014. Fuente: elaboración propia.

### Año 2015

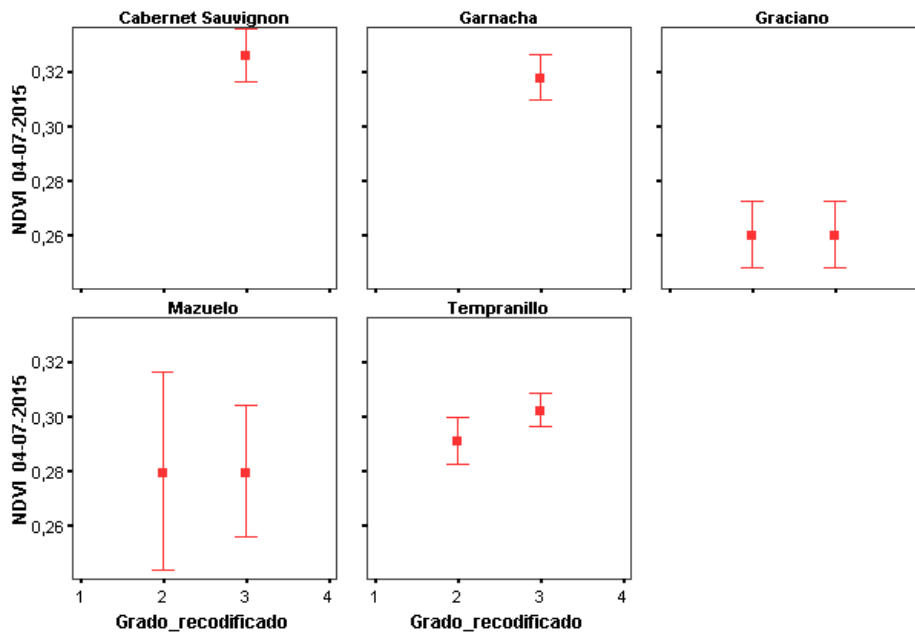


Figura 27. Barras de error por variedades. Fecha: 04/07/2015. Fuente: elaboración propia.

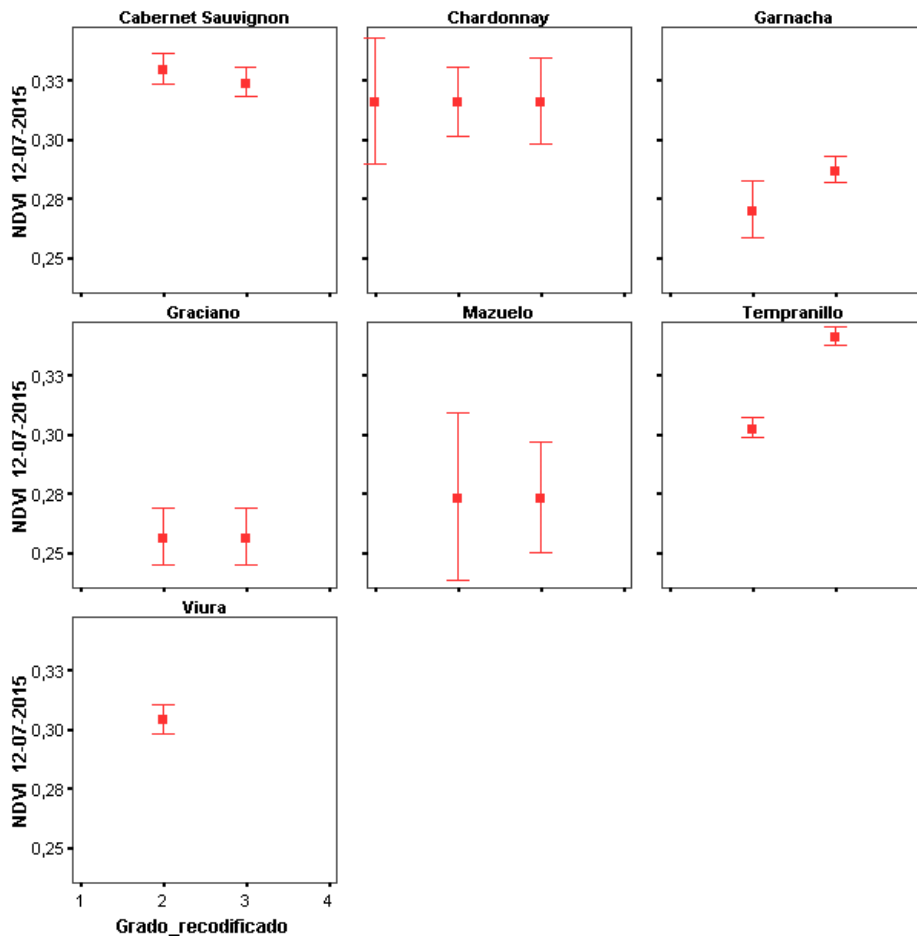


Figura 28. Barras de error por variedades. Fecha: 12/07/2015. Fuente: elaboración propia.

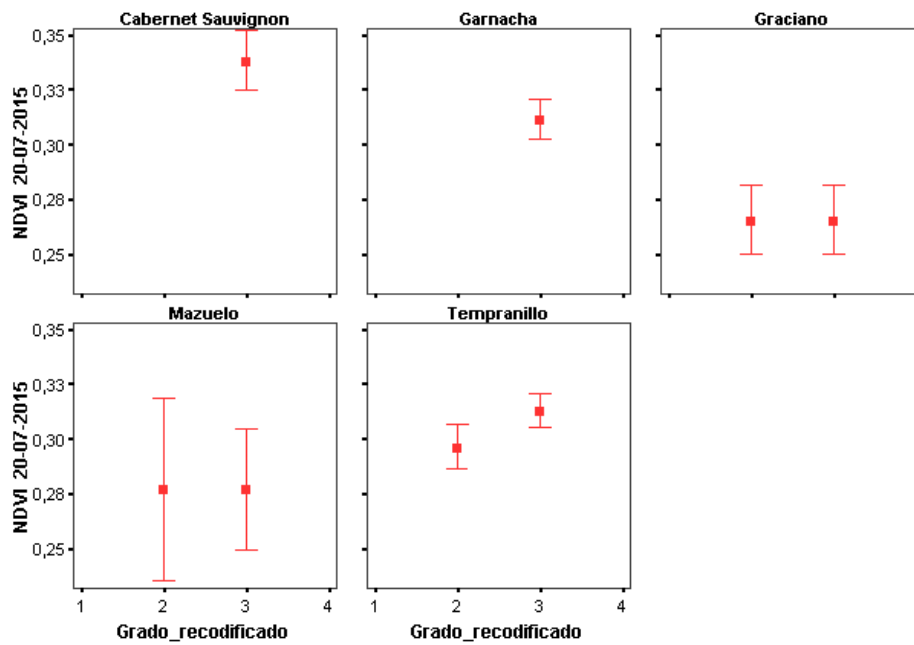
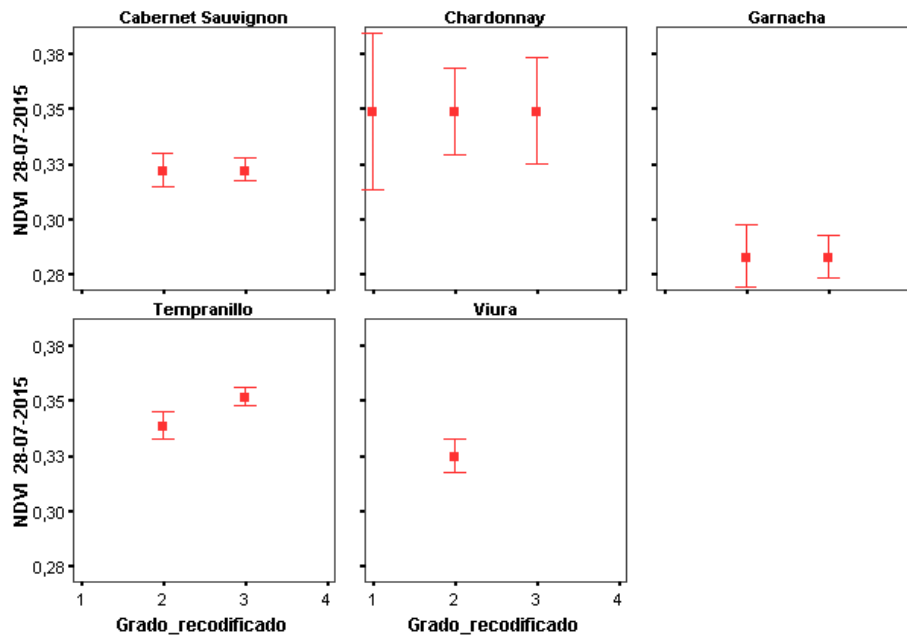
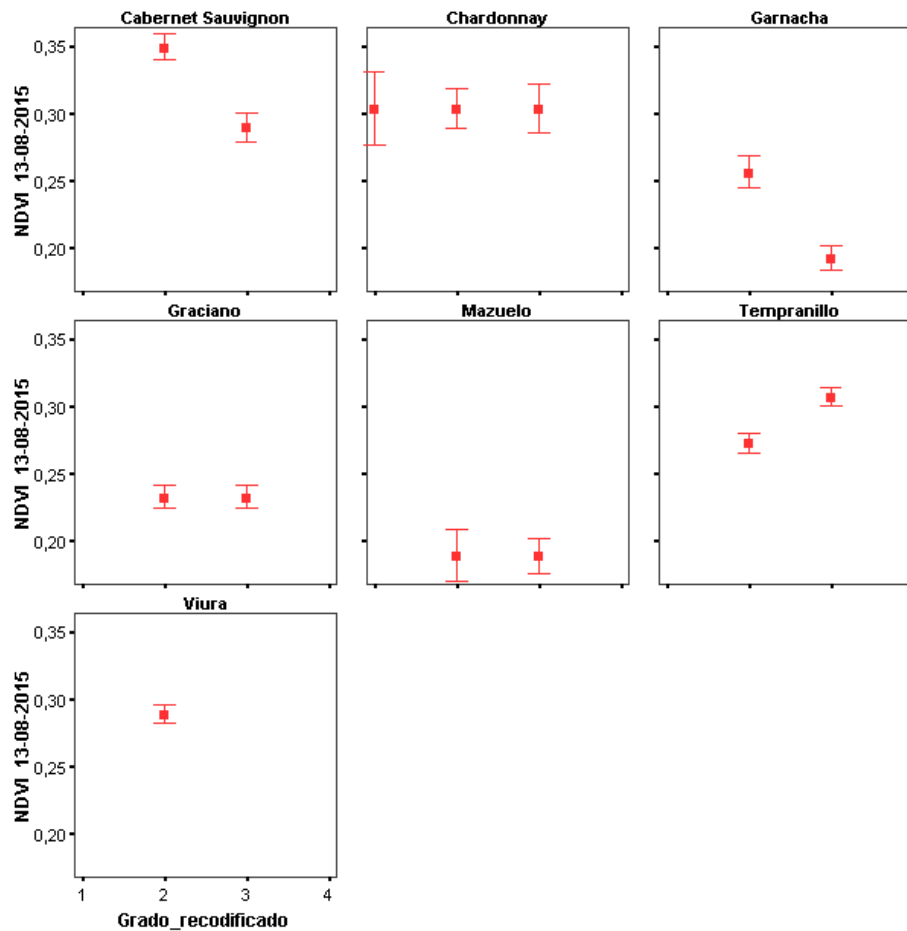


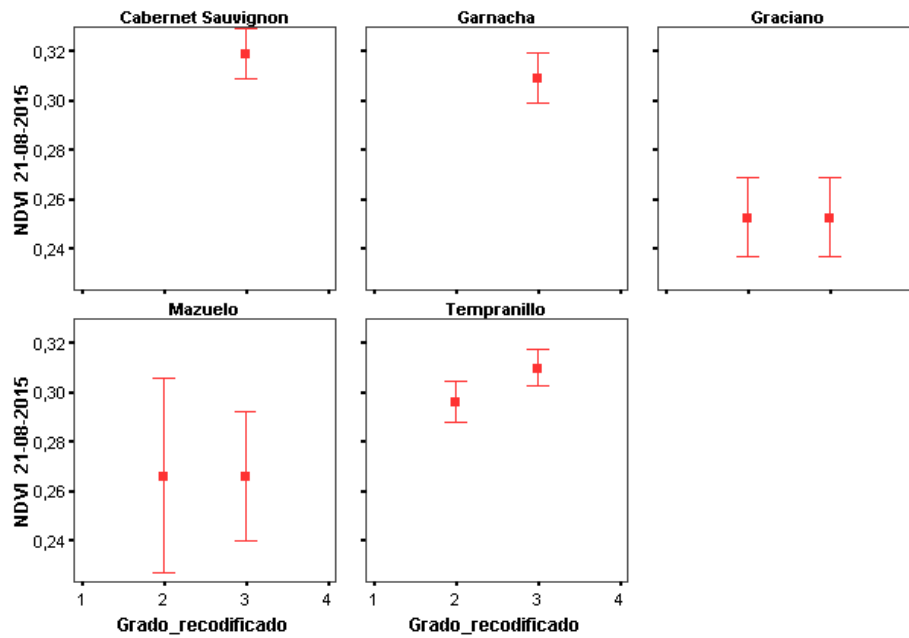
Figura 29. Barras de error por variedades. Fecha: 20/07/2015. Fuente: elaboración propia.



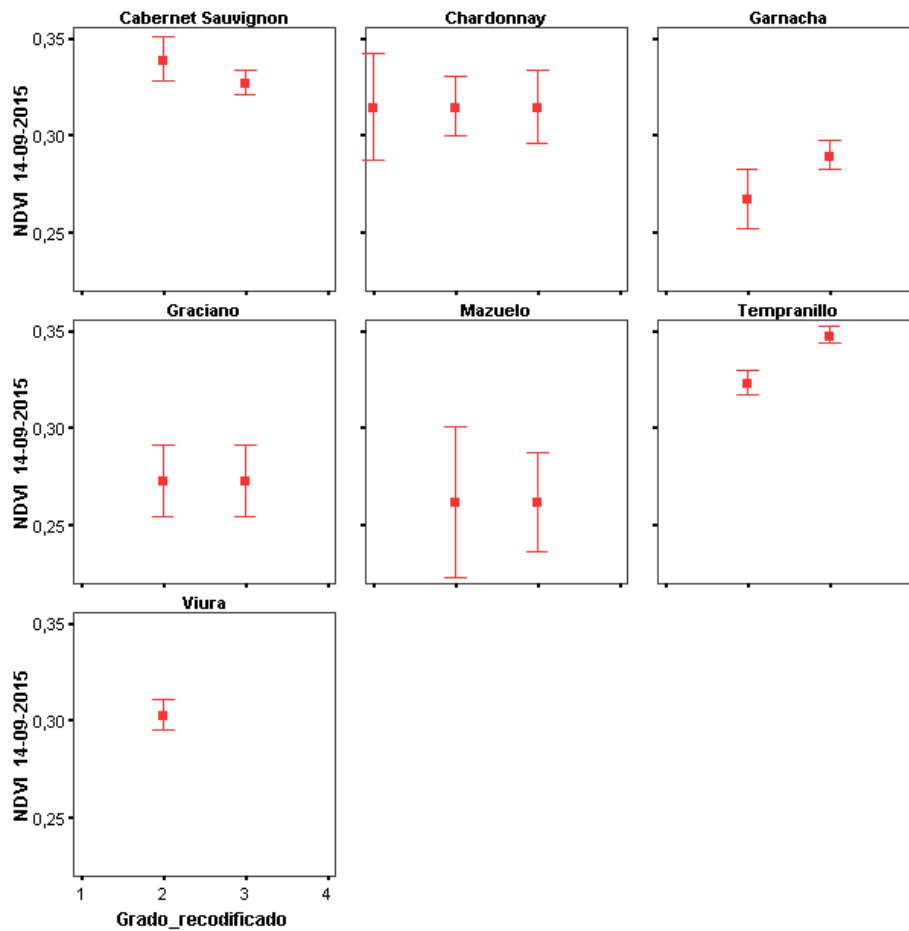
**Figura 30.** Barras de error por variedades. Fecha: 28/07/2015. Fuente: elaboración propia.



**Figura 31.** Barras de error por variedades. Fecha: 13/08/2015. Fuente: elaboración propia.



**Figura 32.** Barras de error por variedades. Fecha: 21/08/2015. Fuente: elaboración propia.



**Figura 33.** Barras de error por variedades. Fecha: 14/09/2015. Fuente: elaboración propia.



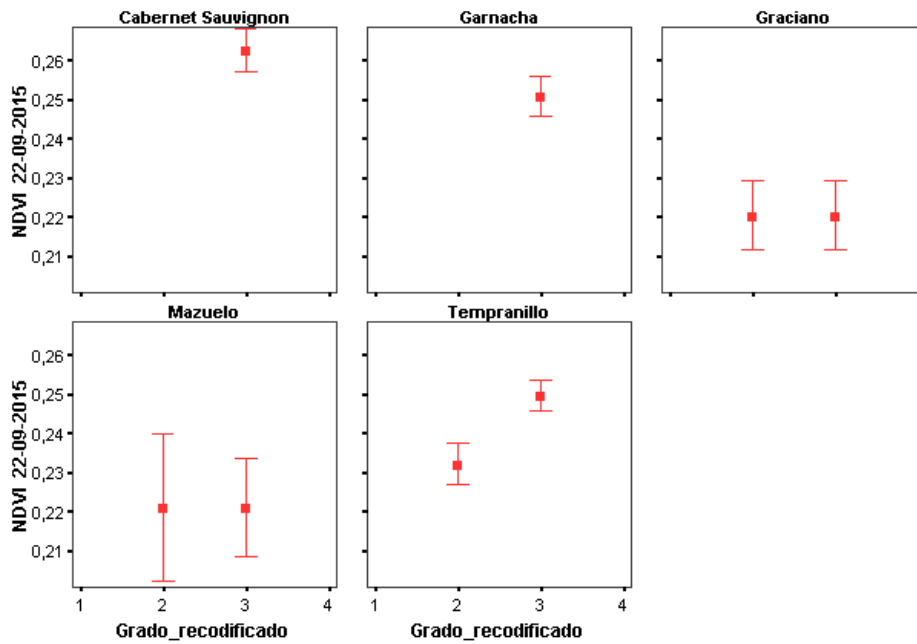


Figura 34. Barras de error por variedades. Fecha: 22/09/2015. Fuente: elaboración propia.

### Año 2016

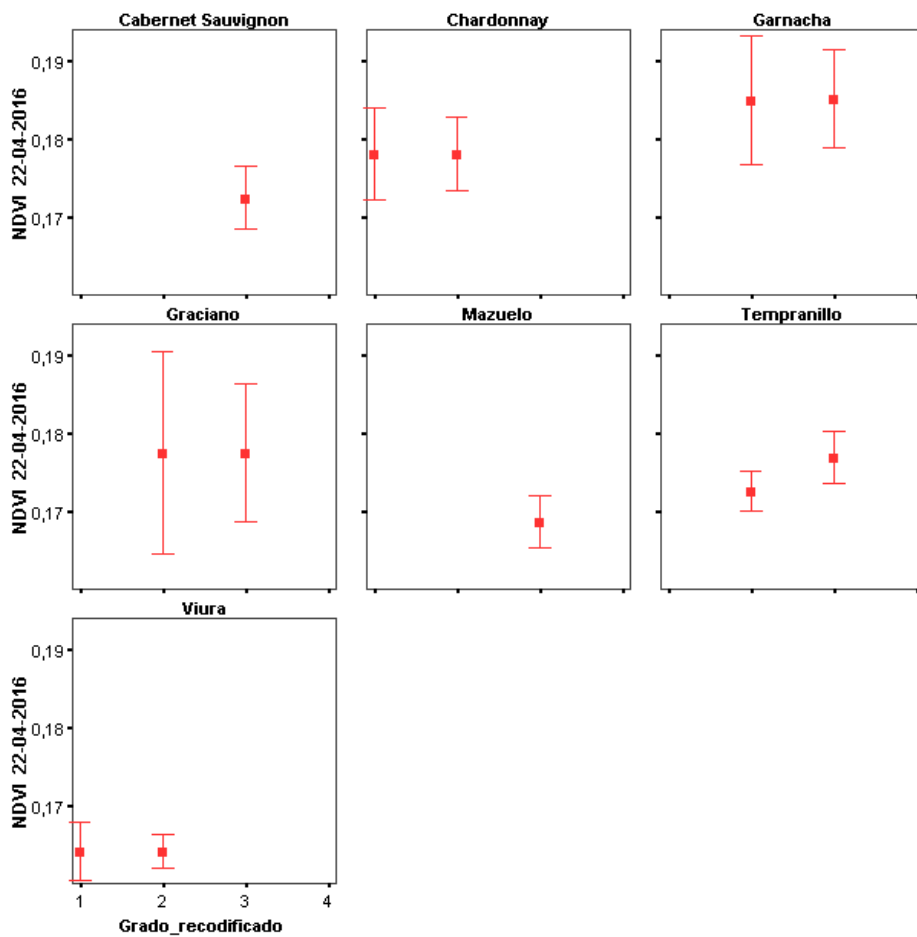
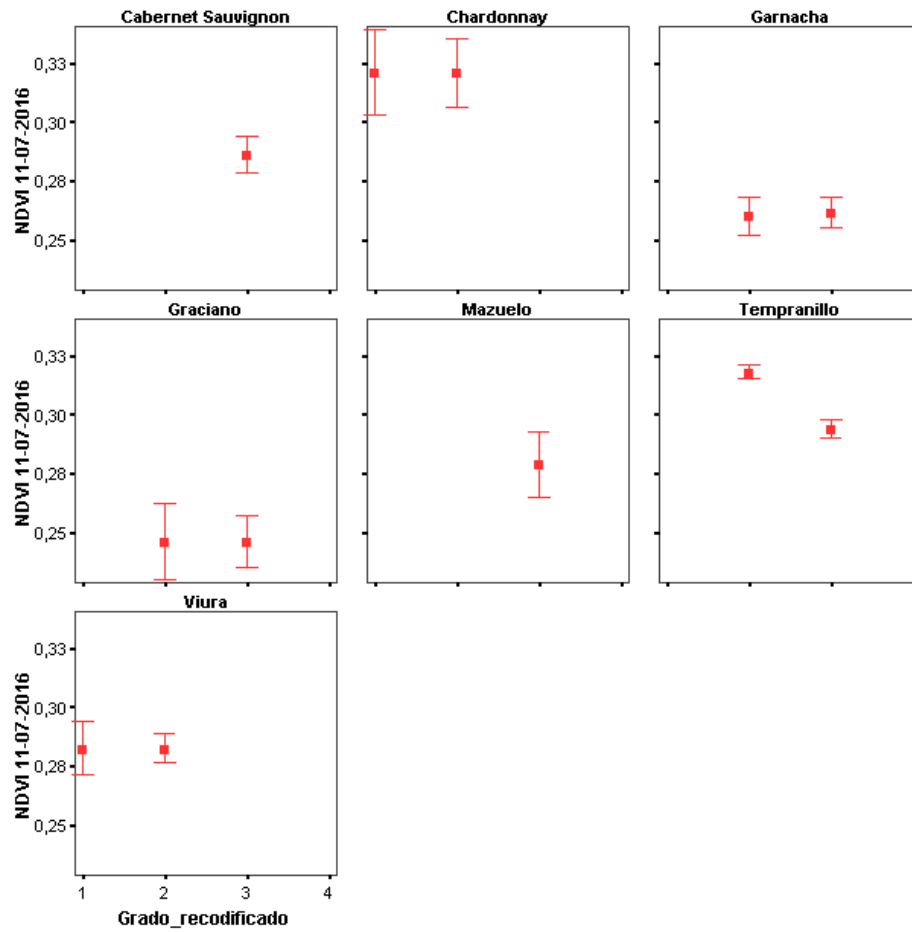
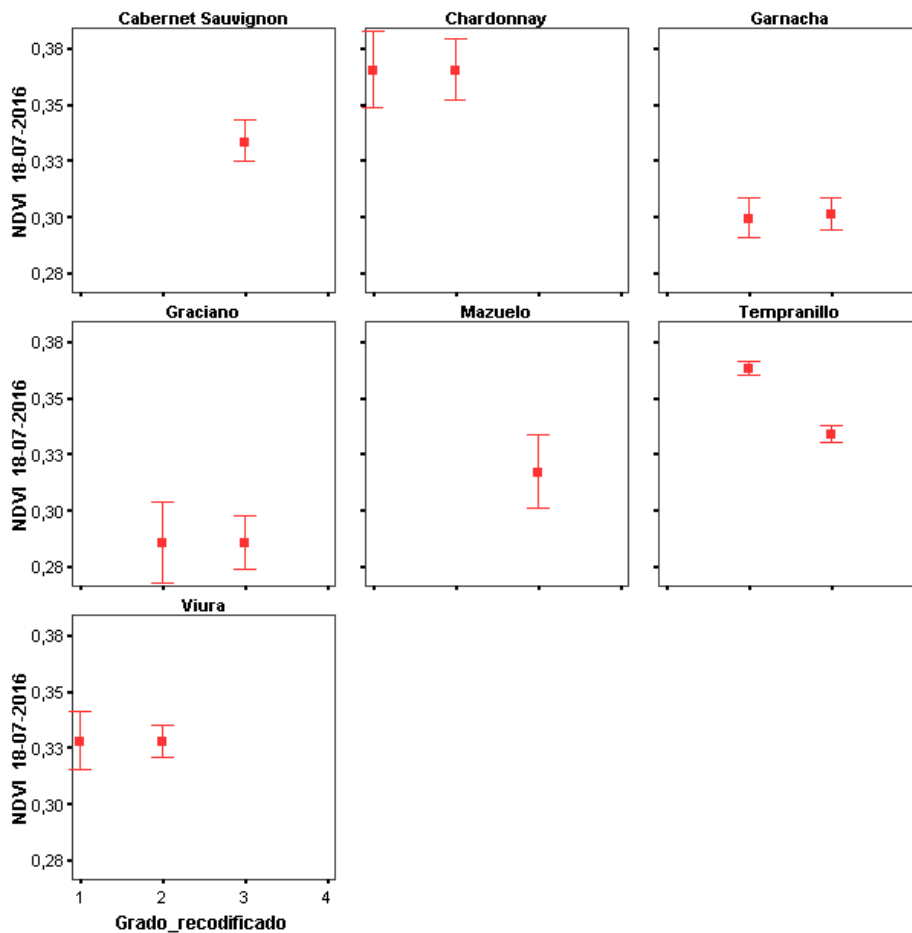


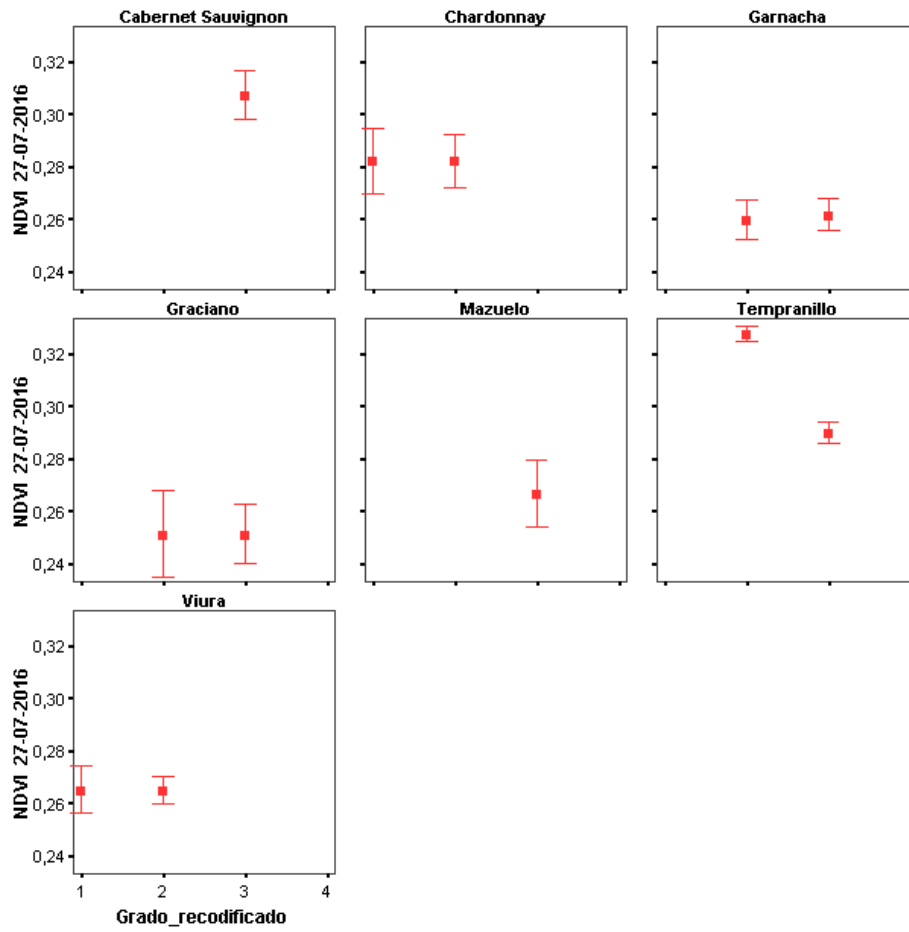
Figura 35. Barras de error por variedades. Fecha: 22/04/2016. Fuente: elaboración propia.



**Figura 36.** Barras de error por variedades. Fecha: 11/07/2016. Fuente: elaboración propia.



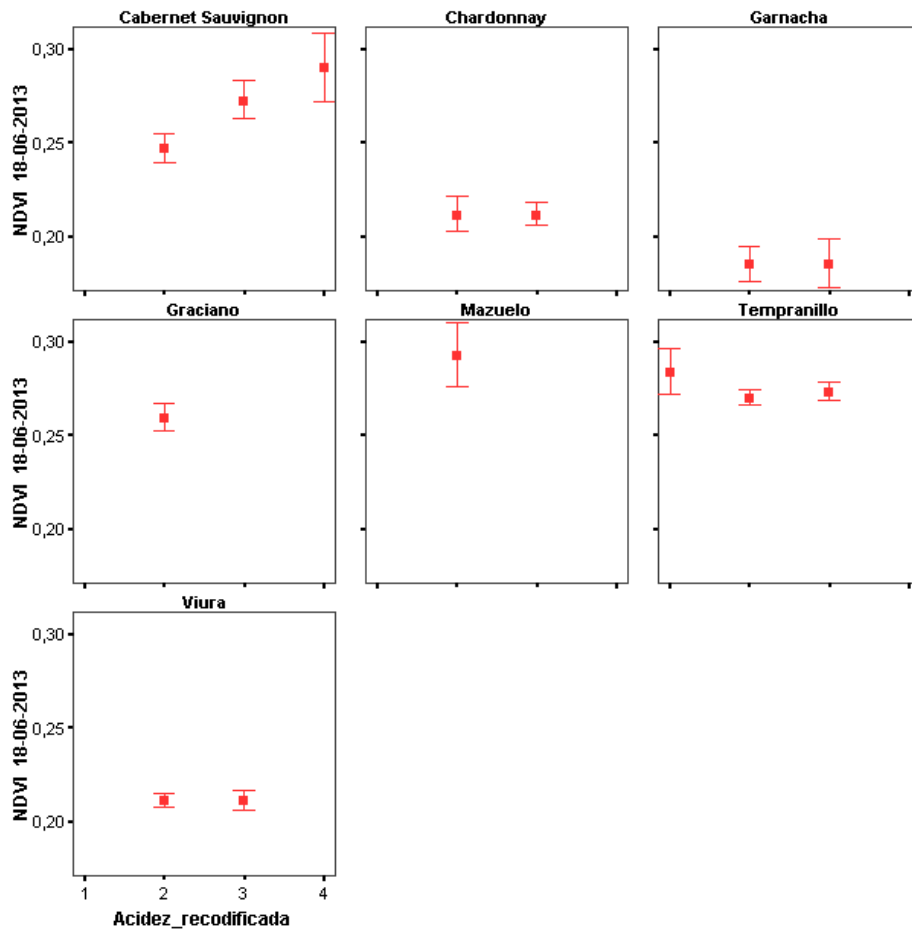
**Figura 37.** Barras de error por variedades. Fecha: 18/07/2016. Fuente: elaboración propia.



**Figura 38.** Barras de error por variedades. Fecha: 27/07/2016. Fuente: elaboración propia.

**ANEXO 2: GRÁFICOS DE BARRAS DE ERROR POR VARIEDADES. ANÁLISIS CORRELATIVO NDVI-ACIDEZ TOTAL.**

**Año 2013**



**Figura 39.** Barras de error por variedades. Fecha: 18/06/2013. Fuente: elaboración propia.

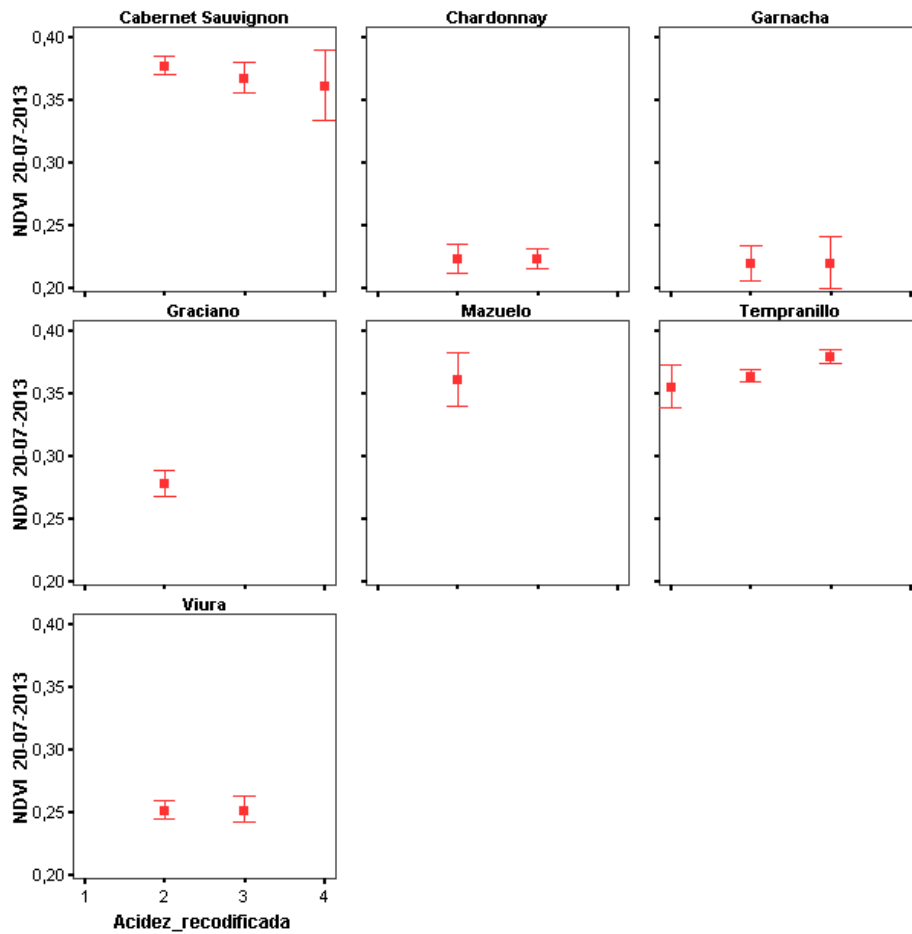


Figura 40. Barras de error por variedades. Fecha: 20/07/2013. Fuente: elaboración propia.

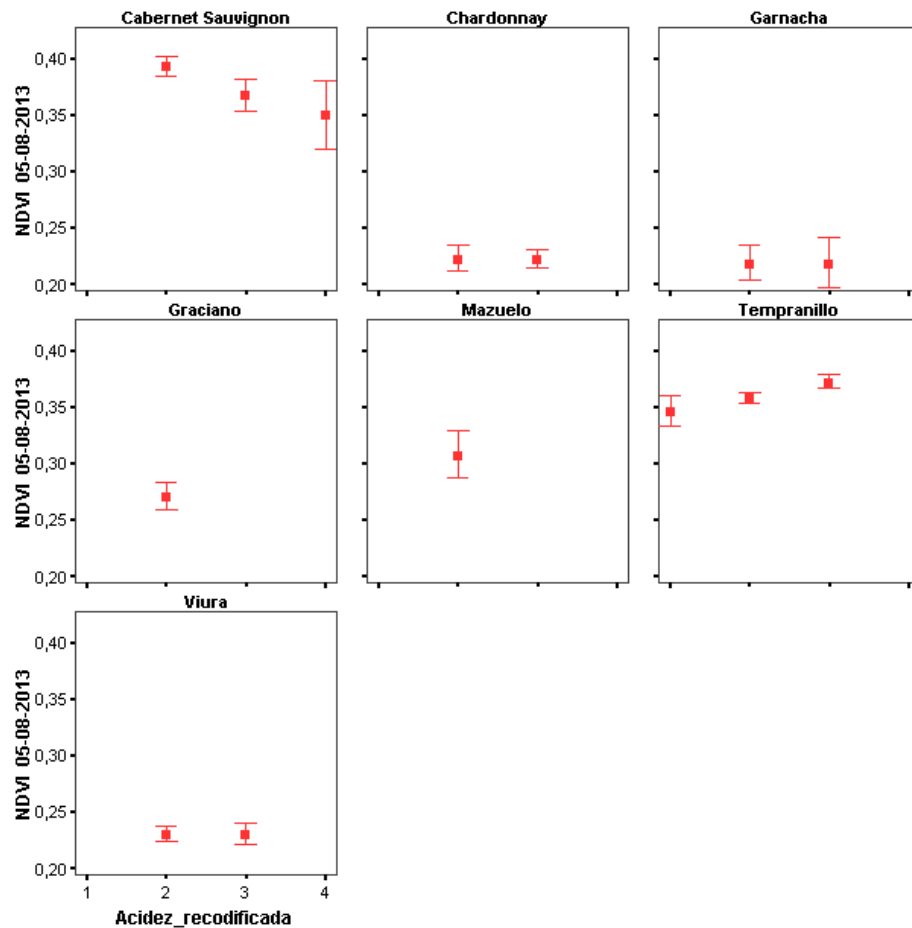
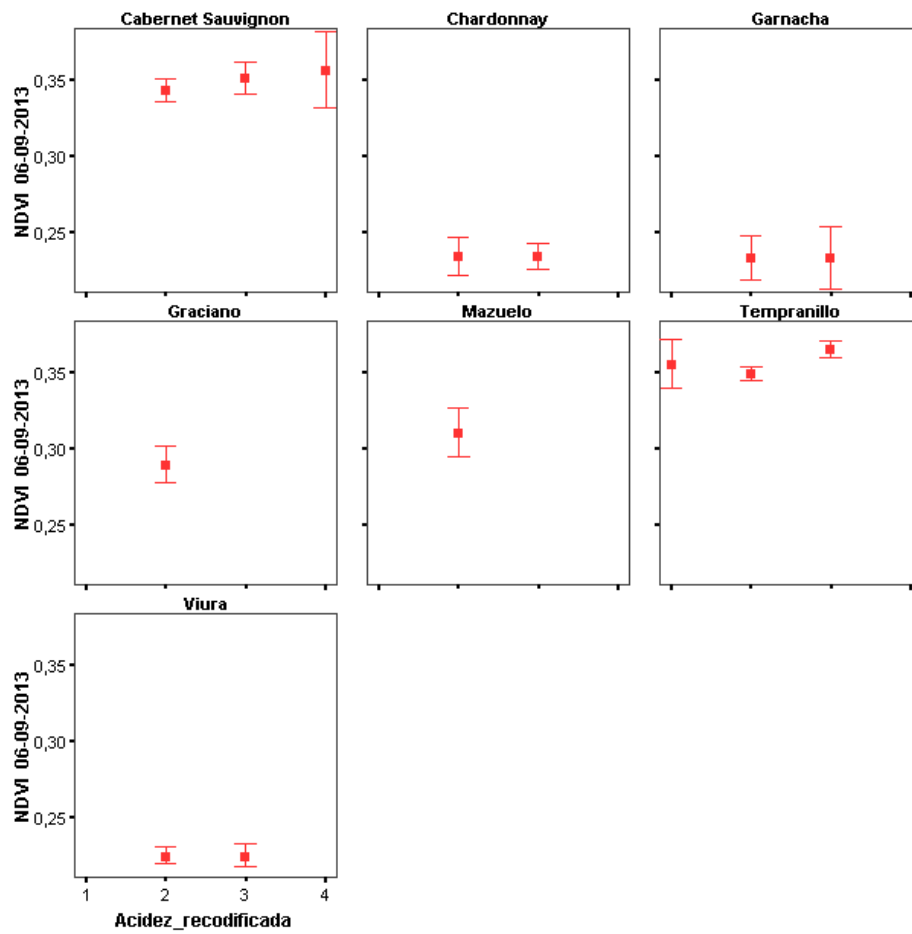


Figura 41. Barras de error por variedades. Fecha: 05/08/2013. Fuente: elaboración propia.



**Figura 42.** Barras de error por variedades. Fecha: 06/09/2013. Fuente: elaboración propia.

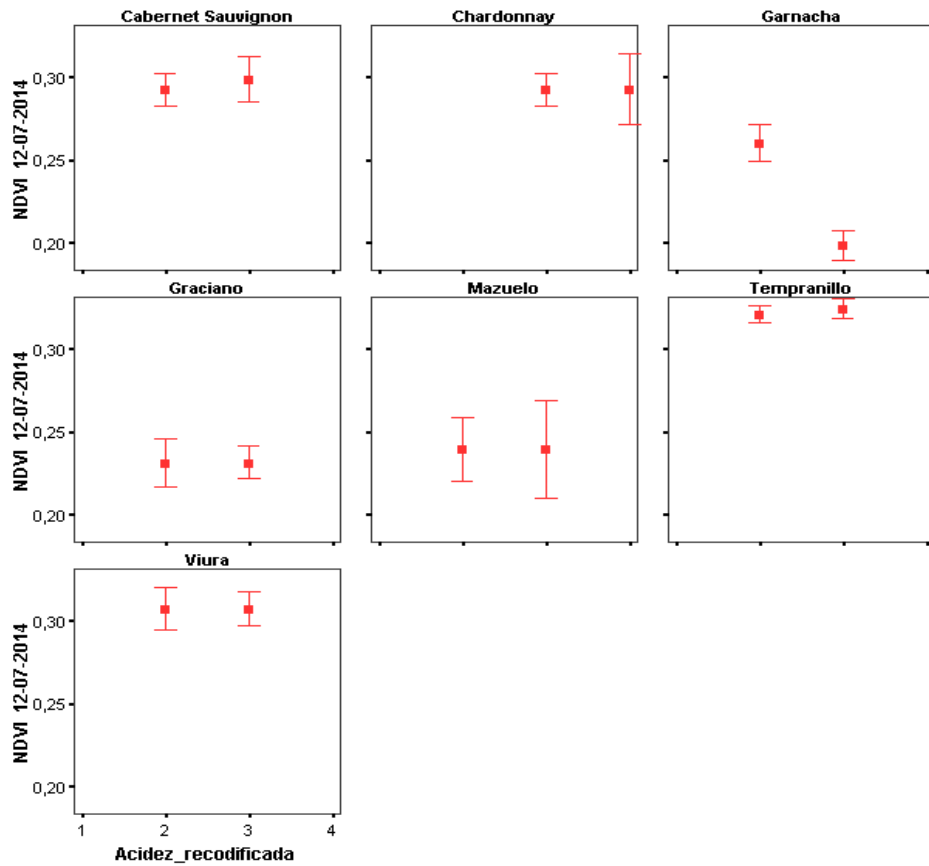


Figura 43. Barras de error por variedades. Fecha: 12/07/2014. Fuente: elaboración propia.

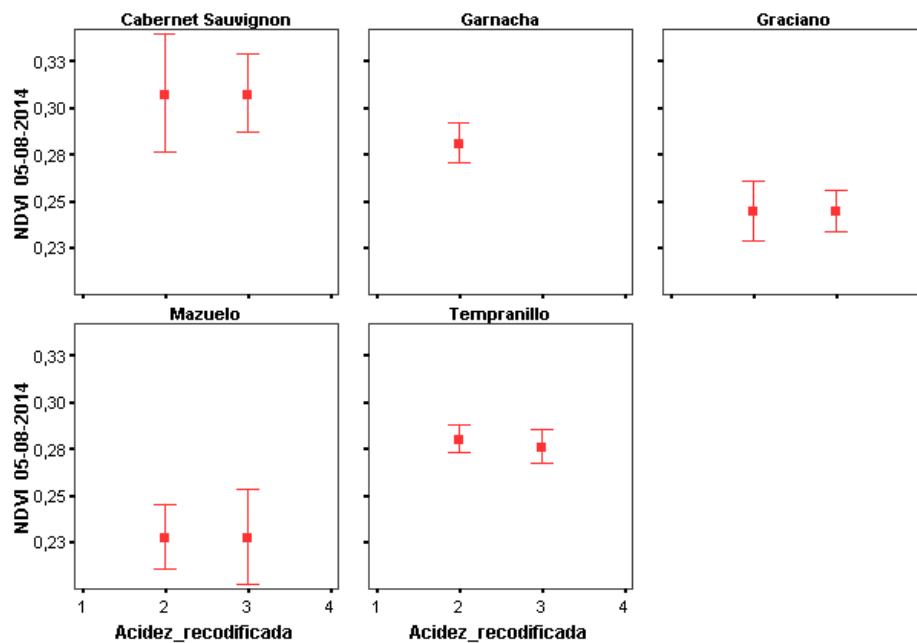


Figura 44. Barras de error por variedades. Fecha: 05/08/2014. Fuente: elaboración propia.

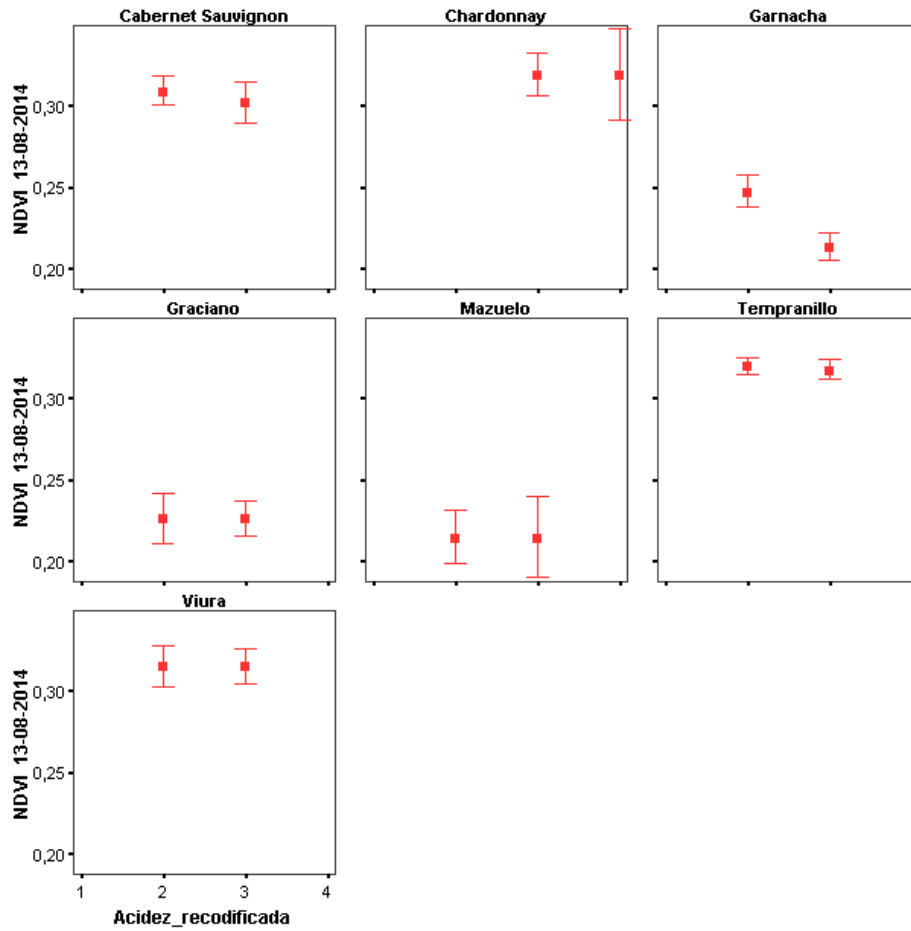


Figura 45. Barras de error por variedades. Fecha: 13/08/2014. Fuente: elaboración propia.

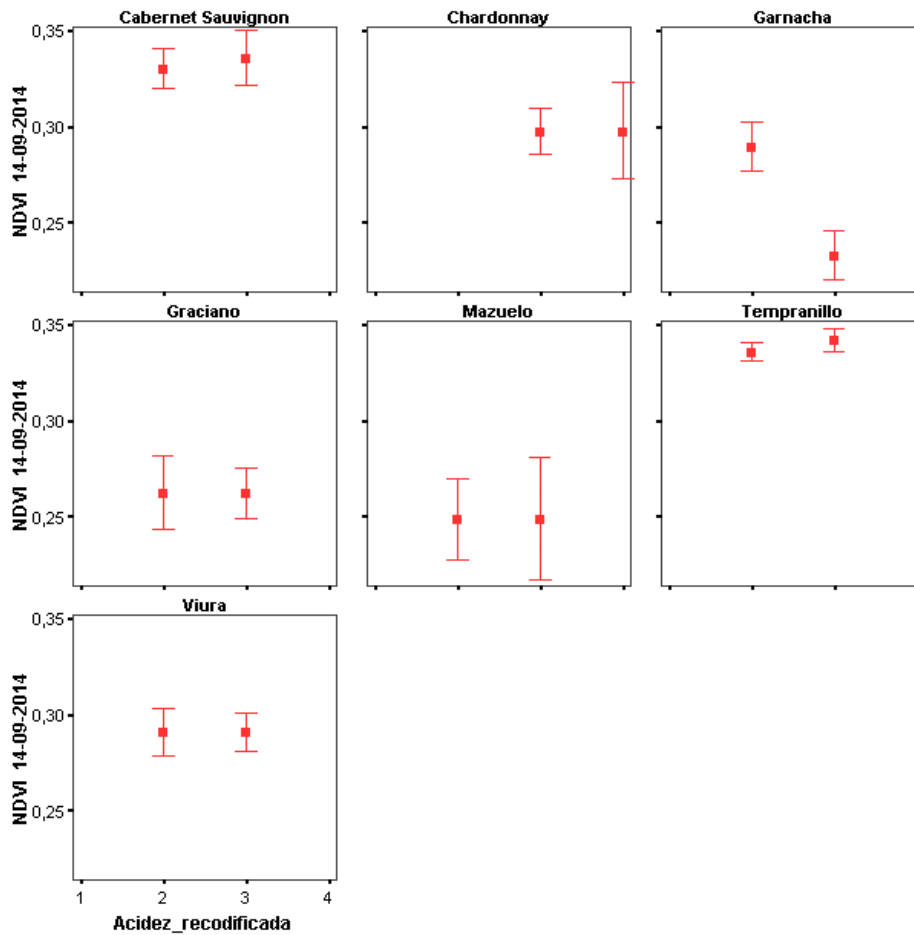


Figura 46. Barras de error por variedades. Fecha: 14/09/2014. Fuente: elaboración propia.



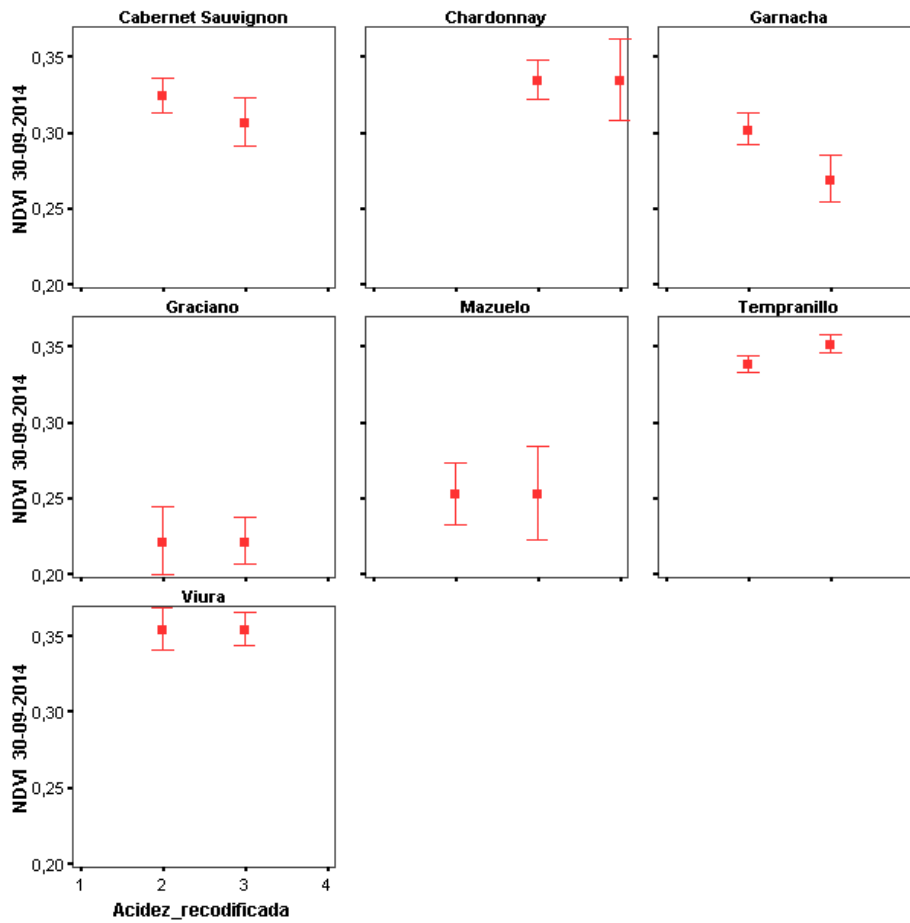


Figura 47. Barras de error por variedades. Fecha: 30/09/2014. Fuente: elaboración propia.

### Año 2015

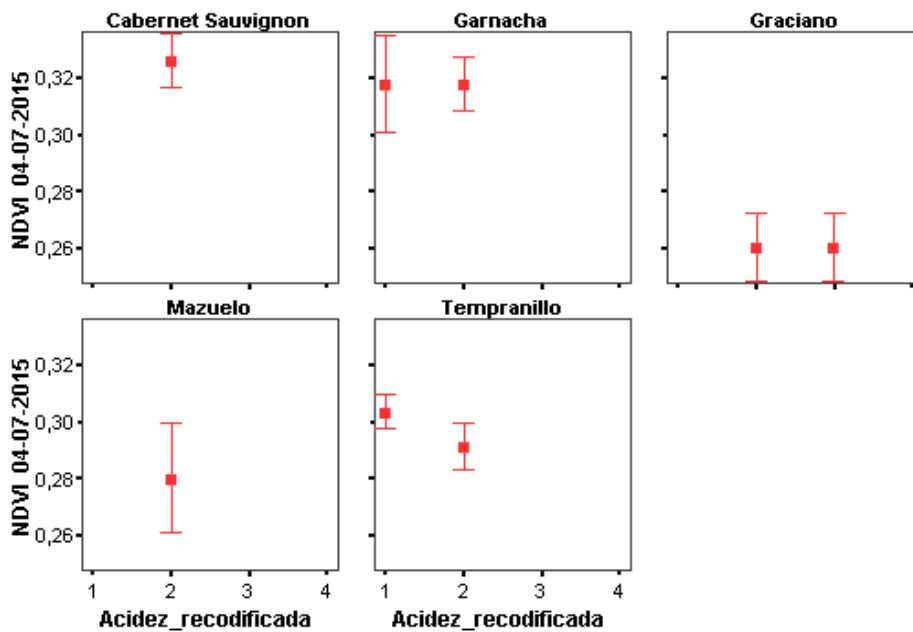


Figura 48. Barras de error por variedades. Fecha: 04/07/2015. Fuente: elaboración propia.

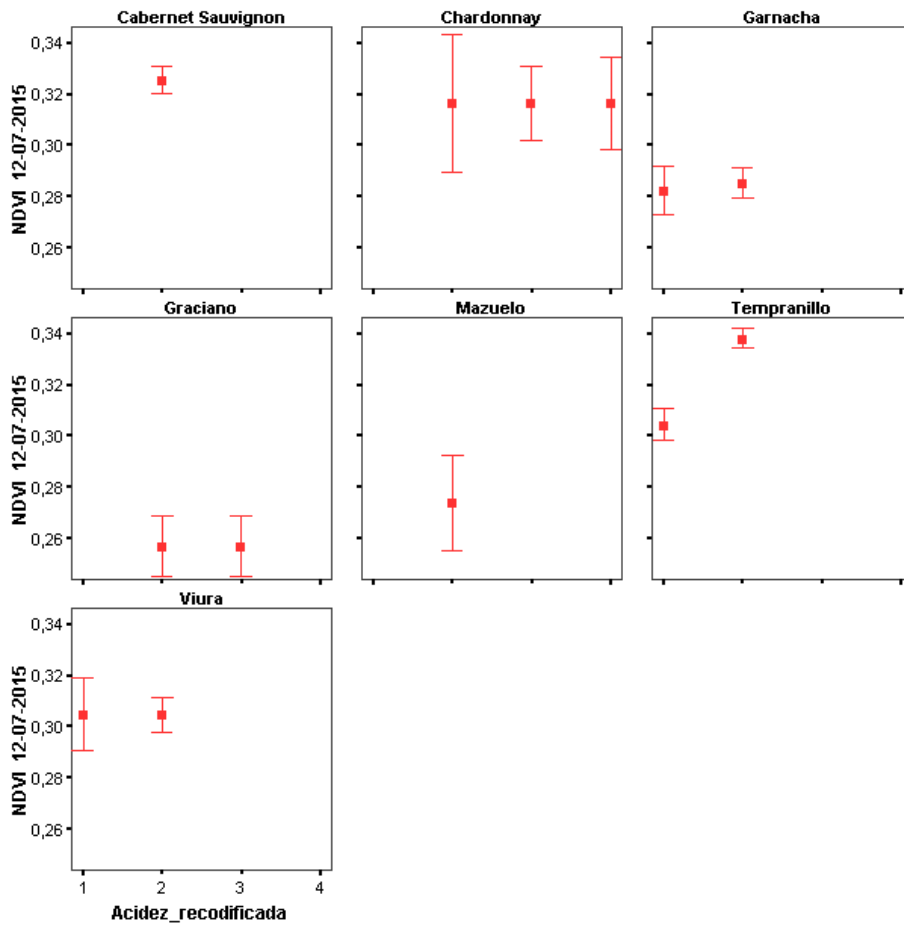


Figura 49. Barras de error por variedades. Fecha: 12/07/2015. Fuente: elaboración propia.

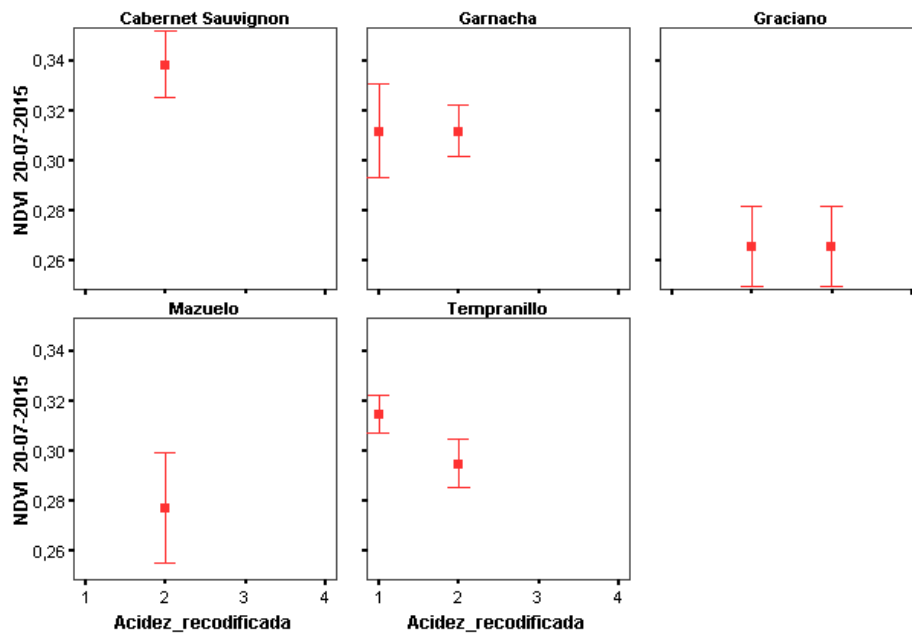


Figura 50. Barras de error por variedades. Fecha: 20/07/2015. Fuente: elaboración propia.

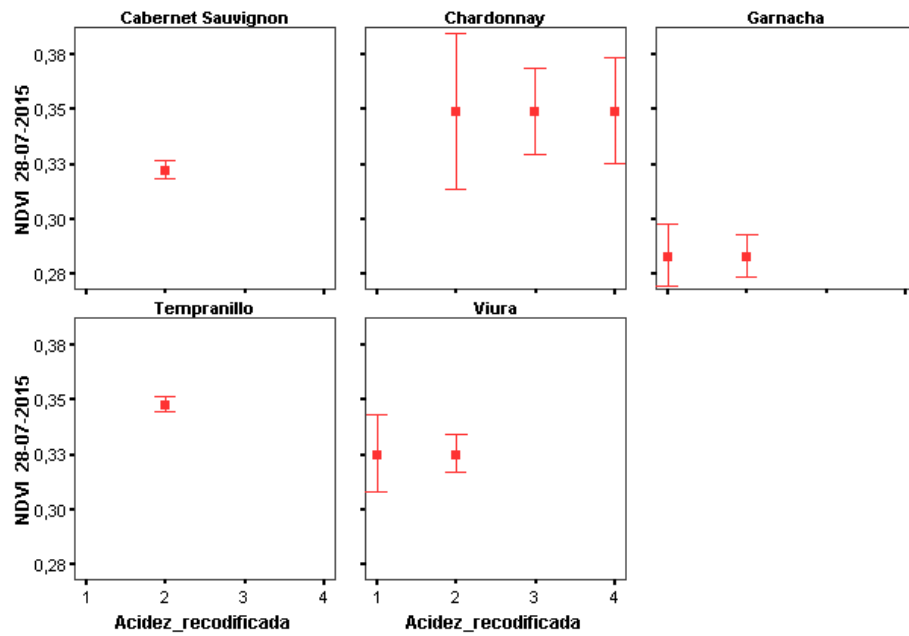


Figura 51. Barras de error por variedades. Fecha: 28/07/2015. Fuente: elaboración propia.

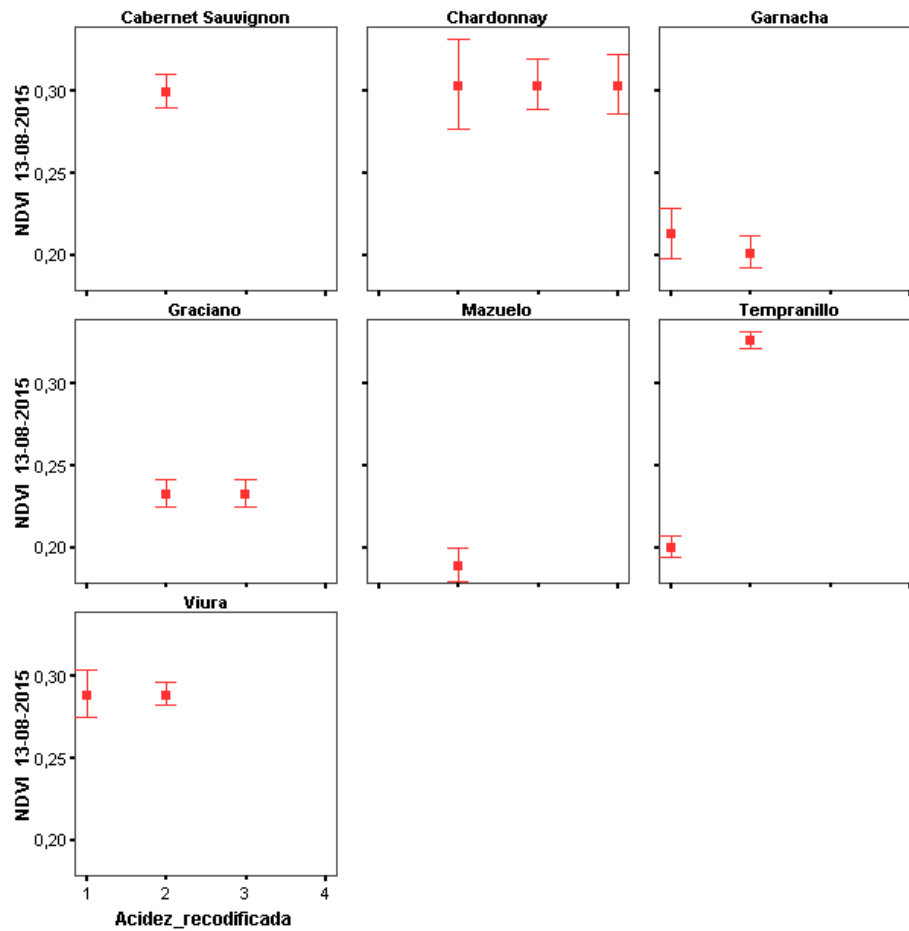


Figura 52. Barras de error por variedades. Fecha: 13/08/2015. Fuente: elaboración propia.

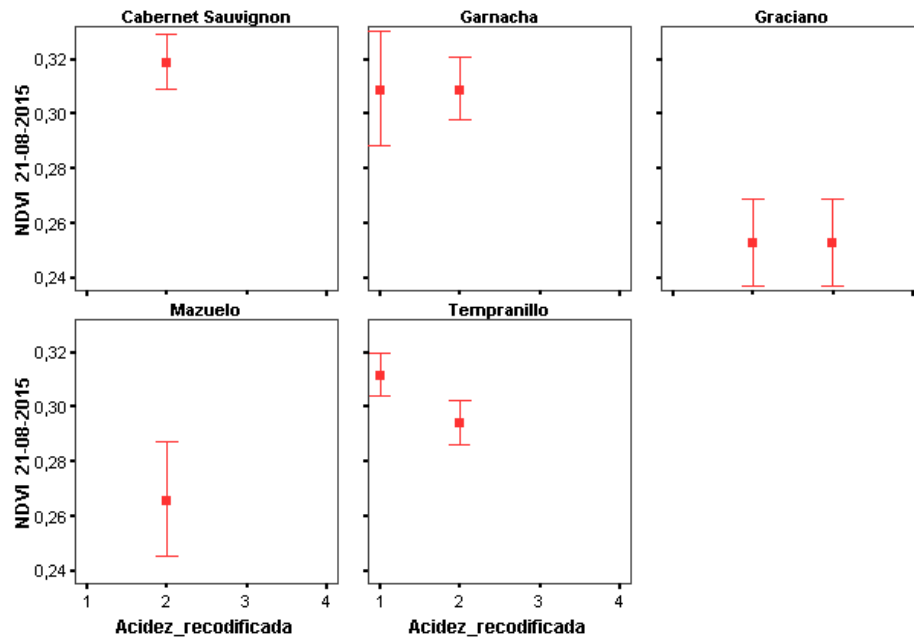


Figura 53. Barras de error por variedades. Fecha: 21/08/2015. Fuente: elaboración propia.

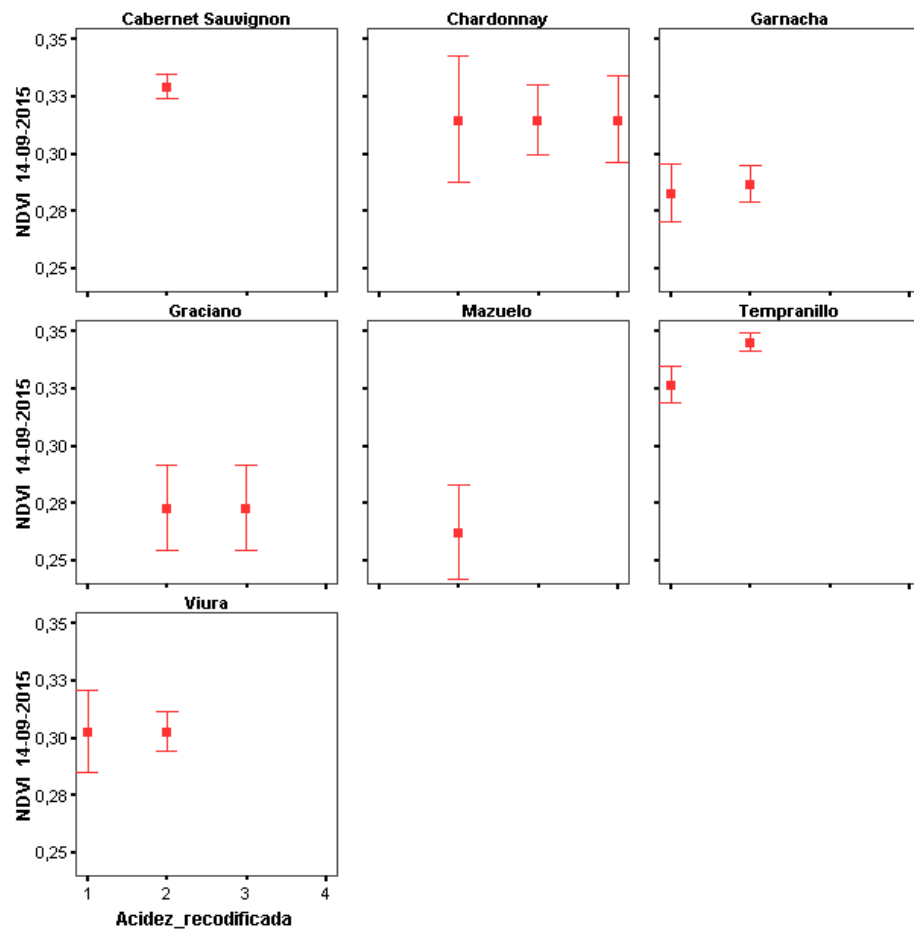


Figura 54. Barras de error por variedades. Fecha: 14/09/2015. Fuente: elaboración propia.

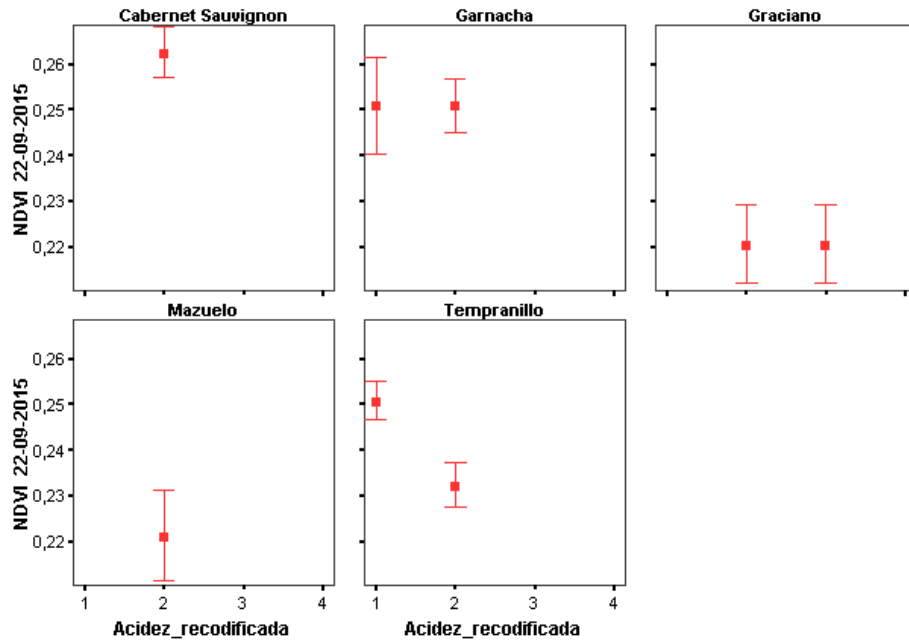


Figura 55. Barras de error por variedades. Fecha: 22/09/2015. Fuente: elaboración propia.

### Año 2016

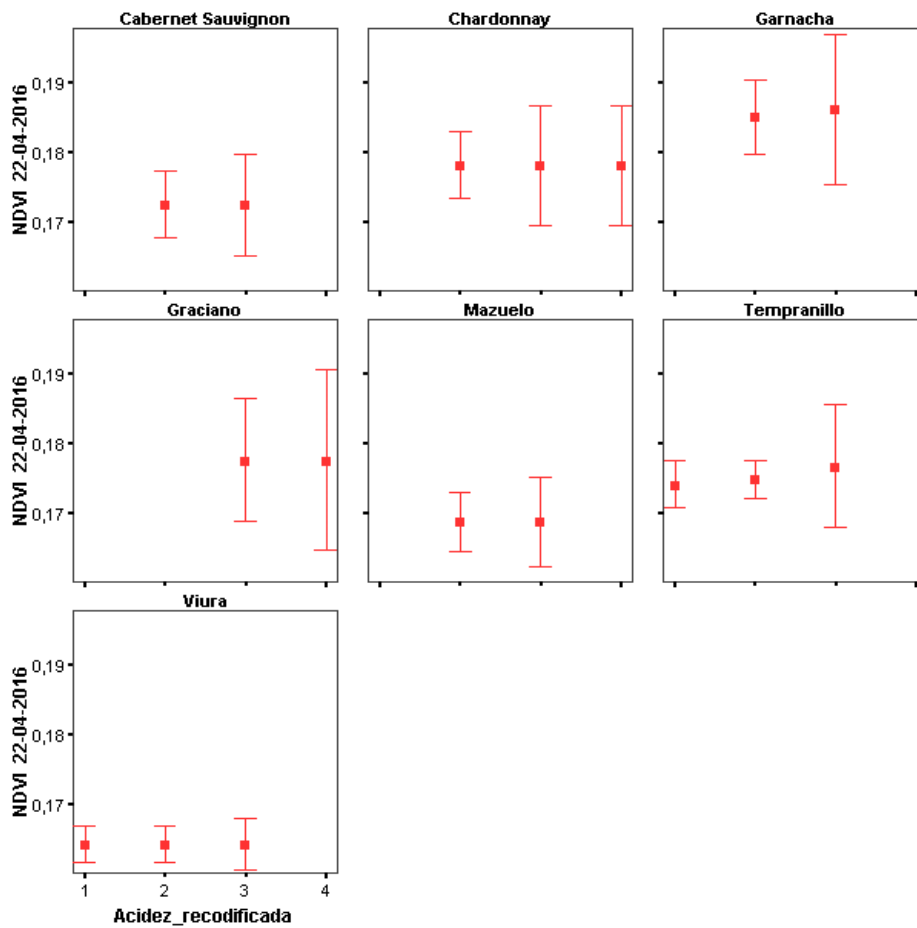


Figura 56. Barras de error por variedades. Fecha: 22/04/2016. Fuente: elaboración propia.

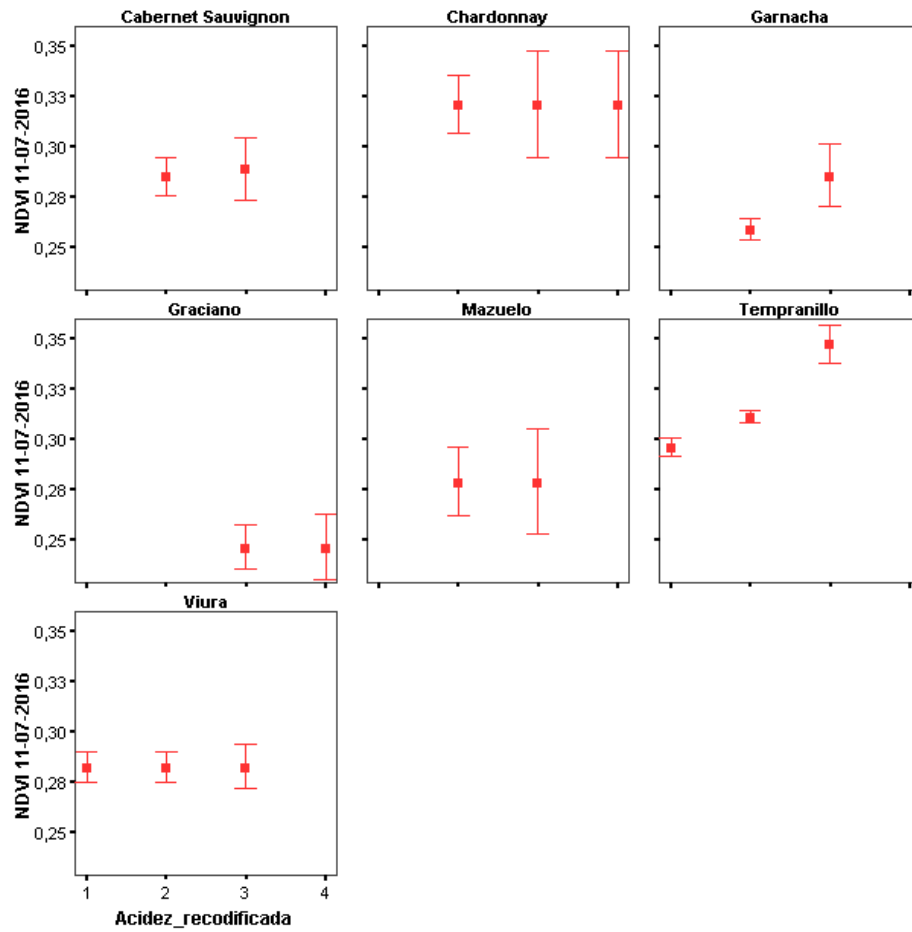


Figura 57. Barras de error por variedades. Fecha: 11/07/2016. Fuente: elaboración propia.

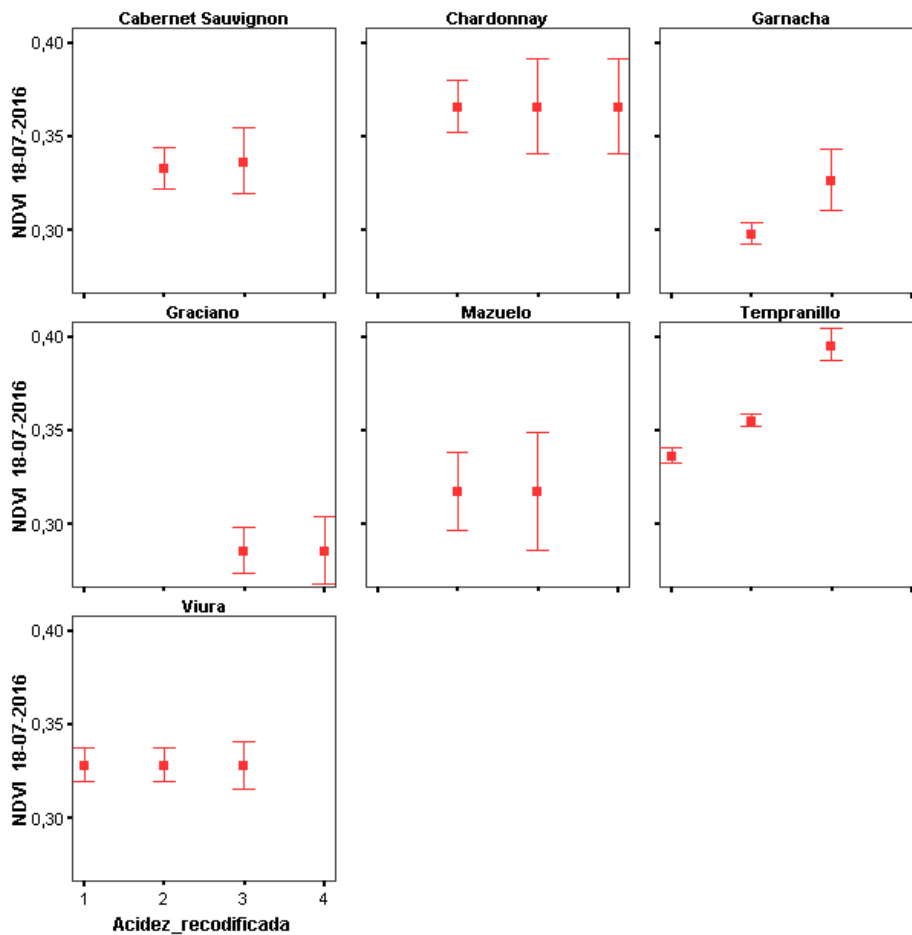


Figura 58. Barras de error por variedades. Fecha: 18/07/2016. Fuente: elaboración propia.

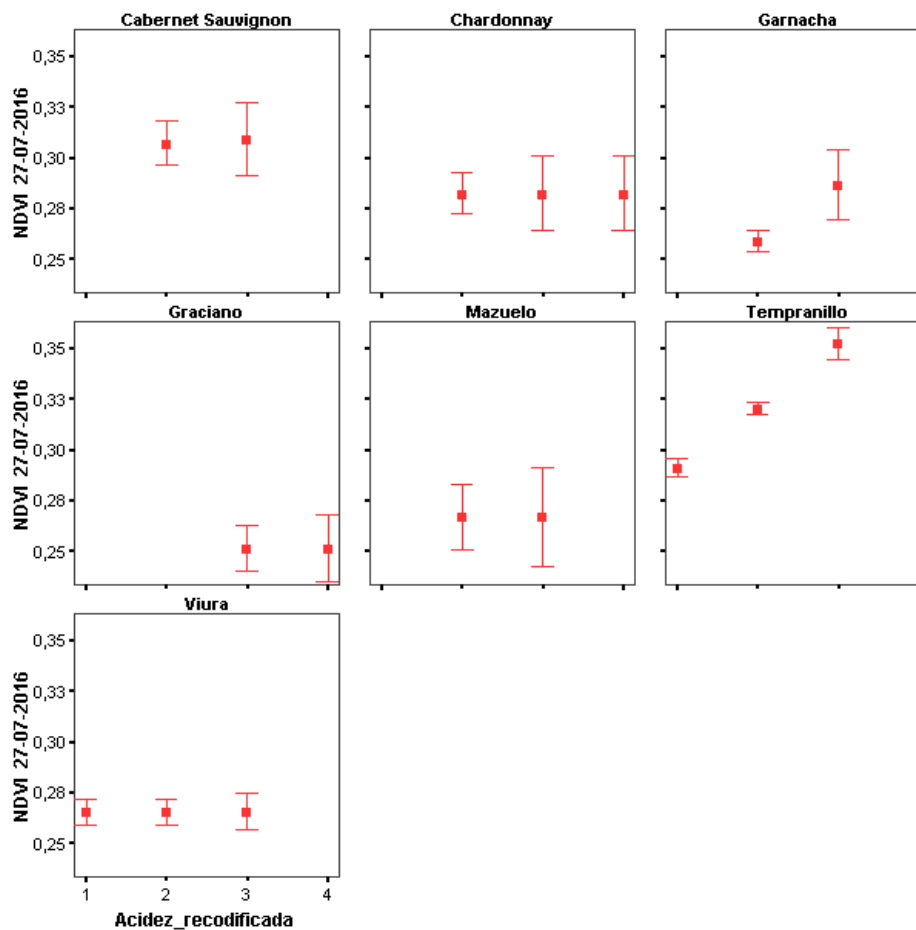


Figura 59: Barras de error por variedades. Fecha: 27/07/2016. Fuente: elaboración propia.

### ANEXO 3. RESULTADOS DE LOS TEST ANOVA DE LA VARIEDAD TEMPRANILLO. ANÁLISIS DEL NDVI Y DEL GRADO BAUMÉ.

Año 2013

Tabla 11: Descriptivos del test Anova. Tempranillo, año 2013.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
NDVI_18/06/2013	1.00	44	0.324	0.043	0.007	0.199	0.391
	2.00	465	0.263	0.040	0.002	0.162	0.573
	3.00	463	0.277	0.049	0.002	0.162	0.573
NDVI_20/07/2013	1.00	44	0.364	0.049	0.007	0.217	0.462
	2.00	465	0.377	0.053	0.002	0.172	0.572
	3.00	463	0.362	0.060	0.003	0.172	0.572
NDVI_05/08/2013	1.00	44	0.369	0.056	0.008	0.185	0.529
	2.00	465	0.368	0.056	0.003	0.141	0.519
	3.00	463	0.358	0.059	0.003	0.141	0.529
NDVI_06/09/2013	1.00	44	0.365	0.046	0.007	0.226	0.465
	2.00	465	0.358	0.052	0.002	0.180	0.541
	3.00	463	0.354	0.056	0.003	0.180	0.541

**Tabla 12.** Prueba de homogeneidad de las varianzas.

	<b>Estadístico de Levene</b>	<b>gl1</b>	<b>gl2</b>	<b>Sig.</b>
<b>NDVI_18/06/2013</b>	15.292	2	969	0.000
<b>NDVI_20/07/2013</b>	4.138	2	969	0.016
<b>NDVI_05/08/2013</b>	1.620	2	969	0.198
<b>NDVI_06/09/2013</b>	2.449	2	969	0.087

**Tabla 13.** Resultados test Anova. Tempranillo, año 2013.

		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>NDVI_18/06/2013</b>	Inter-grupos	0.165	2	0.083	41.856	0.000
	Intra-grupos	1.911	969	0.002		
<b>NDVI_20/07/2013</b>	Inter-grupos	0.050	2	0.025	7.757	0.000
	Intra-grupos	3.100	969	0.003		
<b>NDVI_05/08/2013</b>	Inter-grupos	0.023	2	0.012	3.523	0.030
	Intra-grupos	3.189	969	0.003		
<b>NDVI_06/09/2013</b>	Inter-grupos	0.008	2	0.004	1.454	0.234
	Intra-grupos	2.759	969	0.003		



**Tabla 14.** Resultados análisis *post Hoc*. Tempranillo, año 2013.

Variable dependiente		(I) Grado_codigo	(J) Grado_codigo	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.
NDVI_18/06/2013	Bonferroni	1.00	2.00	,060(*)	0.007	0.000
			3.00	,047(*)	0.007	0.000
		2.00	1.00	-,060(*)	0.007	0.000
			3.00	-,014(*)	0.003	0.000
		3.00	1.00	-,047(*)	0.007	0.000
			2.00	,014(*)	0.003	0.000
	Tamhane	1.00	2.00	,060(*)	0.007	0.000
			3.00	,047(*)	0.007	0.000
		2.00	1.00	-,060(*)	0.007	0.000
			3.00	-,014(*)	0.003	0.000
		3.00	1.00	-,047(*)	0.007	0.000
			2.00	,014(*)	0.003	0.000
NDVI_20/07/2013	Bonferroni	1.00	2.00	-0.013	0.009	0.427
			3.00	0.001	0.009	1.000
		2.00	1.00	0.013	0.009	0.427
			3.00	,014(*)	0.004	0.000
		3.00	1.00	-0.001	0.009	1.000
			2.00	-,014(*)	0.004	0.000
	Tamhane	1.00	2.00	-0.013	0.008	0.270
			3.00	0.001	0.008	0.998
		2.00	1.00	0.013	0.008	0.270
			3.00	,014(*)	0.004	0.000
		3.00	1.00	-0.001	0.008	0.998
			2.00	-,014(*)	0.004	0.000
NDVI_05/08/2013	Bonferroni	1.00	2.00	0.001	0.009	1.000
			3.00	0.011	0.009	0.690
		2.00	1.00	-0.001	0.009	1.000
			3.00	,010(*)	0.004	0.031
		3.00	1.00	-0.011	0.009	0.690
			2.00	-,010(*)	0.004	0.031
	Tamhane	1.00	2.00	0.001	0.009	0.999
			3.00	0.011	0.009	0.530
		2.00	1.00	-0.001	0.009	0.999
			3.00	,010(*)	0.004	0.031
		3.00	1.00	-0.011	0.009	0.530
			2.00	-,010(*)	0.004	0.031
NDVI_06/09/2013	Bonferroni	1.00	2.00	0.008	0.008	1.000
			3.00	0.012	0.008	0.476
		2.00	1.00	-0.008	0.008	1.000
			3.00	0.004	0.004	0.657
		3.00	1.00	-0.012	0.008	0.476
			2.00	-0.004	0.004	0.657
	Tamhane	1.00	2.00	0.008	0.007	0.662
			3.00	0.012	0.007	0.299
		2.00	1.00	-0.008	0.007	0.662
			3.00	0.004	0.004	0.529
		3.00	1.00	-0.012	0.007	0.299
			2.00	-0.004	0.004	0.529

**Año 2014**

**Tabla 15.** Descriptivos del test Anova. Tempranillo, año 2014.

		<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>Error típico</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>NDVI_12/07/2014</b>	2.00	528	0.309	0.064	0.003	0.167	0.616
	3.00	532	0.336	0.060	0.003	0.167	0.616
<b>NDVI_05/08/2014</b>	2.00	280	0.279	0.054	0.003	0.170	0.468
	3.00	80	0.276	0.058	0.007	0.170	0.468
<b>NDVI_13/08/2014</b>	2.00	528	0.305	0.066	0.003	0.171	0.635
	3.00	532	0.333	0.060	0.003	0.171	0.635
<b>NDVI_14/09/2014</b>	2.00	528	0.327	0.062	0.003	0.174	0.632
	3.00	532	0.350	0.060	0.003	0.174	0.632
<b>NDVI_30/09/2014</b>	2.00	528	0.328	0.068	0.003	0.179	0.567
	3.00	532	0.360	0.056	0.002	0.192	0.567

**Tabla 16.** Resultados test Anova. Tempranillo, año 2014.

		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>NDVI_12/07/2014</b>	Inter-grupos	0.199	1	0.199	51.892	0.000
	Intra-grupos	4.063	1,058	0.004		
<b>NDVI_05/08/2014</b>	Inter-grupos	0.001	1	0.001	0.168	0.682
	Intra-grupos	1.082	358	0.003		
<b>NDVI_13/08/2014</b>	Inter-grupos	0.197	1	0.197	49.398	0.000
	Intra-grupos	4.223	1,058	0.004		
<b>NDVI_14/09/2014</b>	Inter-grupos	0.140	1	0.140	37.522	0.000
	Intra-grupos	3.954	1,058	0.004		
<b>NDVI_30/09/2014</b>	Inter-grupos	0.260	1	0.260	67.025	0.000
	Intra-grupos	4.103	1,058	0.004		

**Tabla 17.** Descriptivos del test Anova. Tempranillo, año 2015.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
NDVI_04/07/2015	2.00	95	0.291	0.042	0.004	0.204	0.404
	3.00	265	0.302	0.049	0.003	0.204	0.427
NDVI_12/07/2015	2.00	315	0.303	0.038	0.002	0.205	0.409
	3.00	745	0.341	0.055	0.002	0.205	0.545
NDVI_20/07/2015	2.00	95	0.297	0.049	0.005	0.188	0.433
	3.00	265	0.313	0.062	0.004	0.188	0.472
NDVI_28/07/2015	2.00	220	0.339	0.460	0.003	0.225	0.442
	3.00	480	0.352	0.474	0.002	0.233	0.576
NDVI_13/08/2015	2.00	315	0.273	0.062	0.003	0.106	0.439
	3.00	745	0.307	0.095	0.003	0.106	0.607
NDVI_21/08/2015	2.00	95	0.296	0.041	0.004	0.209	0.422
	3.00	265	0.310	0.063	0.004	0.193	0.475
NDVI_14/09/2015	2.00	315	0.323	0.055	0.003	0.202	0.530
	3.00	745	0.348	0.062	0.002	0.202	0.657
NDVI_22/09/2015	2.00	95	0.232	0.025	0.003	0.175	0.313
	3.00	265	0.250	0.033	0.002	0.175	0.338

**Tabla 18.** Resultados test Anova. Tempranillo, año 2015.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
NDVI_04/07/2015	Inter-grupos	0.009	1	0.009	3.935	0.048
	Intra-grupos	0.792	358	0.002		
NDVI_12/07/2015	Inter-grupos	0.329	1	0.329	128.181	0.000
	Intra-grupos	2.716	1,058	0.003		
NDVI_20/07/2015	Inter-grupos	0.019	1	0.019	5.554	0.019
	Intra-grupos	1.242	358	0.003		
NDVI_28/07/2015	Inter-grupos	0.024	1	0.024	10.967	0.001
	Intra-grupos	1.541	698	0.002		
NDVI_13/08/2015	Inter-grupos	0.261	1	0.261	34.791	0.000
	Intra-grupos	7.949	1,058	0.008		
NDVI_21/08/2015	Inter-grupos	0.013	1	0.013	4.008	0.046
	Intra-grupos	1.190	358	0.003		
NDVI_14/09/2015	Inter-grupos	0.134	1	0.134	37.417	0.000
	Intra-grupos	3.787	1,058	0.004		
NDVI_22/09/2015	Inter-grupos	0.021	1	0.021	21.710	0.000
	Intra-grupos	0.349	358	0.001		

**Tabla 19.** Descriptivos del test Anova. Tempranillo, año 2016.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
<b>NDVI_22/04/2016</b>	2.00	808	0.173	0.037	0.001	0.134	0.471
	3.00	700	0.177	0.045	0.002	0.134	0.471
<b>NDVI_11/07/2016</b>	2.00	808	0.318	0.044	0.002	0.185	0.541
	3.00	700	0.294	0.054	0.002	0.179	0.541
<b>NDVI_18/07/2016</b>	2.00	808	0.363	0.047	0.002	0.219	0.475
	3.00	700	0.334	0.054	0.002	0.214	0.475
<b>NDVI_27/07/2016</b>	2.00	808	0.328	0.043	0.002	0.182	0.521
	3.00	700	0.290	0.053	0.002	0.182	0.521

**Tabla 20:** Resultados test Anova. Tempranillo, año 2016.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>NDVI_22/04/2016</b>	Inter-grupos	0.007	1	0.007	4.016	0.045
	Intra-grupos	2.474	1,506	0.002		
<b>NDVI_11/07/2016</b>	Inter-grupos	0.216	1	0.216	90.591	0.000
	Intra-grupos	3.599	1,506	0.002		
<b>NDVI_18/07/2016</b>	Inter-grupos	0.322	1	0.322	128.771	0.000
	Intra-grupos	3.765	1,506	0.003		
<b>NDVI_27/07/2016</b>	Inter-grupos	0.532	1	0.532	233.670	0.000
	Intra-grupos	3.427	1,506	0.002		

**ANEXO 4. RESULTADOS DE LOS TEST ANOVA DE LA VARIEDAD GARNACHA. ANÁLISIS DEL NDVI Y DE LA ACIDEZ TOTAL.**

**Año 2013**

**Tabla 21.** Descriptivos del test Anova. Garnacha, año 2013.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
NDVI_18/06/2013	2.00	172	0.185	0.061	0.005	0.115	0.328
	3.00	86	0.185	0.061	0.007	0.115	0.328
NDVI_20/07/2013	2.00	172	0.219	0.096	0.007	0.111	0.478
	3.00	86	0.219	0.097	0.010	0.111	0.478
NDVI_05/08/2013	2.00	172	0.219	0.104	0.008	0.105	0.473
	3.00	86	0.219	0.104	0.011	0.105	0.473
NDVI_06/09/2013	2.00	172	0.233	0.095	0.007	0.120	0.454
	3.00	86	0.233	0.096	0.010	0.120	0.454

**Tabla 22.** Resultados test Anova. Garnacha, año 2013.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
NDVI_18/06/2013	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.000	1.000
	Intra-grupos	0.940	256	0.004		
NDVI_20/07/2013	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.000	1.000
	Intra-grupos	2.376	256	0.009		
NDVI_05/08/2013	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.000	1.000
	Intra-grupos	2.770	256	0.011		
NDVI_06/09/2013	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.000	1.000
	Intra-grupos	2.335	256	0.009		

**Año 2014**

**Tabla 23.** Descriptivos del test Anova. Garnacha, año 2014.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
NDVI_12/07/2014	2.00	150	0.260	0.071	0.006	0.118	0.468
	3.00	108	0.199	0.047	0.004	0.118	0.284
NDVI_13/08/2014	2.00	150	0.248	0.058	0.005	0.131	0.463
	3.00	108	0.214	0.044	0.004	0.131	0.295
NDVI_14/09/2014	2.00	150	0.290	0.079	0.006	0.126	0.543
	3.00	108	0.233	0.067	0.006	0.126	0.367
NDVI_30/09/2014	2.00	150	0.302	0.066	0.005	0.145	0.451
	3.00	108	0.270	0.080	0.008	0.145	0.437

**Tabla 24.** Resultados test Anova. Garnacha, año 2014

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
NDVI_12/07/2014	Inter-grupos	0.238	1	0.238	62.265	0.000
	Intra-grupos	0.977	256	0.004		
NDVI_13/08/2014	Inter-grupos	0.073	1	0.073	26.127	0.000
	Intra-grupos	0.716	256	0.003		
NDVI_14/09/2014	Inter-grupos	0.203	1	0.203	37.021	0.000
	Intra-grupos	1.405	256	0.005		
NDVI_30/09/2014	Inter-grupos	0.067	1	0.067	12.891	0.000
	Intra-grupos	1.337	256	0.005		

**Año 2015****Tabla 25.** Descriptivos del test Anova. Garnacha, año 2015.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
NDVI_04/07/2015	1.00	32	0.318	0.047	0.008	0.246	0.435
	2.00	96	0.318	0.047	0.005	0.246	0.435
NDVI_12/07/2015	1.00	86	0.282	0.044	0.005	0.202	0.409
	2.00	204	0.285	0.044	0.003	0.202	0.409
NDVI_20/07/2015	1.00	32	0.312	0.052	0.009	0.236	0.473
	2.00	96	0.312	0.051	0.005	0.236	0.473
NDVI_28/07/2015	1.00	86	0.216	0.099	0.011	0.070	0.395
	2.00	204	0.198	0.100	0.007	0.070	0.395
NDVI_13/08/2015	1.00	86	0.213	0.071	0.008	0.086	0.336
	2.00	204	0.201	0.072	0.005	0.086	0.336
NDVI_21/08/2015	1.00	32	0.309	0.058	0.010	0.228	0.503
	2.00	96	0.309	0.058	0.006	0.228	0.503
NDVI_14/09/2015	1.00	86	0.283	0.059	0.006	0.184	0.495
	2.00	204	0.287	0.059	0.004	0.184	0.495
NDVI_22/09/2015	1.00	32	0.251	0.029	0.005	0.214	0.337
	2.00	96	0.251	0.029	0.003	0.214	0.337

**Tabla 26.** Resultados del test Anova. Garnacha, año 2015.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
NDVI_04/07/2015	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.000	1.000
	Intra-grupos	0.279	126	0.002		
NDVI_12/07/2015	Inter-grupos	0.001	1	0.001	0.290	0.591
	Intra-grupos	0.554	288	0.002		
NDVI_20/07/2015	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.000	1.000
	Intra-grupos	0.329	126	0.003		
NDVI_28/07/2015	Inter-grupos	0.019	1	0.019	1.929	0.166
	Intra-grupos	2.857	288	0.010		
NDVI_13/08/2015	Inter-grupos	0.008	1	0.008	1.574	0.211
	Intra-grupos	1.484	288	0.005		
NDVI_21/08/2015	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.000	1.000
	Intra-grupos	0.420	126	0.003		
NDVI_14/09/2015	Inter-grupos	0.001	1	0.001	0.288	0.592
	Intra-grupos	0.999	288	0.003		
NDVI_22/09/2015	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.000	1.000
	Intra-grupos	0.105	126	0.001		

**Año 2016**

**Tabla 27.** Descriptivos del test Anova. Garnacha, 2016.

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
NDVI_22/04/2016	2.00	334	0.185	0.050	0.003	0.133	0.427
	3.00	32	0.186	0.030	0.005	0.163	0.284
NDVI_11/07/2016	2.00	334	0.259	0.049	0.003	0.178	0.370
	3.00	32	0.286	0.044	0.008	0.206	0.370
NDVI_18/07/2016	2.00	334	0.298	0.054	0.003	0.209	0.420
	3.00	32	0.327	0.045	0.008	0.241	0.420
NDVI_27/07/2016	2.00	334	0.259	0.046	0.003	0.178	0.386
	3.00	32	0.286	0.048	0.009	0.204	0.386

**Tabla 28.** Resultados del test Anova. Garnacha, año 2016.

		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>NDVI_22/04/2016</b>	Inter-grupos	0.000	1	0.000	0.015	0.904
	Intra-grupos	0.850	364	0.002		
<b>NDVI_11/07/2016</b>	Inter-grupos	0.021	1	0.021	8.978	0.003
	Intra-grupos	0.851	364	0.002		
<b>NDVI_18/07/2016</b>	Inter-grupos	0.023	1	0.023	8.295	0.004
	Intra-grupos	1.029	364	0.003		
<b>NDVI_27/07/2016</b>	Inter-grupos	0.022	1	0.022	10.542	0.001
	Intra-grupos	0.769	364	0.002		