



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
SECCIÓN DE INGENIERÍA AGRARIA

Grado en Ingeniería Agrícola y del Medio Rural

**ESTUDIO DEL USO CONSUNTIVO
DE LA VID (CV. LISTÁN NEGRO),
CULTIVADA EN LA FINCA LA
TAHONILLA. T.M. DE SAN
CRISTÓBAL DE LAGUNA**

Juan Manuel Benítez Quintana

La Laguna, julio 2023



**AUTORIZACION DEL TRABAJO FIN DE GRADO
POR SUS DIRECTORES
CURSO 2022/2023**

DIRECTOR – COORDINADOR: *Domingo Sáenz Pisaca*
DIRECTOR: *Axel Ritter Rodríguez*

como Directores del alumno *Juan Manuel Benítez Quintana*
en el TFG titulado:

*Estudio del uso consuntivo de la vid (cv. Listán Negro), cultivada en la Finca La
Tahonilla T.M. de San Cristóbal de Laguna*

damos nuestra autorización para la presentación y defensa de dicho TFG, a la vez
que confirmamos que el alumno ha cumplido con los objetivos generales y
particulares que lleva consigo la elaboración del mismo y las normas del Reglamento
de Trabajo Fin de Grado de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería.

La Laguna, a 20 de junio de 2023

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE TRABAJO FIN DE GRADO

Página 1 de 1

IMPRESO P06

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <http://sede.ull.es/validacion>

Identificador del documento: 5529865 Código de verificación: Y8hakWwS

Firmado por: *Axel Ritter Rodríguez*
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 20/06/2023 11:53:42

Domingo Félix Saenz Pisaca
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

20/06/2023 11:58:33

Agradecimientos

Tras cuatro difíciles años de trabajo y constancia solo queda agradecer a cada una de las personas que se han mantenido a mi lado.

A mi familia, por enseñarme que rendirse nunca es una opción, a mis amistades por siempre servir de apoyo y a mi pareja por siempre creer en mí.

Agradezco toda la colaboración por parte de Domingo Sáenz Pisaca, su predisposición a ayudar y sacar este trabajo adelante, al igual que por parte del profesor Axel Ritter.

Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción | 8 |
| 2. Objetivos..... | 10 |
| CAPÍTULO I. DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LA VID, CV. LISTÁN NEGRO, CULTIVADO EN LA FINCA LA TAHONILLA. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE LA LAGUNA | |
| 3. Revisión bibliográfica | 11 |
| 3.1 Estimación de requerimientos hídricos de la vid..... | 11 |
| 3.2 Eficiencia y aplicación de agua de riego..... | 11 |
| 3.3 Relación entre consumo de agua y cambio climático..... | 12 |
| 3.4 Determinaciones de coeficientes de cultivo realizadas por diferentes autores..... | 13 |
| 3.5 Relaciones K_c – IAF..... | 15 |
| 3.6 Relación K_c – Fenología | 16 |
| 4. Material y métodos..... | 17 |
| 4.1 Ubicación de la parcela | 17 |
| 4.2 Características del sitio estudiado | 17 |
| 4.3 Material vegetal | 17 |
| 4.4 Meteorología de la etapa de estudio..... | 17 |
| 4.5 Diseño experimental..... | 19 |
| 4.6 Características de suelo y agua | 20 |
| 4.7 Metodología del riego | 22 |
| 4.8 Cálculo de Evapotranspiración de referencia (ET_0) | 22 |
| 4.9 Cálculo de Evapotranspiración de cultivo (ET_c)..... | 23 |
| 4.10 Lisímetro..... | 23 |
| 4.11 Datos de lluvia..... | 23 |
| 4.12 Datos de riego..... | 23 |
| 4.13 Datos de drenaje..... | 23 |
| 4.14 Coeficientes de cultivo (K_c)..... | 24 |
| 4.15 Relación K_c – Fenología..... | 24 |
| 4.16 Relación K_c – Fenología – Grados día acumulados..... | 24 |
| 5. Resultados y discusión..... | 25 |
| 5.1 Evapotranspiración de referencia (ET_0)..... | 25 |
| 5.2 Evapotranspiración de cultivo (ET_c)..... | 25 |
| 5.3 Coeficientes de cultivo (K_c)..... | 26 |
| 5.4 Relación K_c – IAF..... | 27 |
| 5.5 Relación K_c – Estado fenológico – Época..... | 28 |
| 5.6 Relación K_c – Estado fenológico – Grados acumulados..... | 28 |

CAPÍTULO II. ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN ENTRE VARIAS MEDIDAS LINEALES RELACIONADAS CON LA MORFOLOGÍA DE LA HOJA DE LA VID, CV. LISTÁN NEGRO Y LA SUPERFIE FOLIAR DE ÉSTA.

| | |
|--|-----------|
| 6. Revisión bibliográfica..... | 29 |
| 6.1 Superficie foliar..... | 29 |
| 6.2 Métodos directos destructivos..... | 29 |
| 6.3 Métodos directos no destructivos..... | 30 |
| 6.4 Índice de área foliar..... | 31 |
| 7. Material y métodos..... | 32 |
| 7.1 Superficie foliar..... | 32 |
| 7.2 Evaluación del programa informático ImageJ para la medida foliar del viñedo..... | 32 |
| 7.3 Determinación de la superficie foliar mediante un método no destructivo..... | 33 |
| 8. Resultados y discusión..... | 34 |
| 8.1 Evaluación del programa informático ImageJ para la medida foliar del viñedo..... | 34 |
| 8.2 Determinación de la superficie foliar mediante un método no destructivo..... | 35 |
| 9. Conclusiones..... | 39 |
| 10. Conclusions..... | 40 |
| 11. Referencias bibliográficas..... | 41 |
| 12. Anejos..... | 46 |

Título: Estudio del uso consuntivo de la vid (cv. Listán Negro), cultivada en la Finca La Tahonilla. T.M. de San Cristóbal de Laguna.

Autor/a: Benítez Quintana, Juan Manuel

Tutor/a o Tutores/as: Sáenz Pisaca, Domingo; Ritter Rodríguez, Axel.

Palabras clave: *Vitis vinifera*; Evaporación de cultivo; Coeficiente de cultivo; Superficie foliar.

Resumen

En el presente trabajo se ha llevado a cabo una determinación de las necesidades hídricas de *Vitis vinifera* cv. Listán Negro, cultivado en la Finca Tahonilla, perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Ingeniería de la Universidad de La Laguna.

A partir de un histórico de datos climatológicos se obtuvo la evapotranspiración de referencia (ET_0) diaria calculada según el método de Penman-Monteith con la aplicación informática PMETp-w, durante el periodo que iba desde brotación hasta el envero y para seis campañas de cultivo (2014, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022). En el mismo periodo se estimó la evapotranspiración real del cultivo (ET_c), mediante balance de agua, utilizando un lisímetro de pesada instalado en la parcela experimental. Con los valores de ET_0 y ET_c se procedió a calcular los coeficientes de cultivo (K_c). Éstos variaron aproximadamente entre 0,3 y 0,6 para las etapas fenológicas “hojas plenamente extendidas” y “comienzo del envero”, respectivamente.

Se analizaron las correlaciones entre K_c y el Índice de Área Foliar (IAF) y se determinaron los K_c y las integrales térmicas para los distintos estados fenológicos del cultivo.

También, se estudió la posible correlación existente entre diferentes medidas lineales relacionadas con la morfología de la hoja plenamente desarrollada y su superficie foliar. Se obtuvo una buena correlación ($R^2=0,95$) usando un modelo cuadrático que predice el área foliar a partir del largo máximo de la hoja.

Title: Study of the consumptive use of grapevine (cv. Listán Negro), cultivated in Finca La Tahonilla. T.M. of San Cristóbal de Laguna.

Author: Benítez Quintana, Juan Manuel.

Director/Directors: Sáenz Pisaca, Domingo; Ritter Rodríguez, Axel.

Key words: *Vitis vinifera*; Crop evapotranspiration, Crop coefficient; Leaf area.

Abstract

This work presents an investigation into the water requirements of *Vitis vinifera* cv. Listán Negro, cultivated in the Tahonilla area of the Polytechnic School of Engineering at the University of La Laguna.

The daily reference evapotranspiration (ET_0) was calculated using the PMETp-w[®] software for six seasons (2014, 2015, 2017, 2019, 2019, 2021 and 2022) during the period from budbreak to veraison. Simultaneously, the actual crop evapotranspiration (ET_c) was determined using a weighing lysimeter installed in the experimental plot. By comparing the values of ET_0 and ET_c , crop coefficients (K_c) were computed. These coefficients ranged approximately between 0.3 and 0.6 for the phenological stages "fully extended leaves" and "beginning of veraison", respectively.

The study also examined the correlations between K_c and Leaf Area Index (LAI), as well as the determination of K_c and thermal integrals for different phenological stages of the crop.

Furthermore, an analysis was conducted on the relationship between various linear measures associated with the morphology of fully developed leaves and their respective leaf areas. A quadratic model that predicts leaf area based on leaf length yielded a satisfactory correlation ($R^2=0.95$).

1. Introducción

La agricultura en Canarias está caracterizada por ser un sector muy importante para la economía del archipiélago, siempre adaptada a las limitaciones orográficas, climatológicas y edafológicas de las distintas islas.

Estas limitaciones se convierten en diferenciaciones potenciales de los cultivos y productos obtenidos en esta región, debido a su calidad y distinción en el momento de su comercialización en mercados locales o también exteriores, algo que contribuye a la preservación de la identidad cultural y gastronómica de Canarias.

En el caso de la vid, se introduce en Canarias en el siglo XV durante la Conquista. La introducción en cada isla se realizó en distintos momentos, pero siempre muy próxima a la fecha de su conquista. En la isla de Tenerife, se vincula al conquistador portugués Fernando de Castro con la introducción de la vid en la zona de Los Realejos en 1497 (Rodríguez Torres, 2012).

En la última década, la superficie cultivada experimenta una tendencia al descenso, aunque en el 2011 se crea la Denominación de Origen Protegida Islas Canarias por la Asociación de Viticultores y Bodegueros de Canarias (AVIBO) con el objetivo de consolidar el mercado regional.

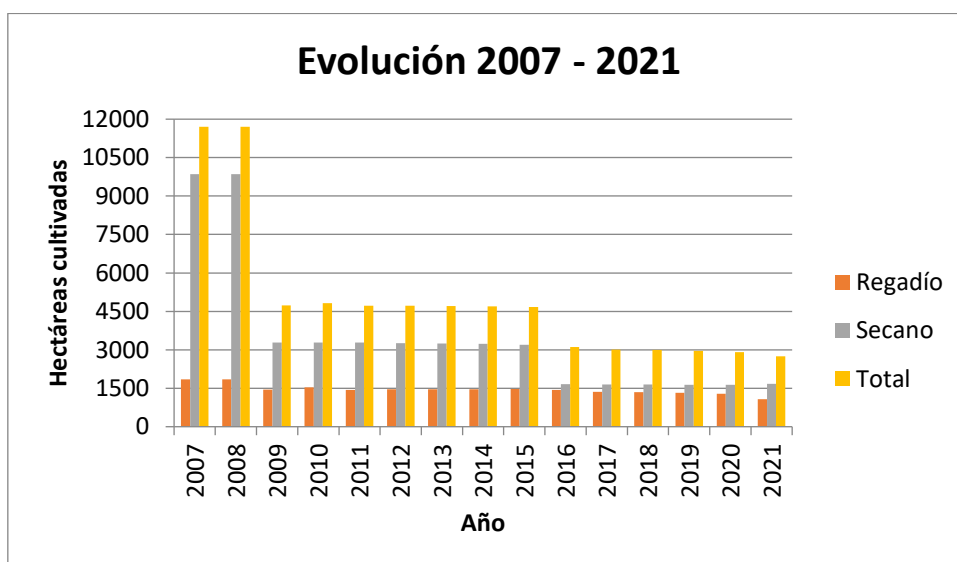


Gráfico 1. Evolución de la superficie cultivada en la provincia de Santa Cruz de Tenerife.

Nota: Se muestra la evolución de la superficie cultivada de vid en el periodo 2007 – 2021 a partir de los datos obtenidos de Instituto Canario de estadística.

Según datos del Instituto Canario de Calidad Agroalimentaria que a su vez recopila información de los 11 Consejos Reguladores de Denominación de Origen Protegida del Vino en Canarias y de las Agencias de Extensión Agraria, Miguel Febles Ramírez, Geógrafo de la Universidad de La Laguna, muestra en la siguiente tabla la producción promedio obtenida en el periodo 2016-2020, mostrada en el capítulo 6 de *Acerca del vino de Canarias*.

| Isla | Tinto | | | Blanco | | | TOTAL |
|--|--------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|--------------------------|-----------------|--------------------|
| | Litros | % Respecto tintos total | % Respecto Isla | Litros | % Respecto blancos total | % Respecto Isla | |
| El Hierro | 41.758,1 | 1,2 | 32,6 | 86.334,8 | 2,2 | 66,7 | 128.092,8 |
| La Gomera | 19.265,2 | 0,6 | 23,4 | 63.112,6 | 1,6 | 69,9 | 82.377,9 |
| La Palma | 312.382,7 | 8,9 | 47,1 | 351.423,2 | 8,8 | 49,5 | 6663.805,8 |
| Tenerife | 2.559.502,8 | 73,3 | 58,8 | 1.794.885,2 | 45,2 | 39,3 | 4.354.338,1 |
| Gran Canaria | 201.193,1 | 5,8 | 55,3 | 162.797,4 | 4,1 | 42,2 | 363.990,5 |
| Lanzarote | 350.335,5 | 10,3 | 19,1 | 1.516.090,8 | 38,1 | 84,2 | 1.874.426,4 |
| TOTAL | 3.492.437,4 | 100,00 | 46,8 | 3.974.644,0 | 100,0 | 48,7 | 7.467.081,4 |
| <i>No hay datos para Fuerteventura</i> | | | | | | | |

Tabla 1. Promedio de producción de vinos por islas entre 2016 – 2020. Nota: Fuente Instituto Canario de Calidad Agroalimentaria. Tomado de: Febles, M. (2021). Capítulo 6. La situación actual de los viñedos y de los vinos de Canarias. *Acerca del Vino de Canarias*, 105-112.

Los requerimientos hídricos de la vid son elevados durante el periodo de crecimiento, y, aunque en Canarias y en la provincia de Santa Cruz de Tenerife la superficie cultivada en regadío representa alrededor de una tercera parte, es de interés la optimización de este recurso hídrico.

Las cualidades organolépticas de estos vinos de Tenerife han ganado reconocimiento internacional en los últimos años. Esta isla cuenta con varias denominaciones de origen que garantizan la procedencia y calidad de los vinos producidos en las diferentes: estas son la Denominación de Origen Protegido (DOP) Valle de La Orotava, DOP Ycoden-Daute-Isora, DOP Abona y DOP Tacoronte – Acentejo.

Esta última abarca una superficie extensa de la vertiente norte de la isla, incluyendo los municipios de Tacoronte, El Sauzal, La Matanza de Acentejo, La Victoria, Santa Úrsula y parte de los municipios de Tegueste y San Cristóbal de La Laguna.

Esta denominación es caracterizada por la variedad de su orografía y climas, cultivándose incluso sobre terrazas o laderas pronunciadas, a diferentes altitudes y leves variaciones climáticas dentro de esta vertiente norte, lo que ocasiona frutos con características distintivas.

Con el objetivo de estudiar comportamientos y realizar estudios que permitan obtener más información sobre la vid, durante el año 2004 se establece un cultivo de vid cv. Listán Negro en la parcela experimental situada en la Finca La Tahonilla, con plantas procedentes de un mismo clon, con un sistema de conducción en espaldera guiada por doble cordón Royat. El marco de plantación es de 1,5m entre plantas y pasillos de 2,5m de ancho.

En las campañas anteriores se han realizado diferentes estudios en esta parcela. En 2017 se estudió la respuesta fisiológica y productiva de este cultivar sometido a distintos tratamientos hídricos. Durante 2014 se estudió la respuesta fisiológica y productiva sometida a estrés hídrico en distintas etapas del cultivo.

De manera automatizada, desde 2014 hasta la actualidad se han tomado datos de un lisímetro ubicado en esta parcela, a partir del cual podemos conocer el consumo de agua por parte de la planta. Con la ayuda de estaciones meteorológicas ubicadas en un radio muy próximo de esta zona podemos conocer todas las variables meteorológicas que permiten estimar la evapotranspiración de referencia de esta zona y, en consecuencia, conocer los diferentes coeficientes de cultivo a poder aplicar en diferentes épocas del año.

2. Objetivos

Con este Trabajo de Fin de Grado se persiguen dos objetivos.

Por una parte, conocer los coeficientes de cultivo (K_c) del cv. Listán Negro en las condiciones climatológicas de esta región a partir de la información registrada durante el periodo 2014 – 2022.

Por otro lado, proponer un protocolo para determinar la superficie de una hoja plenamente desarrollada del cv. Listán Negro a través de unas sencillas medidas no destructivas, de campo.

CAPÍTULO I. DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LA VID, CV. LISTÁN NEGRO, CULTIVADO EN LA FINCA LA TAHONILLA. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE LA LAGUNA.

3. Revisión bibliográfica

3.1 Estimación de requerimientos hídricos en la vid

Para determinar los requerimientos hídricos de cualquier cultivo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura establece un modelo de determinación basado en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_C) (Allen et al., 1998). En este, se incluye la evaporación de referencia (ET_0) y el coeficiente de cultivo (K_C) que es la fracción de agua utilizada por el cultivo en comparación con la ET_0 .

$$ET_C = ET_0 * K_C$$

Esta ET_C se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo (sin plagas ni enfermedades) y adecuado aporte de agua, sin condiciones de salinidad que afecten, parcelas amplias y que logra la máxima producción de acuerdo con las condiciones climáticas (Allen, et al. 2006).

Con respecto al K_C , representa la diferencia entre el cultivo en campo y el pasto de referencia, la cual puede ser expresada como único o separada en dos coeficientes:

$$K_C = K_{cb} + K_e;$$

Donde:

- K_{cb} es un coeficiente basal de cultivo que describe la transpiración por parte de la planta
- K_e es un coeficiente de evaporación de agua que ocurre en la superficie del suelo.

Este coeficiente dual de cultivo es preferible cuando se producen precipitaciones abundantes o riegos por superficie o inundación, o casos de calendarios de riego en tiempo real o estudios de investigación donde sean importantes los efectos diarios del humedecimiento de la superficie del suelo.

3.2 Eficiencia y aplicación de agua de riego.

Existe cierta controversia sobre los efectos positivos y los negativos de la práctica del riego de la vid en la vitivinicultura tradicional, ya que si se aplica agua en exceso puede reducir color y contenido de azúcar y producen desequilibrios de acidez en el vino (Bravdo et al., 1985; Matthews et al., 1990; Esteban et al., 2001, como se citó en Chaves, et al. 2007).

Según Mattheus & Anderson (1988), el estrés hídrico afecta a la calidad de la uva. La carencia de agua incrementa el contenido de fenoles en el jugo y la piel, e incrementa los antocianos en la piel.

En variedades tintas como cv. Bombal en la Comunidad Valenciana, el aporte hídrico influye positivamente sobre la productividad. Intrigliolo et al. (2014) han observado que el rendimiento se incrementa de manera lineal en volúmenes de 1.500m³/ha., cultivada en una región de veranos cálidos, inviernos fríos y precipitaciones limitadas.

Comparando el párrafo anterior con nuestro cv. Listán Negro, en la parcela objeto de estudio, Pérez (2016) determinó que diferentes tratamientos aplicados no afectaron a la calidad de la

uva (sin restricción durante todo el ciclo como tratamiento 1, coeficiente de estrés 0,25 entre brotación – floración y luego según la demanda evapotranspirativa como tratamiento 2, sin restricción entre brotación – floración y coeficiente de estrés 0,1 entre floración y envero y tratamiento 4 sometido a estrés durante todo el periodo con coeficiente 0,25 entre brotación – floración y 0,1 entre floración y vendimia). Tampoco existieron diferencias significativas entre morfología, peso de la uva, peso medio del racimo ni producción total, pero su tratamiento 4 fue más eficiente en el uso del agua, presentando mayor producción con relación al aporte hídrico recibido sin disminución de la calidad.

El riego deficitario consiste en aplicar dosis de agua que sustituyan sólo una parte de la evapotranspiración potencial de la vid, ya sea durante toda la temporada o sólo durante algunos períodos fenológicos previamente establecidos (Intrigliolo & Castel, 2010).

Intrigliolo et al. (2012) determina que el déficit hídrico afecta negativamente al peso de las bayas, especialmente si se aplica antes del envero en cv. Tempranillo, mientras, Sánchez (2008) afirma que reduce la fotosíntesis, favorece la parada de crecimiento, limita el tamaño de las bayas y estimula la síntesis de compuestos fenólicos. Mientras, el estrés hídrico afecta a la calidad de la uva. La carencia de agua incrementa el contenido de fenoles en el jugo y la piel, e incrementa los antocianos en la piel (Mattheus & Anderson, 1998).

Durante la aplicación de diferentes manejos de dosis de riegos desde un 100% de la evapotranspiración potencial a un 30% durante las fases de envero y maduración se observó que dosis elevadas de riegos producen cosechas mayores, pero de peor calidad, mientras que aplicando limitaciones la calidad es superior (Medrano et al. 2007).

3.3 Relación entre consumo de agua y cambio climático

El clima es un factor importante en la producción de la vid, concretamente para la uva de vinificación. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático indica que ya ha ocurrido un cambio climático sustancial desde la década de 1950 (IPCC, 2022), provocado por las actividades humanas con la emisión de gases de efecto invernadero que provoca un aumento constante de la temperatura.

Leuwen & Darriet (2016) comparan la evolución del comportamiento de la vid en dos regiones francesas, concluyendo que a medida que pasan los años debido al cambio climático y factores asociados como el aumento de CO₂, radiación, etc., se altera ligeramente la composición, obteniendo un fruto con mayor grado de madurez, con un aumento en los niveles de alcohol potencial en la uva, aumento en el pH y disminución de la acidez total.

En las últimas décadas, la demanda de riego ha ido en aumento para tratar de reducir los efectos del cambio climático en el sur de Europa, pasando de una superficie regada del 36 al 40% en el año 2019. Mediante balance hídrico entre los años 1952 y 2012, (Leuwen & Darriet, 2022) observan el aumento producido en la demanda evapotranspirativa y por lo tanto la previsión en el tiempo es un incremento de esta. El mantenimiento de la productividad en condiciones de sequía se logra mediante una cuidadosa selección de genotipos combinados con prácticas de gestión que maximicen la disponibilidad de agua y minimicen su uso. En términos de selección de especies o variedades, la tolerancia a la sequía está determinada por un conjunto integrado de rasgos que incluyen la conductancia estomática y dinámica de cierra, la acumulación de solutos, presión de turgencia y vulnerabilidad del xilema a la embolia.

La forma de hacer frente a este cambio climático Dinis et al., (2022) presenta todavía ciertas incertidumbres pese a realizar una revisión reciente sobre los efectos en la viticultura en el

ámbito mediterráneo, con enfoques hacia variedades más tolerantes a la sequía, sistemas de conducción que favorezcan menores estrés térmicos e hídricos, gestionar mejor el uso del agua, protectores foliares o coberturas de suelo.

3.4 Determinaciones de Coeficientes de Cultivo realizadas por diferentes autores.

Según Allen et al. (2006), para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de K_c : los correspondientes a la etapa inicial ($K_{c\text{ ini}}$), la etapa de mediados de temporada ($K_{c\text{ med}}$) y la etapa final ($K_{c\text{ fin}}$). La duración de estas etapas, con inicio de la brotación en abril, es de 90 días para la inicial, 40 días para la etapa media y 80 días para la final, con una duración total del ciclo biológico de 210 días para latitudes medias.

Para uva de vinificación, establecen un valor de K_c de 0,3 para la etapa inicial, 0,7 para la etapa media y 0,45 para la etapa final del cultivo.

En cambio, el ciclo vegetativo, considerando desde el inicio de la brotación hasta la vendimia, se desarrolló en 196 días en estudios realizados en la misma explotación (Pérez, 2016). González et al. (2008) determinaron que el ciclo biológico del cv Treixadura cultivado en la denominación de origen Ribeiro en 194 días.

En cambio, Williams & Ayars (2005) establecen mensualmente los siguientes valores de K_c : 0,15 en abril, 0,25 en mayo, 0,35 en junio, 0,55 en julio y agosto, 0,4 en septiembre y 0,25 en octubre.

Para *Vitis vinífera* cv. Tempranillo, en España (Albacete), López et al. (2012), para un cultivo con disposición en espaldera, han estimado para un periodo comprendido entre 2007 y 2009 valores de K_c a partir de la obtención de ET_0 a través de los valores climatológicos diarios a través de la ecuación de Penman – Monteith y ET_c a través de un lisímetro monolítico, para un cultivo con condiciones de agua en el suelo no limitantes.

Para la obtención de los coeficientes, han omitido los efectos de la evapotranspiración que se produce en el momento en que se efectúan las aportaciones hídricas, siendo aplicados en los momentos del día en que se produce en menor medida este fenómeno.

Los periodos estudiados comprenden entre la fecha en que se produce la brotación del cultivo por el mes de abril y la recolección en el mes de septiembre. Entre la brotación y la floración obtienen valores de K_c de 0,37, 0,35 y 0,32 para los años 2007, 2008 y 2009 respectivamente. Entre la floración y envero proponen valores de K_c de 0,62, 0,46 y 0,61 para los años 2007, 2008 y 2009 respectivamente. Finalmente, para la etapa entre el envero y la recolección obtuvieron valores de K_c máximos de 0,75, 0,51 y 0,72 para los años 2007, 2008 y 2009 respectivamente. Estos resultados se vieron ligeramente adelantados o atrasados en el tiempo, mayormente en la fase inicial debido a la incidencia del año meteorológico, pero que concluyeron prácticamente en la 2ª o 3ª quincena de septiembre.

Los resultados de K_c en la fase media y final para el año 2008 son menores debido a una helada tardía que ha ocasionado un menor desarrollo del dosel. La cobertura máxima del suelo en este año fue de un 33%, mientras que en 2007 y 2009, fue de 45 y 40% respectivamente, con valores máximos de K_c promedio de 0,6 para el 2008 y 0,75 en 2007 y 2009.

Los resultados que obtuvieron López, et al. (2012) sobre la correlación de los coeficientes de cultivo con respecto al porcentaje de área sombreada son parecidos a los publicados por Williams & Ayars (2005).

López, et al (2012) sugieren la posibilidad de estimar la evolución estacional del uso consuntivo de la vid para vinificación en función de la acumulación de Grados Día en diferentes entornos, siempre ajustándose a las variaciones de las características del cultivo y su manejo.

Las necesidades hídricas en la vid aumentan desde la brotación hasta en enero, lo que se debe de tener en cuenta para establecer el K_c de esta especie (Bouzas & Mirás, 2019).

La sensibilidad ante el estrés hídrico está relacionada con el estado fenológico, entre la brotación y floración se produce una reducción del crecimiento vegetativo, ocasionando una pérdida de capacidad de la planta para cuajar frutos (Bouzas & Mirás, 2019). Si entre cuajado y enero es moderado puede resultar beneficioso para controlar el vigor de la cepa y el tamaño de la baya.

Munitz et al. (2016), en Israel para cv. Cabernet Sauvignon con un sistema de posicionamiento de brotes verticales (VSP) a 2 metros de altura, estudiaron el comportamiento de K_c y LAI durante tres campañas consecutivas. Los valores de ET_0 fueron obtenidos de una estación próxima y la ET_c de diferentes lisímetros ubicados en la parcela experimental. El Índice de Área Foliar (LAI) fue calculado semanalmente con el sistema de análisis Canopy Sunscan.

El cultivo inicia la brotación a principios de abril, en torno al día juliano número 100, momento en el que comienza un crecimiento vegetativo acelerado, pasando de un K_c de 0,15 hasta 0,7 aproximadamente en el momento del enero. Entre enero y cosecha se alcanzan valores máximos de 1. Por el día juliano 215 – 220, hasta que comienza un descenso progresivo hasta valores de 0,3.

Texeira et al. (2014) para diferentes cultivares de uva de mesa en Petrolina (Brasil) estudian la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para obtener cálculos reales de evapotranspiración real sin tener que desarrollar cálculos hidrológicos.

Para el cálculo de ET_0 utilizan datos de estaciones próximas y obtienen valores de K_c expresados en función de la acumulación térmica, obteniendo mínimos de 0,75 y máximos de 0,9.

Villagra et al. (2014) para el cv Thompson Seedless en el Valle de Aconcagua (Chile), en un sistema de espaldera aérea obtienen la ET_0 según metodología FAO y la ET_c mediante el método de covarianza Eddy para las temporadas 2008-2009 y 2009-2010.

El ciclo de este cultivo presenta una duración de 196 días. Desde la brotación hasta el enero, los valores de K_c obtenidos son crecientes desde valores de 0,2, alcanzando valores máximos próximos al enero, superiores a 1 y máximos de 1,2 alrededor de 105 días en 2009 – 2010 y 147 días en 2008 – 2009 después de la brotación. Tras alcanzar valores máximos se produce un decrecimiento en los valores.

Con los resultados obtenidos concluyen que los valores publicados en FAO paper nº56 estarían subestimados con respecto a las condiciones del estudio y condiciones locales, con mayores necesidades hídricas del cultivo.

Williams & Ayars (2005) para el cv. Thompson Seedless en el Valle de San Joaquín en California demuestran que los datos de K_c obtenidos están linealmente relacionados con el porcentaje de área sombreada, el área foliar de la vid y el Índice de Área Foliar.

Williams (2016) para el cv. Thompson Seedless en el Valle de San Joaquín (California), en un sistema de espaldera para producción de uvas pasas y uva de mesa, en periodos estudiados entre 2006 – 2009 expresando los datos de K_c en función de la acumulación de Grados Día.

En función del porcentaje de área sombreada se obtiene el valor de K_c , utilizando la ecuación obtenida por Williams & Ayars (2005) donde $K_c = \% \text{ área sombreada} \times 0.017$. Ofrecen datos del año de cultivo 2009 con resultados de K_c que oscilan entre 0,99 para el día juliano 155, que asciende progresivamente hasta el día 212 donde se alcanzan valores máximos y a partir de aquí se produce un ligero descenso.

Concluyen que estos valores publicados por Allen et al., (2006) subestiman los resultados obtenidos en su experimentación.

En diferentes ubicaciones de California, Williams et al. (2022) publican una serie de resultados basados en el cálculo de K_c en función del producto del porcentaje de área sombreada multiplicado por 0.017 (pendiente de la relación entre porcentaje de área sombreada y K_c) para diferentes disposiciones de cultivo y cultivares, sin sufrir estrés hídrico.

Se trata de los diferentes cultivares: cv. Cabernet Sauvignon con sistemas de espaldera con posicionamiento vertical de los brotes (VSP), espaldera Lyre, Doble Cortina Geneva (GDC); también cv. Sauvignon Blanc con sistema sprawl (brotes no posicionados) y cv. Thompson Seedless, con sistema de espaldera VSP, GDC, Lyre y sistema Sprawl de brotes no posicionados.

Observan que, a mayor superficie sombreada bajo las copas, los valores de K_c son más elevados.

Los valores de K_c estacionales se representan en función de los grados día y no disminuyen a partir de la mitad de la temporada, incluso después de la recolección.

A menor superficie por planta, mayores valores de K_c . En sistema de conducción VSP con una superficie de 2,74m²/planta se alcanzan máximos valores de 1,07, alrededor del doble (0,54) que, para el mismo sistema de conducción con superficie de 4,18 m²/planta. Para el sistema de conducción Lyre se alcanzan valores máximos de 1. Todos estos máximos se alcanzan alrededor del día 175-180 de cultivo.

Zermeño (2017) entre el mes de abril y septiembre de 2014 en México (Vinícola de San Lorenzo) en cv. Shiraz obtienen valores de K_c a través de conocer la ET_0 a través de los datos meteorológicos disponibles y la ET_c por el método de covarianza de Eddy comparado con el procedimiento FAO Penman Monteith corregida con el factor de relación de cobertura y los coeficientes mensuales de K_c .

Concluyen que es óptimo y de menos costo calcular la ET_0 a partir de los datos meteorológicos, ya que los resultados obtenidos mediante Eddy covariance son similares.

Obtienen valores de K_c mensual de 0,7 para el mes de abril, 1,09 en mayo, 1,11 como valor máximo en junio y partir de aquí comienza un descenso, 1,07 para julio, 1,02 agosto y 0,83 para el mes de septiembre.

3.5 Relaciones K_c – IAF

Munitz et al. (2016), en Israel para cv. Cabernet Sauvignon con un sistema de posicionamiento de brotes verticales (VSP) estudian el comportamiento del IAF desde el inicio de la brotación se produce un crecimiento desde 0,2 a 1 m²/m². Alrededor de los días 180 y 220 se alcanzaron los mayores índices de 1,13 a 1,36 m²/m² y tras esto comienza lentamente a descender.

Munitz et al. (2016) proponen una curva lineal que relaciona K_c con IAF (con valores de R^2 entre 0,76 y 0,85 en las diferentes etapas. Estos resultados difieren de los obtenidos por Netzer et al. (2009) para uva de mesa cv. Superior Seedless, algo que se puede explicar con la diferencia que existe entre la arquitectura de ambas copas, algo que produce también valores de K_c más elevados.

Netzer et al. (2009) para cv. Superior Seedless en el sur de Israel aplicaron tres tratamientos distintos de riego (80% alto, 60% medio y 40% bajo). Esto se entiende como restricciones hídricas al cultivo y no evapotranspiración potencial.

El cultivo se dispone en espaldera de dos aguas abiertas. Relacionan K_c con IAF con valores de correlación lineal muy elevados, pero evidencian la relación existente entre la dotación hídrica y el desarrollo foliar que se produce con cada uno de los tratamientos.

3.6 Relación K_c – Fenología

Williams (2014) para el cv. Chardonnay en el Valle de Napa, California, con un cultivo con disposición vertical de los brotes, relaciona los resultados de K_c con tres estados fenológicos, obteniendo un resultado de K_c de 0,25 con 300 grados día acumulados para el momento antes de la floración, 0,5 aproximadamente con 700 grados día acumulados para el envero y 0,7 en el momento de la cosecha, con alrededor de 1200 grados días acumulados.

4 Material y métodos

4.1 Ubicación de la parcela

La parcela experimental de donde se han obtenido los datos utilizados para el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado se encuentra ubicada en la finca "Tahonilla Alta", en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, sección de Ingeniería Agraria de Laguna, a 584 m.s.n.m. y a la latitud de 28° 28' 40" N y longitud 16° 19' 22" O.

4.2 Características del sitio del estudio

Se trata de una plantación joven, de 2009, con un marco de 2,5m x 1,5 m, y orientación de las filas N-S, que utiliza un sistema de conducción en espaldera, en Cordón Royat y constituida por un tronco vertical recto de unos 60 cm de altura y brazos simétricos, apoyados sobre un alambre de formación. La vegetación se sustenta en cuatro alambres con separaciones de 30 cm entre sí.

La plantación se realizó a partir de clones de una misma vid de este cultivar sin injertar, con un total de 270 cepas en la superficie de la parcela.

Se ha llevado a cabo un desbrotao en sus primeras fases de su ciclo vegetativo para eliminar los sarmientos mal posicionados, muy juntos o que no portan racimos. Los despuntes se han realizado de manera leve, eliminando los ápices de crecimiento por encima del último alambre, en la época en que la planta ralentiza su crecimiento. También se ha llevado a cabo ligeros aclareos para permitir que los racimos reciban la suficiente luz para correcta maduración. Estos aclareos también contribuyen a una mejor aireación alrededor de los racimos lo que ayuda a prevenir afecciones fúngicas. Otra labor practicada en la sujeción de sarmientos a la estructura vertical de la espaldera.

4.3 Material vegetal.

La variedad de vid cultivada es Listán Negro o Almuñeco, que según el Registro Vitícola de Canarias del año 2017 ocupa un 43% de la superficie cultivada de viña en la isla de Tenerife (Rodríguez, s.f.). Es la variedad tinta más cultivada en Canarias, extendida por su gran adaptabilidad a los diferentes climas y suelos del archipiélago, con una producción estable y de buena calidad. Además, es una variedad productiva y poco sensible a enfermedades, aunque la compacidad de sus racimos puede favorecer las pudriciones. Su ciclo es largo. Puede presentar deficiencias de color y acidez, teniendo dificultad para alcanzar su madurez fenólica en cotas altas y frías cuando ha alcanzado los grados Brix apropiados (Machín, et. al, 2019), por lo que en ocasiones se mezcla con otras variedades que aportan mayor calidad a los caldos resultantes.

4.4 Meteorología de la etapa de estudio.

Las condiciones climáticas de la zona estudiada se caracterizan por presentar inviernos suaves y veranos cálidos, pero con precipitaciones moderadas en los meses entre octubre y marzo. La humedad relativa de la zona es alta durante la mayor parte del año, sobre todo en los meses de invierno.

Estas condiciones climáticas se ven influenciadas por la altitud de la zona y la orografía de los alrededores, que crean una especie de microclima diferente a zonas muy próximas.

Los datos meteorológicos utilizados en el presente estudio han sido obtenidos de una estación agroclimática ubicada en los campos experimentales de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería Agraria, sección Ingeniería Agraria.

| | | T° media (°C) | Humedad relativa media (%) | Velocidad viento (m/s) | Radiación neta (w/m2) | Lluvia (mm) |
|------|--------|------------------|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|
| 2014 | Abril | 15,2 | 82,2 | 1,82 | 249,5 | 22,3 |
| | Mayo | 16,1 | 80,8 | 3,45 | 278,3 | 5 |
| | Junio | 17,4 | 81 | 3,34 | 301,8 | 2,75 |
| | Julio | 18,2 | 84,1 | 4,24 | 292,3 | 5,5 |
| | Agosto | 20,1 | 81,3 | 4,5 | 308,8 | 4,25 |
| 2015 | Abril | 13,9 | 83 | 2,66 | 269 | 2,75 |
| | Mayo | 17,7 | 72,7 | 3,34 | 307,7 | 3,5 |
| | Junio | 17 | 85,7 | 3,55 | 303,9 | 12,25 |
| | Julio | 21,1 | 75,1 | 4,48 | 322 | 0,75 |
| | Agosto | 20,6 | 82,6 | 3,12 | 264,5 | 57,75 |
| 2017 | Abril | 16,8 | 76,1 | 2,48 | 283,4 | 41 |
| | Mayo | 16,8 | 82,93 | 3,14 | 267,4 | 15,5 |
| | Junio | 19,03 | 78,2 | 4,12 | 303,73 | 2 |
| | Julio | 19,94 | 76,56 | 4,49 | 324,48 | 8 |
| | Agosto | 22,9 | 65,94 | 3,04 | 307,19 | 10,5 |
| 2019 | Abril | 14,05 | 85,47 | 3,54 | 267,79 | 33 |
| | Mayo | 16,27 | 83,42 | 3,91 | 336,43 | 0,5 |
| | Junio | 17,98 | 79,55 | 3,02 | 291,08 | 11,75 |
| | Julio | 18,44 | 85,23 | 4,86 | 317,03 | 3,75 |
| | Agosto | 21,32 | 75,15 | 3,98 | 319,01 | 0,75 |
| 2021 | Abril | 15,49 | 84,1 | 2,5 | 245,71 | 52 |
| | Mayo | 16,01 | 82,13 | 3,98 | 284 | 4,75 |
| | Junio | 17,85 | 77,39 | 3,95 | 288,26 | 1,75 |
| | Julio | 19,96 | 78,73 | 4,77 | 319,26 | 4 |
| | Agosto | 21,57 | 71,92 | 3,52 | 306,75 | 7,7 |
| 2022 | Abril | 14,84 | 79,28 | 3,16 | 265,44 | 20 |
| | Mayo | 17,23 | 79,19 | 3,1 | 308,94 | 1,75 |
| | Junio | 17,45 | 84,63 | 4,08 | 288,26 | 6,75 |
| | Julio | 20,95 | 74,59 | 4,66 | 322,9 | 4,75 |
| | Agosto | 20,69 | 78,88 | 4,08 | 290,11 | 2,5 |

Tabla 2. Recopilación de promedios climáticos de la temporada de estudio. Nota: se trata de promedios mensuales de temperatura media, humedad relativa media, velocidad de viento, radiación neta y precipitación, obtenidos de estación meteorológica HOBO (2014 – 2018) y LAGUNA (2018 – 2022), de AgroCabildo – Agricultura y desarrollo rural de Tenerife y LAGUNA.

Los valores se refieren a registros promedios de datos obtenidos cada 10 minutos, en base a datos tomados cada minuto según la estación HOBO de AgroCabildo – Agricultura y desarrollo rural de Tenerife en el periodo 2014-2018, ubicada a 564 m.s.n.m. y, posteriormente en 2018-2022 se toman de otra nueva estación con denominación LAGUNA, también de AgroCabildo – Agricultura y desarrollo rural de Tenerife, ubicada a 559 m.s.n.m., ambas ubicadas muy próximas a la parcela de experimentación.



Imagen 1. Antigua estación meteorológica HOBO. Nota: Tomado de AgroCabildo – Agricultura y desarrollo rural en Tenerife.

https://www.agrocabildo.org/agrometeorologia_estaciones_detalle.asp?id=57

4.5 Diseño experimental

La experiencia que nos ocupa se enmarca en un proyecto que tiene como objetivo el conocer la respuesta de la vid ante distintas aportaciones de agua, en diferentes etapas de su ciclo vegetativo. Los tratamientos que aplican son los siguientes:

- T1: Riego, sin restricciones durante el periodo brotación – envero.
- T2: Riego, sin restricciones durante el periodo floración – envero.
- T3: Riego, sin restricciones durante el periodo floración – envero.
- T4: Sin aportación de agua a través del riego.

El tratamiento de donde salen los datos estudiados es el que no restringe los riegos entre el periodo de brotación hasta el envero, es decir, T1, disponiendo la planta del suficiente suministro de agua para que pueda realizar su evapotranspiración potencial.

Durante el periodo de riego, desde finales de marzo hasta finales de julio, se aplica agua a un intervalo semanal o quincenal, restituyendo el agua necesaria para llegar a unas condiciones de capacidad de campo después del riego. Esta operación se realiza con la información que proviene de un lisímetro de pesada que contiene una planta de viña, de una superficie aproximada de 2,4 m², una profundidad de 1 m y un peso bruto de 3470 kg en capacidad de campo.

Tal y como se muestra en la siguiente figura, la parcela contiene 12 bloques situados al azar, contando cada tratamiento con 3 repeticiones. Cada bloque experimental contiene 21 o 24 plantas, siendo 5 o 6 las plantas control y resto, bordes.

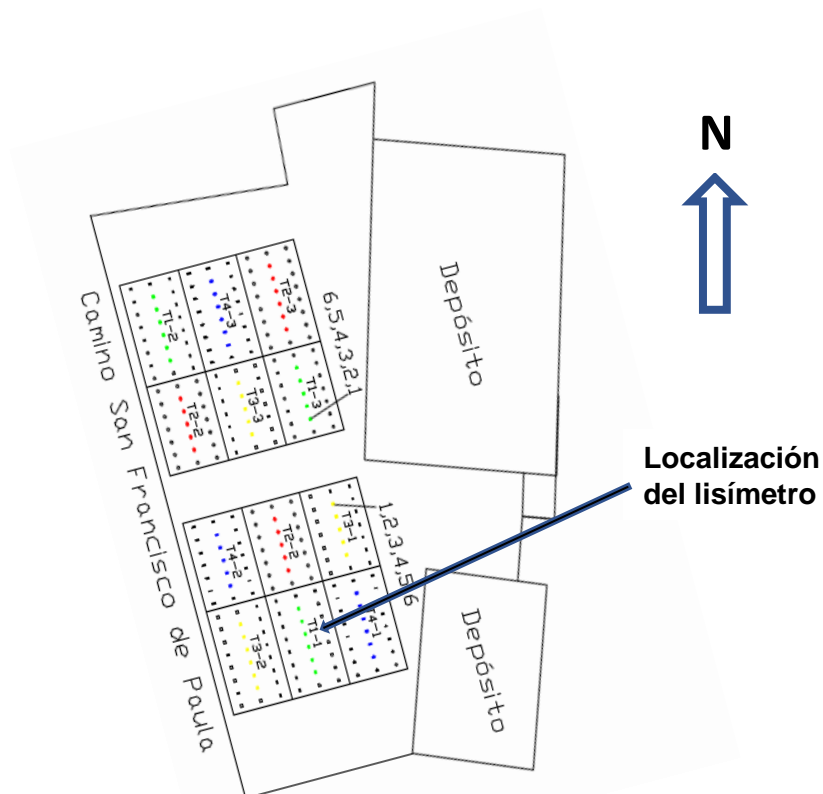


Imagen 2. Distribución de los diferentes tratamientos dentro de la parcela experimental.

En el presente estudio nos centramos exclusivamente en el tratamiento 1, el cual es adecuado para conocer su evapotranspiración del cultivo sin estrés hídrico (ET_c), entendiéndose además que es un cultivo carente de enfermedades, bien desarrollado, que alcanza la máxima producción (Allen et al., 2006).

4.6 Características del suelo y el agua

De la información aportada por los análisis del agua de riego y del suelo, y a pesar de que los niveles de sodio y el pH son altos, no se consideran limitantes para las funciones metabólicas y fisiológicas de la planta.

A continuación, se presentan las analíticas mencionadas.

| Análisis de agua | | |
|------------------|---------------|-----------|
| Determinación | Unidades | Resultado |
| pH | | 8,10 |
| C.E. | mS/cm 25°C | 0,52 |
| Carbonato | meq/l | 0,00 |
| Bicarbonato | meq/l | 6,10 |
| Cloruro | meq/l | 1,00 |
| Sodio | meq/l | 3,20 |
| Potasio | meq/l | 0,40 |
| Calcio | meq/l | 0,60 |
| Magnesio | meq/l | 2,80 |
| pH de Equilibrio | | 7,10 |
| S.A.R. Ajustado | | 5,64 |

Tabla 3. Características de agua según analítica. Nota: muestras analizadas por el Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (2017).

| Análisis de suelo | | | | |
|-------------------|----------|-----------|--------------|--------------------|
| Determinación | Unidades | Resultado | Calificación | Método |
| Materia Orgánica | % | 2,5 | Normal | Wallis |
| Fósforo | ppm | 36 | Normal | Olsen |
| Cationes | | | | |
| Sodio | meq/100g | 1,2 | Alto | Fotómetro de llama |
| Potasio | meq/100g | 2,9 | Muy alto | Fotómetro de llama |
| Calcio | meq/100g | 11,1 | Normal | Absorción atómica |
| Magnesio | meq/100g | 6,9 | Muy alto | Absorción atómica |
| pH pasta saturada | meq/l | 7,6 | Alcalino | Potenciometría |
| C.E. | mS/cm | 0,47 | Baja | Conductímetro |
| PS* | % | 46,8 | | |

Tabla 4. Características de suelo según analítica. Nota: muestras analizadas por el Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (2017).

4.7 Metodología del riego

Los riegos se realizan partiendo de un aljibe situado próximo a la parcela. Una bomba sumergible impulsa el agua que pasa por filtro de malla, un dispositivo Venturi unas válvulas solenoides, unos contadores Woltman. El agua se conduce hacia unos laterales de riego de 16 mm de diámetro nominal con emisores autocompensantes – antidrenantes, de caudal nominal 4 L/h, insertados cada 50 cm. Las tuberías laterales están sujetas al primer alambre, a 50 cm sobre el suelo.

Tal y como se menciona anteriormente, nuestro estudio se centra en el tratamiento número 1, el cual lo denominamos “Riego sin estrés”, donde el aporte realizado se lleva a cabo en función de la información obtenida a través del lisímetro de pesada ubicado en la parcela, aproximando la humedad en cada riego a la capacidad de campo para así trabajar con un cultivo que no sufre ningún tipo de restricciones hídricas.

En general, las aplicaciones hídricas realizadas se distanciaron en periodos semanales o quincenales según condiciones durante las etapas de cultivo mencionadas anteriormente.

Antes del inicio de cada campaña y para asegurar el buen estado y funcionamiento de la instalación, se realizó un lavado y comprobación de la instalación y los goteros, reponiendo los goteros obstruidos para garantizar una aplicación homogénea.

4.8 Cálculo de Evapotranspiración de Referencia (ET₀)

La evapotranspiración de referencia (ET₀), es la cantidad de agua evaporada de una superficie de referencia estándar, la cual es un césped corto y con aporte hídrico adecuado, es imprescindible para poder obtener a la postre la Evapotranspiración de cultivo (ET_c).

El procedimiento de cálculo se limita a aplicar la ecuación propuesta por Penman – Monteith la cual utiliza datos meteorológicos tales como la temperatura, humedad relativa, radiación global y velocidad del viento, los cuales deben ser medidos o convertidos a 2 metros de altura sobre la superficie del suelo, que debe ser una superficie de pasto extensa que cubra totalmente el suelo.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

ET₀ = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

R_a = radiación extraterrestre (mm día⁻¹)

G = flujo del calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T = temperatura media del aire a 2m de altura (°C)

u² = velocidad del viento a 2m de altura (m s⁻¹)

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

e_s – e_a = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

Se han obtenido resultados de ET₀ para periodos diarios, que luego se han promediado para periodos semanales o quincenales.

4.9 Cálculo de Evapotranspiración de Cultivo (ET_c)

La evapotranspiración real de la planta contenida en el lisímetro, que representa a las plantas sometidas al tratamiento T1, se puede determinar estimar mediante el balance de agua que se experimenta en la cubeta. Éste contempla las entradas: riegos y precipitaciones, las salidas: evapotranspiración, escorrentía y drenaje, así como las variaciones del contenido de agua almacenada en el suelo. Ésta última se obtiene por diferencia de pesada que no las proporciona el lisímetro.

Esta ET real, que la asimilamos a la ET_c , se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$ET_{real} = (P + R) - Pp - Es - \theta$$

Dónde:

- ET real = evapotranspiración real;
- P = Precipitaciones;
- R = Riego;
- Pp = Percolación profunda o drenaje;
- Es = Escorrentía superficial;
- θ = variación del contenido de humedad en el suelo.

La escorrentía superficial es en este caso nula, ya que en el interior de la cubeta no puede producirse escorrentía.

4.10 Lisímetro

El lisímetro empleado en este trabajo se encuentra ubicado junto al bloque 5, tratamiento 1. Contiene un volumen de suelo de unos 2400 litros en el interior de un cubo de dimensiones 1,85m x 1,30 x 1,00. Se encuentra ubicado sobre cuatro células de carga, las cuales miden el peso con una frecuencia de 10 minutos y finalmente se obtiene un dato horario. Mediante comunicación entre el registrador y un ordenador ubicado en la Sección de Ingeniería Agraria se transfiere la información.

4.11 Datos de lluvia

Se tienen en cuenta los datos de ambas estaciones meteorológicas anteriormente mencionadas, contrastadas también con las diferencias de peso que se producen en el lisímetro durante el periodo que dura la precipitación.

4.12 Datos de riego

Las dosis de riego aplicadas se obtienen directamente mediante la lectura de los contadores y una vez más, son contrastados con las diferencias de pesada del lisímetro en los eventos de riego.

4.13 Datos de drenaje

Los datos referidos al drenaje o percolación profunda son registrados en la unidad de registro de datos y son medidos con un pluviómetro al que se conduce el agua que drena la cubeta. Como durante el periodo de riego se procura no exceder la humedad de capacidad de campo, y

las lluvias en estos meses no suelen ser copiosas, las cantidades drenadas por el lisímetro son de pequeña cuantía.

4.14 Coeficiente de cultivo

Según la metodología propuesta por Allen et al., (2006) (FAO 56, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) para el cálculo de las necesidades de riego de los cultivos, se obtienen unos valores variables en función de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, lo que permite ajustar la evapotranspiración de referencia y obtener estimaciones más precisas de la evapotranspiración real del cultivo (ET_c).

En el presente trabajo, tras haber conocido los datos de la evapotranspiración de referencia (ET_0) mediante los datos climáticos y los datos de evapotranspiración real del cultivo (ET_c) a partir del mencionado balance de agua en parcela, se obtiene el valor del Coeficiente de cultivo (K_c) despejando de la siguiente relación:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0}$$

Este coeficiente de cultivo ha sido calculado para las campañas 2014, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2022. En los años 2016, 2018 y 2020, ya sea por ausencia de datos o por la inconsistencia de éstos, no se ha considerado conveniente su cálculo.

4.15 Relación K_c – Fenología

Usando una información relativa al seguimiento fenológico del cultivo realizado recabada en años anteriores, se ha procurado relacionar los coeficientes de cultivo con los valores de K_c obtenidos para los mismos años 2014, 2015 y 2017.

La metodología que se utilizó para caracterizar la fenología del cultivo en los años indicados fue la propuesta por Baggiolini en 1952.

Se procuró asociar los distintos estados fenológicos de estos tres años a unas fechas determinadas, según la información analizada. Al mismo tiempo, se asoció a éstas los valores calculados de K_c durante la serie de seis años especificada en el punto anterior. El resultado de ello nos permite proponer unos resultados aproximados de la relación entre una fecha, el estado fenológico y el K_c , a lo largo del cultivo.

4.16 Relación K_c – Fenología – Grados día acumulados

Se calculó la integral térmica que se acumuló para alcanzar durante los tres años estudiados tres etapas fenológicas características del cultivo. Éstas fueron las de “hojas completamente extendidas” (E), “plena floración” (I) y “inicio de envero” (M1).

El procedimiento para calcular la acumulación de grados día se ha cuantificado estableciendo una temperatura base mayor o igual a Esta base es restada a la temperatura media diaria obtenida de la estación meteorológica y la diferencia es sumada, formando el acumulado.

Los grados acumulados se contabilizaron a partir de una temperatura media diaria de 10°C, ya que por debajo de ésta se produce una ralentización de las funciones metabólicas de la planta que llevan a una parada en su desarrollo.

5 Resultados y discusión

5.1 Evapotranspiración de Referencia (ET_0)

Introduciendo en el software PMETp-w® los datos registrados por las estaciones meteorológicas, en periodos quincenales, se obtiene los siguientes resultados:

| | Evapotranspiración de referencia (ET_0) mm | | | | | |
|---------------|--|------|------|------|------|-------|
| | 2014 | 2015 | 2017 | 2019 | 2021 | 2022 |
| 15 - 30 marzo | 44,1 | 38,5 | 46,2 | 51,4 | 48,0 | 37,9 |
| 30 - 15 abril | 47,5 | 48,7 | 63,5 | 45,6 | 51,2 | 48,3 |
| 15 - 30 abril | 54,6 | 55,8 | 62,4 | 53,4 | 48,5 | 59,9 |
| 30 - 15 mayo | 30,5 | 78,3 | 54,3 | 74,4 | 56,3 | 139,8 |
| 15 - 30 mayo | 55,8 | 60,5 | 63,3 | 70,7 | 61,4 | 66,5 |
| 30 - 15 junio | 60,9 | 27,0 | 63,8 | 67,5 | 71,9 | 58,7 |
| 15 - 30 junio | 63,9 | 70,1 | 78,8 | 65,4 | 59,4 | 75,9 |
| 30 - 15 julio | 63,6 | 32,0 | 63,6 | 66,5 | 69,3 | 21,7 |
| 15 - 30 julio | 66,5 | 85,1 | 84,3 | 70,6 | 74,6 | 91,6 |
| Σ | 487 | 496 | 580 | 565 | 540 | 600 |

Tabla 5. Evapotranspiración de referencia (ET_0). Nota: ET_0 acumulada en periodos quincenales para los 6 años que se han estudiado.

5.2 Evapotranspiración de cultivo (ET_c)

La ET_c ha sido calculada a partir de la expresión de balance de agua mencionada en el apartado anterior. Los cálculos se presentan en el anejo nº 1.

| | Evapotranspiración de cultivo (ET_c) mm | | | | | |
|---------------|---|------|------|------|-------|-------|
| | 2014 | 2015 | 2017 | 2019 | 2021 | 2022 |
| 15 - 30 marzo | 11,1 | | 15,7 | 14,9 | 12,21 | 12,35 |
| 30 - 15 abril | | | 20,0 | 17,1 | 10,02 | 20,22 |
| 15 - 30 abril | 21,2 | | | 14,9 | 17,31 | 20,69 |
| 30 - 15 mayo | 15,8 | 31,3 | 24,0 | | 21,21 | 51,70 |
| 15 - 30 mayo | 26,4 | 25,1 | 23,4 | 20,4 | 19,42 | 23,81 |
| 30 - 15 junio | 27,2 | 12,9 | 29,6 | 23,3 | 28,96 | 33,79 |
| 15 - 30 junio | 35,7 | | 34,1 | 30,6 | 26,53 | 54,14 |
| 30 - 15 julio | 32,2 | 13,6 | 28,8 | 28,4 | 38,83 | 14,92 |
| 15 - 30 julio | 33,8 | 45,4 | 38,6 | 31,4 | 35,12 | |
| Σ | 203 | 128 | 214 | 181 | 210 | 232 |

Tabla 6. Evapotranspiración de cultivo (ET_c). Nota: ET_c acumulada en periodo quincenal, obtenida a partir del balance de agua en lisímetro.

La ausencia de datos de ET_c para algunos periodos quincenales se debe a las mismas razones explicitadas anteriormente, es decir, la ausencia o inconsistencia de datos para dichos periodos.

5.3 Coeficientes de cultivo

Los valores de K_c obtenidos para la vid para los periodos considerados se presentan en la siguiente tabla.

| | | K _c estimados | | | | | | | | | |
|----------|------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Día del año | 81 | 97 | 112 | 127 | 142 | 158 | 173 | 188 | 203 |
| Año | 2014 | | 0,25 | | 0,39 | 0,52 | 0,47 | 0,45 | 0,56 | 0,51 | 0,51 |
| | 2015 | | | | | 0,4 | 0,42 | 0,48 | 0,42 | 0,53 | 0,63 |
| | 2017 | | 0,34 | 0,32 | | 0,44 | 0,37 | 0,46 | 0,43 | 0,45 | 0,46 |
| | 2019 | | 0,29 | 0,38 | 0,28 | | 0,29 | 0,35 | 0,47 | 0,43 | 0,45 |
| | 2021 | | 0,25 | 0,2 | 0,36 | 0,38 | 0,32 | 0,40 | 0,45 | 0,56 | 0,47 |
| | 2022 | | | 0,33 | 0,42 | 0,35 | 0,37 | 0,36 | 0,58 | 0,71 | 0,69 |
| Promedio | | | 0,28 | 0,31 | 0,36 | 0,42 | 0,37 | 0,42 | 0,49 | 0,53 | 0,54 |

Tabla 7. Resultados de coeficientes de cultivo estimados. Nota: los valores obtenidos han sido calculados para periodos quincenales y asignados al día juliano que se encuentra en el centro de la quincena.

Los cálculos realizados para obtener los resultados que se presentan en esta tabla están contenidos en el anejo nº 1.

Se puede observar como el K_c parte de valores próximos a 0,25 y crecen a un ritmo sostenido hasta llegar a valores próximos a 0,55 a principios del mes de julio, para con posterioridad estabilizarse. Esto puede ser debido a un moderado control estomático debido a las altas demandas transpirativas que se experimentan en estas fechas, en las horas centrales del día.

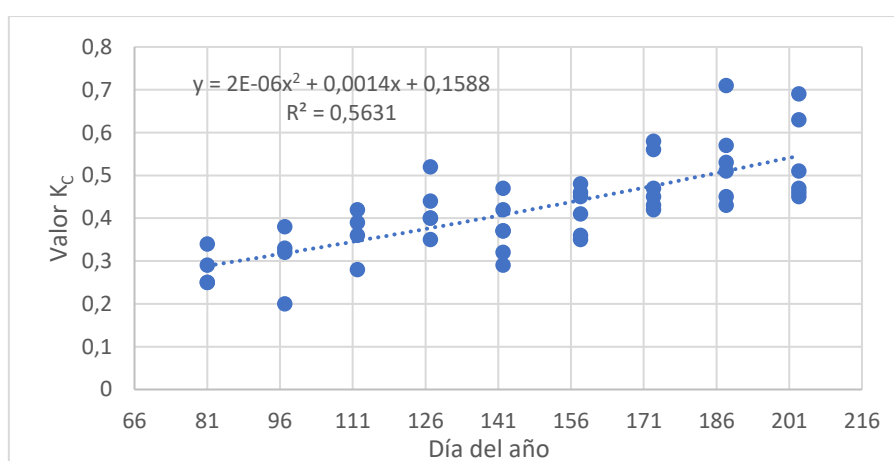


Gráfico 2. Dispersión de los resultados de K_c obtenidos. Nota: cada valor obtenido se refiere a una quincena y se le asigna al día del año que se encuentra en el centro de su respectiva quincena.

Se observa una gran dispersión de los datos en las distintas fechas del ciclo de cultivo, obteniéndose un R^2 de 0,56 para el ajuste de todos los datos a una ecuación cuadrática. Esto puede ser debido a que, dependiendo del año, para una fecha determinada, no siempre las plantas se encuentran en idéntico estado fenológico. Por otro lado, los diferentes manejos de cultivo que se hayan llevado en las distintas campañas han podido influir en los valores de IAF para las mismas fechas y en consecuencia producir variaciones en los valores de K_C .

5.4 Relación Coeficiente de Cultivo – IAF

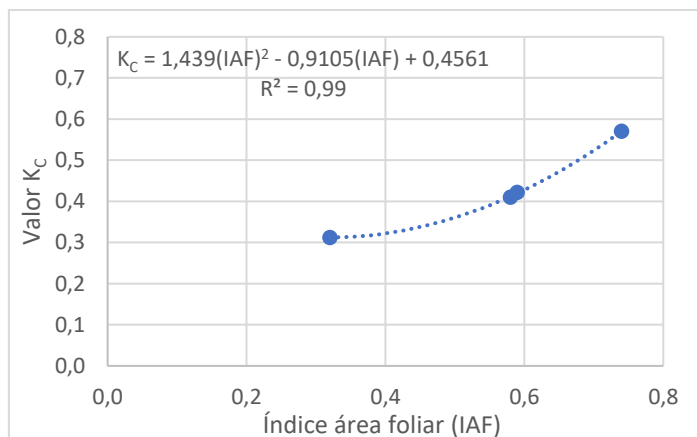


Gráfico 3. Relación entre coeficiente de cultivo e índice de área foliar.

Con el máximo valor de IAF alcanzado (0,74), se experimenta un K_C de 0,57, mientras que, con un IAF de 0,32 de las etapas tempranas, el K_C es de 0,31. El hecho de que con el tiempo vaya disminuyendo la relación K_C /IAF puede hacernos sospechar que se vaya perdiendo la capacidad transpirativa de la hoja, pero quizás esta disminución se deba a la existencia de una mayor proporción de hojas sombreadas en las etapas más avanzadas del cultivo.

5.5 Relación K_C – Estado fenológico – Época



Gráfico 4. Relación época del año, estado fenológico y coeficiente de cultivo. Nota: Resultados obtenidos para los años 2014, 2015 y 2017. Las letras presentadas en el gráfico expresan los estados fenológicos según M. Baggiolini, donde E: hojas completamente extendidas, F: aparición inflorescencia, G: inflorescencia separada, I: plena floración, J: cuajado, K: guisante, L: cerramiento de racimo, M1: inicio del envero.

5.6 Relación K_c – Estado fenológico – Grados día acumulados

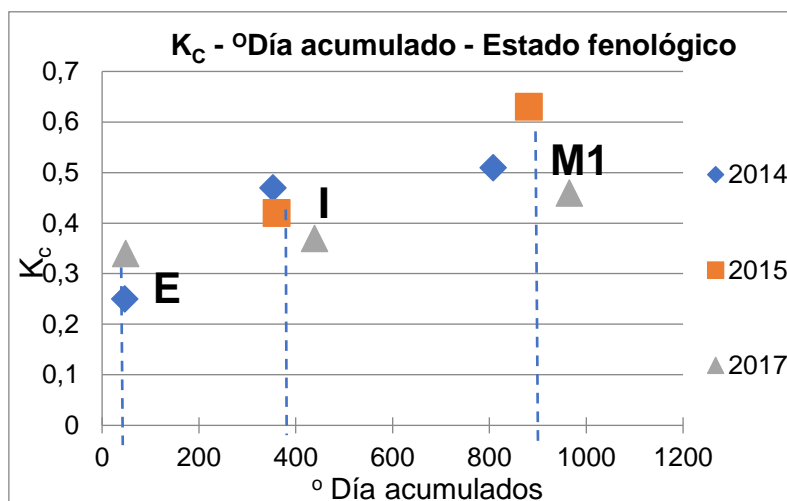


Gráfico 5. Relación entre los grados día acumulados, estado fenológico y coeficiente de cultivo. Nota: grados día acumulados a partir de la brotación, con temperaturas mayores a 10°C, para estados fenológicos según M. Baggiolini: E (hojas completamente extendidas), I (Floración), M1 (Inicio del envero).

Los valores obtenidos para cada etapa fueron muy similares en los tres años.

Para alcanzar el estado E se abrían de acumular 50 grados día desde el comienzo de la brotación (C = punta verde). Para alcanzar el estado I harían falta 385 grados día y para llegar al M1, 885.

CAPÍTULO II. ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN ENTRE VARIAS MEDIDAS LINEALES RELACIONADAS CON LA MORFOLOGÍA DE LA HOJA DE LA VID, CV. LISTÁN NEGRO Y LA SUPERFIE FOLIAR DE ÉSTA.

6 Revisión bibliográfica

6.1 Superficie foliar

La determinación del área foliar es importante y está asociada a procesos agronómicos y fisiológicos como la transpiración, fotosíntesis y balance de energía (Gardner et al., 1990). Es determinante para la capacidad productiva de las plantas. La densidad y la forma que adquiere la cubierta vegetal determinan la interceptación y distribución de la radiación por la planta, algo que condicionarán la fotosíntesis y la transpiración (Mabrouk et al., 1997).

El desarrollo de las hojas durante el crecimiento es fundamental para la interceptación de luz, el proceso fotosintético y el control de la producción de materia seca (Oliveira y Santos, 1995). Sin embargo, las hojas también son las principales responsables de la generación de sombra dentro de las plantas, lo cual puede causar una disminución en el rendimiento y en la calidad de bayas (Smart y Smith, 1988).

A raíz de esto, se plantea la necesidad definir nuevos parámetros que caractericen la vid, forma del dosel y que podrían ser utilizado para explicar la capacidad del viñedo y su relación con el rendimiento potencial y la composición del mosto.

En definitiva, conocer el área foliar de los cultivos permite un mejor manejo y uso de la cubierta vegetal, en aspectos como la poda de formación y producción, el raleo de frutos y el control de plagas y enfermedades; todas labores que inciden directamente en la productividad del huerto frutal (Gutiérrez y Lavín, 2000; Cortés, 2003; Mika et al., 2007).

6.2 Métodos directos destructivos

Los métodos directos destructivos requieren de un muestreo en campo de los brotes, y su posterior traslado al laboratorio para ser analizados y realizar las mediciones de sus hojas. Estos, aunque son muy exactos, requieren intervenir directamente sobre la estructura foliar de la planta al extraer las muestras o totalidad de hojas, lo que no permite seguir el seguimiento de una misma planta en el tiempo (Suckel, 2001) afectando a la producción de las plantas medidas, además de que requieren mucho tiempo de manejo y trabajo.

Rincón et al. (2012) estudian la utilización de dispositivos como una cámara web, la cámara de un teléfono móvil y una cámara digital semiprofesional para determinar el área foliar. En primer lugar, se realiza una calibración con respecto a una superficie conocida, fijado a un soporte universal, a una altura determinada y cada tipo de dispositivo distanciado también a una distancia determinada.

Posteriormente se calculó la superficie mediante software libre ImageJ para las 5 especies vegetales evaluadas con diferentes morfologías. Para estimar el ajuste de cada método se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre la superficie conocida y el valor de superficie obtenido con cada sistema de fotografía, obteniendo valores de R^2 muy altos, mayores a 0,99, concluyendo que el análisis computarizado de las imágenes de las hojas permite estimar el área foliar de manera adecuada.

Rodríguez et al. (2012) realizan estimaciones del área foliar a partir de mediciones lineales en las hojas, colectándolas de las zonas apicales, medias y basales de brotes de vid cv. Malbec con sistema de conducción en parral y espaldera.

Determinan el área y longitudes de ancho máximo (AM), largo máximo (LM) y nervadura central (LNC) utilizando software Surfer Vers. 10 posteriormente a haber realizado un escaneo de las hojas. Tras esto, se encontró una elevada correlación en los modelos de regresión calculados utilizando las mediciones de ancho máximo y largo máximo, y también la longitud de la nervadura central, obteniendo valores de R^2 (0.965) muy elevados para LMxAM.

Sánchez et al. (2009) validan lo estudiado por López y Pinto (2000) experimentado entre 2003 y 2007 en España (Toledo), para 5 cv diferentes: cv. Syrah, Cabernet Sauvignon, Cabernet Franc, Merlot y Tempranillo.

Determinaron el área foliar tanto de pámpanos como nietos mediante analizador de imagen. Conociendo la longitud central del nervio principal de las muestras, realizaron regresiones lineales o cuadráticas entre la superficie de la hoja y la longitud, obteniendo así la ecuación para el cálculo del área foliar y el coeficiente de correlación entre variables.

Posteriormente, para determinar el área foliar total de la planta, plantean 5 variables: superficie de la hoja más grande (A_{max}), superficie de la hoja más pequeña (A_{min}), área media de la hoja ($(A_{max} + A_{min}) / 2$), número de hojas (N) y área foliar media ($AF1 = A_{med} * N$).

El mayor valor de coeficiente de correlación se encontró entre el área foliar (AF) y el área foliar media (AFM), con valores de 0.93 en pámpanos y 0,98 en nietos.

Yuste et al. (2007) llevaron a cabo sobre tres densidades de plantación en cv. Tempranillo, en Valladolid en un cultivo sin restricciones hídricas, con conducción en espaldera y sistema de poda cordón Royat bilateral, un método para determinar el área foliar por sarmiento mediante método destructivo en la época de vendimia, mediante medidor de área foliar.

Se obtienen ecuaciones de regresión relacionando el peso fresco de las hojas del sarmiento de cada tratamiento, la superficie foliar medida con el medidor de área foliar y el peso seco de las hojas de un sarmiento por cepa, encontrándose igualmente valores de R^2 muy altos en los tres tratamientos de distancia entre cepas estudiadas.

6.3 Métodos directos no destructivos

Los métodos directos no destructivos están basados en la relación empírica entre área foliar y otra variable de la hoja. Por lo tanto, este no interviene en la estructura foliar, sino que emplea parámetros físicos o descriptivos que se caracterizan por ser de mayor rapidez, pero requieren de calibración previa.

Lasheras et al. (2016), en Córdoba para cv. Tempranillo, Syrah, Merlot, Cabernet Sauvignon y cv. Pedro Ximénez con un mismo sistema de poda y marco de plantación han estudiado una modificación del método propuesto por Carbonneau (1976). Consistió en un método no destructivo para determinar el área foliar individual (ILA) y la longitud del nervio principal (MVL), algo fácilmente medible en campo.

Realizaron mediciones en laboratorio de la longitud del nervio principal y el área foliar, utilizando un medidor de área (CI-203CA; CID Inc. USA). Posteriormente establecieron una relación lineal o curvilínea, obteniendo la ecuación requerida para calcular el ILA estimado a partir del MVL o medido en campo. Todas las correlaciones fueron altamente significativas, con coeficientes de correlación de Pearson (R) superiores a 0,9.

Disegna et al. 2005) han estudiado el método no destructivo para calcular el área foliar mediante un muestreo de hojas en 40 brotes (20 plantas), basado en la correlación existente entre la nervadura central de la hoja y su área (Carbonneau, A., 1976).

6.4 Índice de Área Foliar

El índice de área foliar (IAF) o LAI se define como la relación entre la superficie foliar desarrollada y la superficie de suelo (Carbonneau, 1989), lo que va a determinar el nivel de intercambio gaseoso entre la planta y el ambiente.

$$IAF = \frac{\text{Superficie foliar total (m}^2\text{)}}{\text{Superficie del suelo (m}^2\text{)}}$$

Las principales causas de las diferencias de desarrollo final del área foliar son la disponibilidad de agua (Schultz y Matthews 1993) y la longitud del período de crecimiento (Schultz, 1992).

Los valores reportados en la literatura son muy variables y dependen de muchos factores: clima, suelo, variedad, la densidad de siembra, la altura del dosel, la fertilización, el régimen hídrico, etc.

El área foliar influye directamente en varios procesos fisiológicos de la planta. Uno de esos procesos es la fotosíntesis, la cual utiliza como fuente energética la radiación solar interceptada por la cubierta vegetal para transformar moléculas inorgánicas (CO₂ y agua) en moléculas orgánicas aprovechables por la planta, como carbohidratos. La fotosíntesis, en conjunto con otros procesos fisiológicos (hormonales, nutricionales e hídricos) y factores abióticos (radiación solar, temperatura y humedad), interactúa con la cubierta vegetal e influyen en el desarrollo, el tamaño, el color y la calidad de la fruta, y en la distribución de los asimilados (Jackson y Palmer, 1981; Rom, 1991; Gil, 2006).

Un método conveniente es la medición de la interceptación de radiación solar que permite estimar el IAF, ya que estas variables están altamente asociadas (De la Casa et al., 2007; López-Lozano et al., 2009).

Hay dos períodos principales en los que el papel del área de la hoja es un factor clave: la aparición del fruto y maduración de la piel de la pulpa y de la semilla. Durante el ciclo, la salud y la eficiencia del dosel vegetal se debe garantizar, en particular durante el desarrollo de la baya, evitando el envejecimiento temprano que pone en peligro la maduración.

Para obtener este Índice de Área Foliar se ha empleado el método "Point Quadrat", descrito por primera vez para calcular la distribución foliar por Levy y Madden, 1933. Estos investigadores lo aplicaron a un cultivo de hierba y sobre él desplazaron una aguja en dirección vertical en un entramado de cuadrículas para poder hacer un mapa de la distribución foliar.

Este primer método descrito contaba con un inconveniente muy importante al no considerar el grado de inclinación de las hojas, obviando de esta manera los valores del área foliar del cultivo.

Wilson (1958) propone el método "Point Quadrat bidimensional". El autor desarrolló un método que permitía determinar la inclinación foliar combinando el número de intersecciones en dirección vertical y horizontal.

La aplicación del método propuesto por Wilson en viñas conducidas por espaldera se hace materialmente imposible. Por lo que se tomó la decisión de utilizar un método propuesto por el profesor Domingo Sáenz Pisaca en su tesis doctoral "Ecofisiología de la vid, cv. Listán Negro, cultivada en la Comarca de Tacoronte-Acentejo" (Sáenz, 2007).

7 Material y métodos

7.1 Superficie foliar

Para llevar a cabo la medición del Índice de Área Foliar en las campañas anteriores se han empleado métodos no destructivos.

El método empleado ha sido de manera manual y artesanal, el cual consiste en medir la cantidad y densidad de hojas de la planta. Mediante un panel de PVC de dimensiones 1,2m x 1,5m con orificios dispuestos en una trama de 10x10cm, conectados a ambos lados por tubos de metacrilato de $\varnothing 10\text{mm}$ que sirven de guía para realizar la medición.

Este panel estaba sustentado por dos pies telescópicos que permitían el ajuste en altura. El cultivo, al contar con un sistema de conducción en espaldera, este fue dispuesto en vertical, en paralelo a la línea de cultivo.

Para la toma de datos, se introdujo la varilla por cada una de las coordenadas del panel, anotando en una plantilla la intercepción de la varilla con las hojas de la planta.

Este método consiste en llevar a cabo el protocolo de Wilson y ponderar los valores obtenidos teniendo en cuenta que las hojas no están dispuestas en un plano paralelo al del panel. Para ello, se toman 10 hojas al azar y se miden los ángulos verticales y horizontales respecto al plano del panel (Pérez, 2018).

Con la aplicación de una ecuación matemática, se determina en cada una la relación entre la superficie real y la proyectada sobre el plano del panel. Las medidas obtenidas con el panel se ponderan por un coeficiente que corresponde a la media de las relaciones de superficies de las diez hojas (Pérez, 2018).

7.2 Evaluación del programa informático ImageJ para la medida foliar del viñedo.

Para poder evaluar la bondad de medida de la superficie foliar realizadas mediante el programa informático ImageJ, se seleccionaron 20 hojas adultas en la parcela experimental. Se pesaron y se calcularon las superficies de éstas mediante el siguiente protocolo. Se dibujó el contorno de estas sobre una lámina de papel de peso relativo conocido (γ_r) expresado en g/m^2 . Se recortaron y se pesaron todas ellas usando una balanza analítica con una apreciación de 1 mg. Con los pesos (w) se determinó su superficie mediante la expresión $S=w/\gamma_r$. Al margen de esta determinación, se determinaron las superficies de éstas mediante el programa informático ImageJ. Para ello se fotografió las hojas y se realizó una calibración con una medida conocida en milímetros. Posteriormente se procedió a medir el área, marcando con un lápiz óptico el contorno de cada hoja. Por último, se determinó la correlación entre las superficies reales medidas indirectamente por el método gravimétrico y las obtenidas con el software empleado. El coeficiente de determinación de los cálculos realizados nos aporta una medida de la bondad de las medidas realizadas con el programa evaluado.

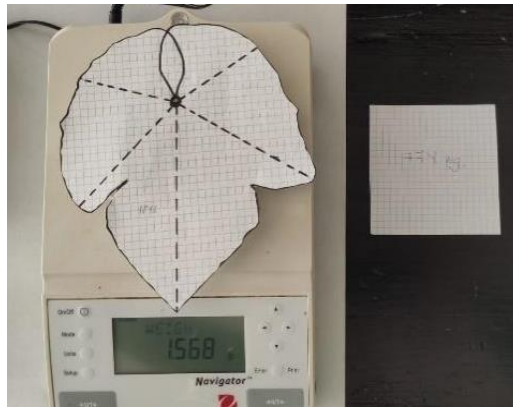


Imagen 3. Procedimiento de pesada para el cálculo de la superficie foliar.

7.3 Determinación de la superficie foliar mediante un método no destructivo.

En la actual campaña (2023), partiendo de la superficie foliar obtenida por métodos destructivos (gravimétricos), se ha estudiado otra alternativa no destructiva. Ésta consiste en la medición lineal de distintos parámetros relacionados con la morfología de la hoja.

Para determinar las correlaciones entre estas medidas y el área foliar real se seleccionaron 20 hojas desarrolladas y se midieron los siguientes parámetros:

- 1) Largo máximo de la hoja (LM)
- 2) Largo desde el mucrón al punto peciolar (LP)
- 3) Ancho máximo (AM)
- 4) Ancho entre las puntas de los lóbulos laterales superiores (AL)

En este estudio de correlaciones se utilizaron como variables los valores de estas, así como los productos entre ellas.

Para la realización de estas medidas en campo, se utilizó un calibrador-pie de rey digital micrométrico.

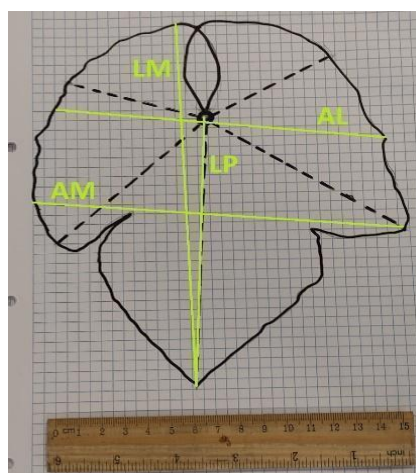


Imagen 4. Medidas lineales.

8 Resultados

8.1 Evaluación del programa informático ImageJ para la medida foliar del viñedo.

Tras la realización del protocolo anteriormente mencionado en el apartado 6.2, se obtuvieron los siguientes resultados.

| Muestra | AF real (cm ²) | AF ImageJ (cm ²) | Muestra | AF real (cm ²) | AF ImageJ (cm ²) |
|---------|----------------------------|------------------------------|---------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | 121,4 | 115,9 | 11 | 206,5 | 193,8 |
| 2 | 273,6 | 268,6 | 12 | 189,7 | 177,6 |
| 3 | 183,5 | 181,5 | 13 | 268 | 240 |
| 4 | 169,8 | 164,1 | 14 | 174,8 | 167,4 |
| 5 | 159,7 | 163,7 | 15 | 148,6 | 138,4 |
| 6 | 111,6 | 119,8 | 16 | 129,2 | 118,9 |
| 7 | 148,1 | 143,8 | 17 | 194,3 | 194,3 |
| 8 | 155 | 144,2 | 18 | 207 | 193,6 |
| 9 | 166,2 | 143,6 | 19 | 208,3 | 208,9 |
| 10 | 131,5 | 132 | 20 | 168 | 153,8 |

Tabla 8. Comparación de los resultados mediante métodos gravimétricos y mediante software ImageJ.

El análisis de la correlación entre la medida real de la hoja y la obtenida a través del programa informático ImageJ se presenta en el siguiente gráfico.

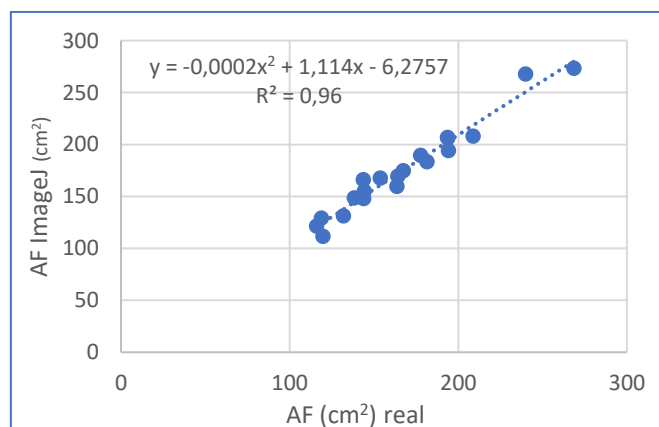


Gráfico 6. Ajuste entre los resultados obtenidos mediante software ImageJ y método gravimétrico.

Observando el gráfico, podemos comprobar que los valores obtenidos a través del software evaluado se aproximan a los valores reales de superficie foliar. El coeficiente de determinación $R^2=0,96$ así lo corrobora.

La diferencia entre ambas mediciones, más que a la bondad del propio software, puede ser explicada por la precisión de la persona que dibuja o marca el contorno de la hoja.

8.2 Determinación de la superficie foliar mediante un método no destructivo.

Se presentan, a continuación, los valores de las distintas medidas realizadas en campo en las 20 hojas desarrolladas, seleccionadas.

| Muestra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| LM | 14,5 | 22,5 | 17,6 | 16,2 | 17,3 | 14,4 | 17,1 | 16,7 | 17,5 | 14,3 |
| LP | 10,1 | 16,7 | 12,2 | 10,9 | 12,6 | 10,2 | 10,9 | 11,1 | 12 | 10,9 |
| AL | 12,6 | 17,6 | 15,2 | 15,6 | 13,8 | 12 | 12,3 | 11,9 | 14,6 | 14 |
| AM | 11,9 | 17 | 13,4 | 13,2 | 12,2 | 9,6 | 12,6 | 12,3 | 12,8 | 12,5 |
| Muestra | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| LM | 19,4 | 18,7 | 22,8 | 16,4 | 15,8 | 14,4 | 18,7 | 19,3 | 19,1 | 17,4 |
| LP | 13,6 | 14,5 | 16,3 | 11,3 | 11,2 | 10,5 | 12,5 | 14 | 13,1 | 12,6 |
| AL | 17,7 | 15,6 | 18,7 | 14,7 | 14,5 | 14,2 | 17,3 | 16,7 | 16 | 14,3 |
| AM | 13,3 | 13,4 | 15,8 | 13,9 | 11,9 | 10,2 | 14,5 | 12,9 | 15 | 13,5 |

Tabla 9. Medidas lineales tomadas de las muestras. Nota: las medidas se han tomado en centímetros.

En los siguientes gráficos se muestran los diferentes ajustes realizados entre las distintas variables por separado con respecto a la superficie foliar medida con el método mencionado anteriormente.

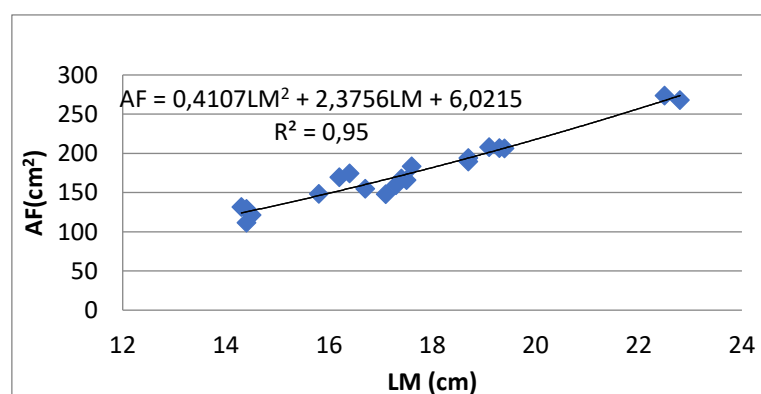


Gráfico 7. Ajuste cuadrático entre Área Foliar y Largo Máximo. Nota: el Área Foliar corresponde a los resultados obtenidos mediante método gravimétrico.

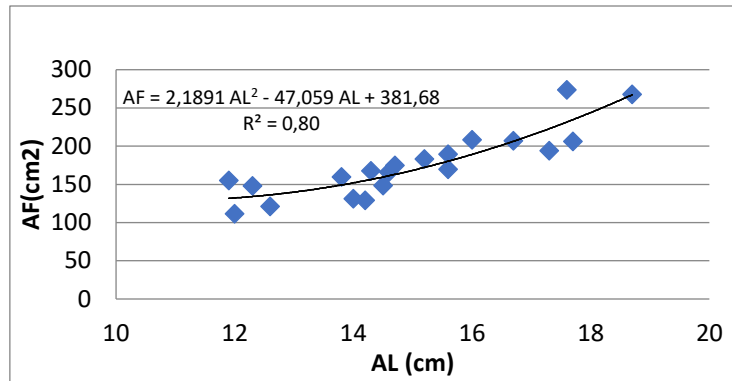


Gráfico 8. Ajuste cuadrático entre Área Foliar y Ancho de los Lóbulos laterales. Nota: el Área Foliar corresponde a los resultados obtenidos mediante método gravimétrico.

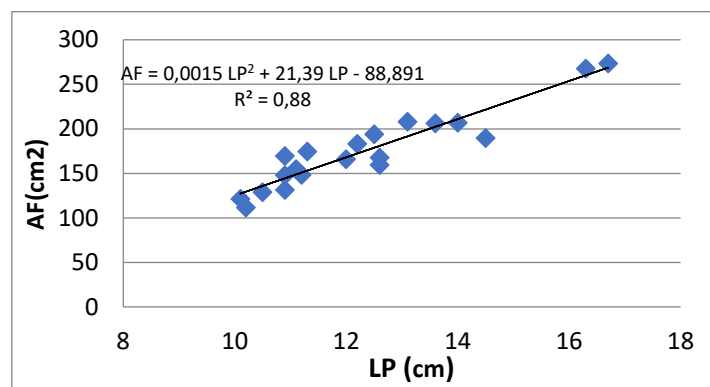


Gráfico 9. Ajuste cuadrático entre Área Foliar y Largo desde el mucrón hasta el punto peciolar. Nota: el Área Foliar corresponde a los resultados obtenidos mediante método gravimétrico.

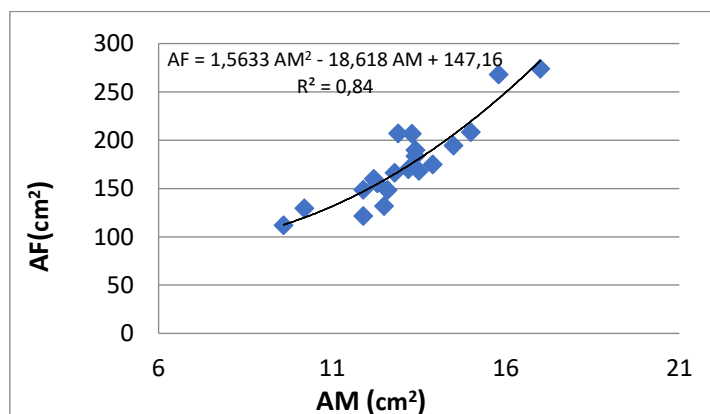


Gráfico 10. Ajuste cuadrático entre el Área Foliar y el Ancho máximo. Nota: el Área Foliar corresponde a los resultados obtenidos mediante método gravimétrico.

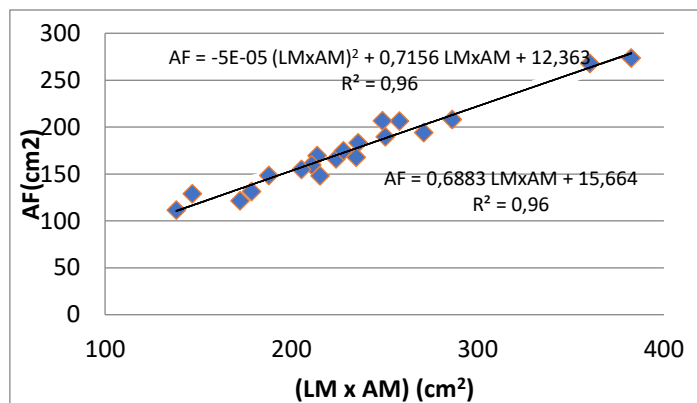


Gráfico 11. Ajuste cuadrático y lineal entre el área foliar y el producto del largo máximo por el ancho máximo. Nota: el Área Foliar corresponde a los resultados obtenidos mediante método gravimétrico.

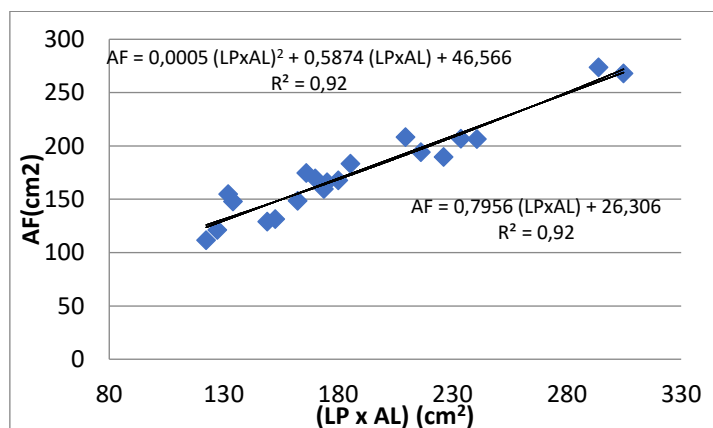


Gráfico 2. Ajuste cuadrático y lineal entre el área foliar y el producto del largo desde el mucrón al punto peciolar por el ancho entre las puntas de los lóbulos laterales superiores. Nota: el Área Foliar corresponde a los resultados obtenidos mediante método gravimétrico.

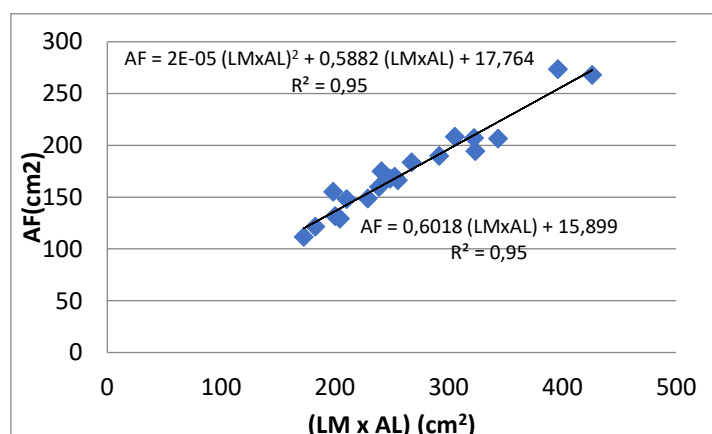


Gráfico 13. Ajuste cuadrático y lineal entre el área foliar y el producto del largo máximo por el ancho entre las puntas de los lóbulos laterales superiores. Nota: el Área Foliar corresponde a los resultados obtenidos mediante método gravimétrico.

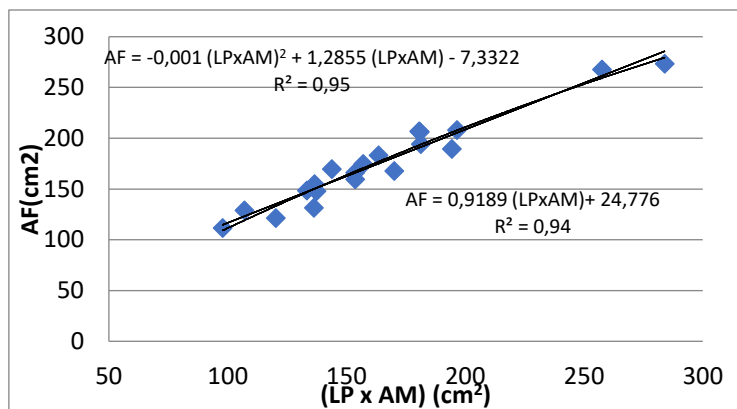


Gráfico 14. Ajuste cuadrático y lineal entre el área foliar y el producto del largo desde el mucrón al punto peciolar por el ancho máximo. Nota: el Área Foliar corresponde a los resultados obtenidos mediante método gravimétrico.

| Variables | R ² | | | | | | | |
|------------|----------------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|
| | LM | LP | AL | AM | LM x AM | LM x AL | LP x AL | LP x AM |
| Cuadrático | 0,95 | 0,88 | 0,75 | 0,86 | 0,96 | 0,95 | 0,92 | 0,95 |
| Lineal | - | - | - | - | 0,96 | 0,95 | 0,92 | 0,94 |

Tabla 10. Coeficientes de determinación (R²) de ajustes lineales y cuadráticos. Nota: el significado de las variables es: LM (largo máximo), LP (largo desde el mucrón al punto peciolar), AM (ancho máximo), AL (ancho entre las puntas de los lóbulos laterales superiores).

Según los valores presentados en el cuadro 1, se observa que los mejores estimadores del área foliar para el Cv. Listán Negro nos lo proporcionan las ecuaciones: $AF = -5E-05 (LM * AM)^2 + 0,7156 (LM * AM) + 12,363$ y $AF = 0,6883 (LM * AM) + 15,664$, ambas con un coeficiente de determinación de 0,96. No obstante, usando una sola medida por hoja (LM), podemos determinar la superficie foliar con un pequeño margen de error, usando la ecuación: $AF = 0,4107 LM^2 + 2,37756 LM + 6,0215$ (R²=0,95).

Ya Smith y Kliewer (1984) encontraron que el producto del largo máximo por el ancho máximo de la hoja es una buena estimación del área foliar, algo que fue corroborado por otros autores posteriormente. Gutiérrez y Lavín (2000) en Chardonnay o Pérez-Luna (2015) para uva de mesa evalúan y establecen un método no destructivo para la estimación del área foliar mediante la relación entre el largo por el ancho, pero es inexistente hasta el momento publicaciones para cv. Listán Negro.

9 Conclusiones

A continuación, se recogen las conclusiones obtenidas en este trabajo:

1. Se calcularon los coeficientes de cultivo (K_c) de la vid, variedad Listán Negro, conducida por espaldera, en las condiciones ecológicas de la zona norte de la isla de Tenerife. Los valores obtenidos para el periodo que va de la etapa inicial del ciclo de cultivo hasta el envero, varían entre 0,3 y 0,6. Valores similares son reportados por el Estudio FAO Riego y Drenaje 56: "Evapotranspiración del cultivo", 2006. López et al. (2012) también obtienen valores similares para la variedad Tempranillo cultivada en La Rioja.
2. Se calcularon las integrales térmicas para los periodos que iban desde brotación hasta alcanzar los estados fenológicos de "hojas completamente extendidas", "plena floración" e "inicio del envero". Los resultados fueron de 50, 385 y 885 grados día, respectivamente.
3. Se realizó una experiencia dirigida a obtener un protocolo sencillo para poder determinar el área de una hoja plenamente desarrollada de vid, de la variedad Listán Negro, por un método no destructivo. Se obtuvo una ecuación que proporciona dicha superficie a partir de una sola medida (LM: largo máximo de la hoja). Dicha ecuación es $AF = 0,41 LM^2 + 2,38 LM + 6$ ($R^2=0,95$).
4. Listán Negro es la variedad de vid más cultivada en las Islas Canarias. En Tenerife ocupa un 43% de la superficie dedicada al viñedo. Esta variedad local está adaptada a las condiciones ecológicas de las islas, siendo muy productiva, poco sensible a plagas y enfermedades, y con buenas aptitudes para la vinificación. Todo ello nos lleva a concluir que es necesaria la realización de estudios que nos permitan conocer más profundamente su comportamiento fisiológico y productivo.

10 Conclusions

The conclusions drawn in this study are as follows:

1. Crop coefficients (K_c) were calculated for the 'Listán Negro' grape variety, which is grown on trellises under the ecological conditions of the northern area of Tenerife island. The calculated K_c values for the period from the initial stage of the growing cycle to veraison ranged between 0,3 and 0,6. Similar values were reported in the FAO Irrigation and Drainage Study 56: "Evapotranspiration of the crop" in 2006. López et al. (2012) also obtained similar values for the Tempranillo variety grown in La Rioja.
2. Thermal integrals were calculated for the periods from bud break to the phenological stages of "fully extended leaves", "full flowering" and "beginning of veraison". The results were 50, 385 and 885 degree days, respectively.
3. An experiment was conducted to develop a simple protocol for determining the area of a fully developed vine leaf of the 'Listán Negro' variety using a non-destructive method. An equation was derived that provides the leaf surface area based on a single measurement (LM: maximum leaf length). The equation is $AF = 0.41 LM^2 + 2.38 LM + 6$ ($R^2 = 0.95$).
4. The 'Listán Negro' variety is the most cultivated vine variety in the Canary Islands, occupying 43% of the vineyard area in Tenerife. This local variety is well adapted to the ecological conditions of the islands, displaying high productivity, low sensitivity to pests and diseases, and favorable qualities for winemaking. Consequently, further studies are necessary to gain a deeper understanding of its physiological and productive behaviour.

11 Referencias bibliográficas

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Begum, R., Lempert, R., Ali, E., Benjaminsen, T., Bernauer, T., Cramer, W., Cui, X., Mach, K., Nagy, G., Stenseth, N., Sukumar, R., & Wester, P. (2022). Point of Departure and Key Concepts. IPCC. 121-196. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-1/>
- Bouzas, Y. & Mirás, J. (2019). Necesidades hídricas del viñedo. *WETWINE*, 3. [\(PDF\) Necesidades hídricas del viñedo \(researchgate.net\)](#)
- Burgess, A. (2022). Wine without water: Improving grapevine tolerance to drought. *Plan Psychology*. 190(3), 1550-1551. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac381>
- Cabello, F., Muñoz, G. & Ortiz, J. (1997). Fenología de las variedades de vid cultivadas en la comunidad de Madrid y de algunas variedades extranjeras de calidad. *Viticultura enología profesional*, 48, 8-16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=159022>
- Carbonneau, A. (1989). L'exposition utile du feuillage: définition du potentiel du système de conduite. *GESCO*, 4, 25-47.
- Chaves, M., Santos, T., Souza, C., Ortuño, M., Rodrigues, M., Lopez, C., Maroco, J., & Pereira, J. (2007). *Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality*. *Annals of Applied Biology*, 150: 237-252. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1744-7348.2006.00123.x>
- Costa, J., Vaz, M., Escalona, J., Egipto, R., Lopes, C., Medrano, H. & Chaves, M. (2020). Water as a critical issue for viticulture in southern Europe: sustainability vs competitiveness. *Technical reviews*. <https://ives-technicalreviews.eu/article/view/3182#>
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Rodriguez, A., Martínez, J. & Bressanini, L. (2007). Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agricultura Técnica*, 67 (1), 78-85. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072007000100010
- Dinis, LT., Bernardo, S., Yang, C. & Fraga, H. (2022). MEDITERRANEAN VITICULTURE IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE VITICULTURA MEDITERRÂNICA NUM CONTEXTO DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 37(2), 139-158. https://www.researchgate.net/publication/364830092_MEDITERRANEAN_VITICULTURE_IN_THE_CONTEXT_OF_CLIMATE_CHANGE_VITICULTURA_MEDITERRANICA_NUM_CONTEXTO_DE_ALTERACOES_CLIMATICAS
- Disegna, E., Coniberti, A. & Dellacassa, E. (2005). Medición del área foliar de la vid: una herramienta para producir vinos de calidad. *INIA*, (4), 18-20. <http://www.ainfo.inia.uy/consulta/busca?b=ad&id=12927&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22Disegna,%20E.%22&qFacets=autoria:%22Disegna,%20E.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>
- Febles, M. (2021). Capítulo 6. La situación actual de los viñedos y de los vinos de Canarias. *Acerca del Vino de Canarias*, 105-112. https://www.researchgate.net/publication/358144091_Capitulo_6_La_situacion_actu_al_de_los_vinedos_y_de_los_vinos_de_Canarias
- Gardner, F., Brent, R. & Mitchell, R. (1990). *Physiology of crops plants*. Iowa State Univ. Digital Press.

González, M., Rodríguez, J., Aira, M. & Jato, V. (2007). Fenología de la variedad Treixadura cultivada en la Denominación de Origen Ribeiro (Ourense-España) durante el año 2008. Ediciones Universidad de Salamanca. (27), 23-38. https://www.researchgate.net/publication/47628382_Fenologia_de_la_variedad_Treixadura_cultivada_en_la_Denominacion_de_Origen_Ribeiro_Ourense-Espana_durante_el_ano_2008

Gutierrez, A. & Lavín A. (2000). Mediciones lineales para la estimación no destructiva del área foliar en vides de Chardonnay. *Agricultura Técnica*, 60(1), 69-73. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000100007&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Intrigliolo, D. & Castel, J. (2010). Response of grapevine cv. 'Tempranillo' to timing and amount of irrigation: water relations, vine growth, yield and berry and wine composition. *Irrig Science*, 28, 113–125. https://www.researchgate.net/publication/225620162_Response_of_grapevine_cv_'Tempranillo'_to_timing_and_amount_of_irrigation_Water_relations_vine_growth_yield_and_berry_and_wine_composition

Intrigliolo, D., Pérez, D., Risco, D., Yeves, A. & Castel, J. (2012). Yield components and grape composition responses to seasonal waterdeficits in Tempranillo grapevines. *Irrigation Sci.* 30, 339–349. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0354-0>.

ISTAC (Instituto Canario de Estadística). (2023). *Superficie cultivada. superficie de producción y árboles diseminados según productos agrícolas permanentes y sistemas de cultivo. Municipios e islas de Canarias por años. Desde 2007.* https://www3.gobiernodecanarias.org/istac/statistical-visualizer/visualizer/data.html?resourceType=dataset&agencyId=ISTAC&resourceId=E01135A_000004&version=~latest#visualization/table

Lasheras, J., Gutiérrez, J. & Ramírez, P. (2016). Estimación del Área Foliar mediante un Método Directo No Destructivo en Vid. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 1-29. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/07b73a4f-29b3-425d-bad3-c3e9c0d423c7>

Leeuwen, C. & Darriet, P. (2020). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, In press, 11 (1), 150-167. <https://hal.science/hal-02523687/document>

Levy, E. & Madden, E. (1933). The point method of pasture analysis. *N.Z.J. Agric.* 46. 267-279.

López, R., Baret, F., García, I., Bertrand, N. & Casterad, M. (2009). Optical geometric configuration and algorithms for LAI indirect estimates under row canopies: The case of vineyards. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(8): 1307-1316. https://www.researchgate.net/publication/223842359_Optimal_geometric_configuration_and_algorithms_for_LAI_indirect_estimates_under_row_canopies_The_case_of_vineyards

López, R., Sánchez, J., de la Cruz, F., González, J. & Chávez, J. (2012). Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements for sprinkler-irrigated canola. *Agricultural Water Management*, (239). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420302110>

Mabrouk, H., Carbonneau, A. & Sinoquet, H. (1997). Canopy structure and radiation regime in grapevine II. Modelling radiation interception and distribution inside the

- canopy. *Vitis*, 36(3), 125-132.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=cd8041ca71a3584425e669e091496e0c80e221b6>
- Mabrouk, H., Carbonneau, A. & Sinoquet, H. (1997). Canopy structure and radiation regime in grapevine I. Spatial and angular distribution of leaf area un two canopy systems. *Vitis*, 36(6), 119-123.
<https://ojs.openagrar.de/index.php/VITIS/article/view/4869/4669>
- Machín, N., Hontoria, M., Luis, J. & Gonzalo, C. (2019). VARIEDADES DE VID EN LA ISLA DE TENERIFE. Cabildo Insular de Tenerife.
https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/viti_680_Vid%202019.pdf
- Matthews, M. & Anderson, M. (1988). Fruit ripening in *Vitis vinifera* responses to seasonal water deficit. *American Journal of enology and Viticulture*, (39), 313-320.
<https://www.ajevonline.org/content/39/4/313.short>
- Medrano, H., Escalona, J. & Flexas, J. (S.f.). INDICADORES FISIOLÓGICOS PARA EL CONTROL DEL ESTADO HÍDRICO EN LA VID.
<https://pdfslide.net/documents/indicadores-fisiologicos-para-el-control-del-el-cultivo-de-la-vid-esta-ampliamente.html?page=1>
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Ribas, M. & Gulias, J. (2007). EFICIENCIAS EN EL USO DE AGUA POR LAS PLANTAS. *Investigaciones geográficas*, (43), 63-84.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17604304>
- Munitz, S., Schwartz, A. & Netzer, Y. (2016). Evaluation of seasonal water use and crop coefficients for 'Cabernet Sauvignon' grapevines as the base for skilled regulated deficit irrigation. *Acta Horticulturae*, 1113, 33-40.
https://www.researchgate.net/publication/301569734_Evaluation_of_seasonal_water_use_and_crop_coefficients_for_'Cabernet_Sauvignon'_grapevines_as_the_base_for_skilled_regulated_deficit_irrigation
- Oliveira, M. & Santos, M. (1995). A semi-empirical method to estimate canopy leaf area of vineyards. *Amer. J. Enol. Vitic.* 46(3), 389-391.
<https://www.ajevonline.org/content/46/3/389>
- Pérez, E., Intrigliol, D., Vivaldi, G., García, M., Lizama, V. & Alvarez, M. (2021). Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: I. Water relations, vine performance and grape composition. *Agricultural Water Management*, 248, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106772>
- Pérez, A., Martínez, G., Miranda, J. & Vieira, F. (2015). *Determinación de área foliar por métodos no destructivos en diferentes cultivares de uva de mesa*.
https://www.researchgate.net/publication/303251774_Determinacion_de_area_foliar_por_metodos_no_destructivos_en_diferentes_cultivares_de_uva_de_mesa
- Pérez, N. (2018). ESTUDIO DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE LA VID (CV. LISTÁN NEGRO) A DISTINTOS TRATAMIENTOS DE APORTE DE AGUA MEDIANTE EL RIEGO (CAMPAÑA 2017). [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de La Laguna].
<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/9584>
- Pérez, P. (2016). *RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE vitis vinifera (LISTÁN NEGRO) A DISTINTOS TRATAMIENTOS HÍDRICOS EN DISTINTAS ETAPAS DE SU CICLO DE CULTIVO*. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de La Laguna]
- Rincón, N., Andrés, M., Quintero, O., Carlos, J. & Pérez, J. (2023). Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara

Semiprofesional Leaf Area Measurement in Photographs Taken with a Webcam, a Cell Phone or a Semi Professional Camera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(1). <https://docplayer.es/4494769-Determinacion-del-area-foliar-en-fotografias-tomadas-con-una-camara-web-un-telefono-celular-o-una-camara-semiprofesional.html>

Ríos, D., Rodríguez, I., Cabrera, R., Sabaté, F. & Jaizme, M. (2012). *Agricultura en Canarias: conciliando tradición y ciencia*. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. <https://www.iehcan.com/2012/01/agricultura-en-canarias-conciliando-tradicion-y-ciencia-actas-de-la-vii-semana-cientifica-telesforo-bravo-2012/>

Rodríguez, I. (S.f). *VARIEDADES DE VID CULTIVADAS EN CANARIAS*. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. [Variedades Vid Canarias.pdf \(icia.es\)](#)

Rodríguez, J. (2015). *Estudio de la ecofisiología de la viña (cv. listán negro) y la respuesta fisiológica y productiva al estrés hídrico en las distintas etapas de su cultivo*. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de La Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/980>

Rodríguez, L., Mastrantonio, L., Maffei, J., Pérez, R., Brandi, F., Lorenzo, G., Navarro, V., Sponton, L. & Mezattesta, D. (S.f). DETERMINACIÓN DEL ÁREA FOLIAR NO EXTRACTIVA EN VIDES REGADÍAS (Vitis vinifera L.) var Malbec. https://www.ina.gob.ar/cra/riego/fertirriego/pdf/Rodriguez_Plaza.pdf

Sáenz, D. (2007). *Ecofisiología de la vid, cv. listán negro, cultivada en la comarca de tacoronte-acentejo*. [Tesis, Universidad de La Laguna]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=313691>

Sánchez, P. (2007). *Producción y distribución de fotoasimilados en la vid (vitis vinífera L.) durante el período de maduración: Cambios en la respuesta fotosintética a la luz de las hojas por factores biológicos, ambientales y culturales*. [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/1099/>

Sánchez, P., De la Fuente, M., Junquera, P., González, C., & Baeza, P. (2007). *Estimación del área foliar de la vid a través de regresiones lineales. Validación del modelo en los cultivares: Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Merlot, Syrah y Tempranillo*. XXX Jornadas de Viticultura y Enología de la Tierra de Barros. 141-156. https://www.researchgate.net/publication/256295382_Estimacion_del_area_foliar_de_la_vid_a_traves_de_regresiones_lineales_Validacion_del_modelo_en_los_cultivares_Cabernet_Franc_Cabernet_Sauvignon_Merlot_Syrah_y_Tempranillo

Sanchez, N. (2008). *Influencia de diferentes factores agrológicos y tecnológicos sobre la mejora de la calidad de los vinos tintos de Bobal*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3306/Nicol%E1s%20S%E1nchez%20Diana.pdf?sequence=9>

Schneider, C. (1992). Quelles techniques de conduite adopter pour favoriser la qualité et maîtriser la production. *Sitevinitech*, Bordeaux, 265–276.

Schultz, H. (1992). An empirical model for the simulation of leaf appearance and leaf area development of primary shoots of several grapevine (V. vinifera L.) canopy systems. *Scientia Horticulturae*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/030442389290020D>

Schultz, H. & Matthews, M. (1993). Growth, osmotic adjustment, and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Science*, 33, 287-294.

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1993.0011183X003300020015x>

Smart, R. & S. Smith. (1988). Canopy management: Identifying the problems and practical solutions. Proc. 2nd International Cool Climate Viticulture and Oenology Symposium. 109-115.

Suckel, F. (2001). *Calibración de métodos no destructivos de estimación de área foliar de vid variedad "Thompson Seedless"*. [Memoria Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile], 53p.

Warren, J. (1958). *Inclined Point Quadrats*. Botany Department, University of Reading. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1469-8137.1960.tb06195.x>

Williams, L. & Ayars, J. (2005). Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132, 201–211. https://www.researchgate.net/publication/222530174_Grapevine_water_use_and_the_crop_coefficient_are_linear_functions_of_the_shaded_area_measured_beneath_the_canopy

Williams, L. & Fidelibus, M. (2016). Measured and estimated water use and crop coefficients of grapevines trained to overhead trellis systems in California's San Joaquin Valley. *Irrigation Science*, 34, 431-441. https://www.researchgate.net/publication/305079570_Measured_and_estimated_water_use_and_crop_coefficients_of_grapevines_trained_to_overhead_trellis_systems_in_California's_San_Joaquin_Valley#fullTextFileContent

Yuste, J., Martín, H., Yuste, R., Albuquerque, M^a & Barajas, E. (2007). Determinación de la superficie foliar y la materia de seca de hojas de Tempranillo. *Vida Rural*, (242), 49-53. https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Vrural%2FVrural_2007_242_49_53.pdf

Zermeño, A., Melendres, A., Fuerte, L., Munguia, J. e Ibarra, L. (2017). TASA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE LA VID Y SU RELACIÓN CON LA DE REFERENCIA DEL MÉTODO FAO PENMAN-MONTEITH. *Agrociencia*, 51, 1-12. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1274>

12 Anejos

Anejo 1. Valores calculados de coeficiente de cultivo

En el presente anejo se muestran los procedimientos seguidos para calcular el coeficiente de cultivo para cada periodo quincenal.

Los valores referidos en Kg o litros son referidos a la superficie del lisímetro.

| RESUMEN QUINCENAL 2014 | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------|--------|--------|---------|---------|-------------|--------------------------------|----------------|
| Fecha inicial | Fecha Final | Peso (kg) inicial | Peso (kg) final | P (L) | R (kg) | D (kg) | ET (kg) | ET (mm) | ET (mm/día) | ET ₀ (prom. mm/día) | K _c |
| 15/03/2014 | 30/03/2014 | 3579,2 | 3561,1 | 43,9 | 0,0 | 20,3 | 41,7 | 11,1 | 0,7 | 2,9 | 0,25 |
| 30/03/2014 | 14/04/2014 | | | | | | | | | | |
| 14/04/2014 | 29/04/2014 | 3578,8 | 3528,9 | 1,8 | 42,6 | 14,9 | 79,4 | 21,2 | 1,4 | 3,6 | 0,39 |
| 29/04/2014 | 05/05/2014 | 3528,9 | 3508,1 | 0,0 | 42,6 | 4,1 | 59,2 | 15,8 | 2,6 | 5,1 | 0,52 |
| 15/05/2014 | 30/05/2014 | 3470,3 | 3430,7 | 6,0 | 53,2 | 0,0 | 98,8 | 26,4 | 1,8 | 3,7 | 0,47 |
| 30/05/2014 | 14/06/2014 | 3430,7 | 3414,8 | 5,4 | 80,7 | 0,0 | 102,1 | 27,2 | 1,8 | 4,1 | 0,45 |
| 14/06/2014 | 29/06/2014 | 3414,8 | 3356,7 | 6,6 | 69,2 | 0,0 | 133,9 | 35,7 | 2,4 | 4,3 | 0,56 |
| 29/06/2014 | 14/07/2014 | 3356,7 | 3386,4 | 13,2 | 137,1 | 0,0 | 120,7 | 32,2 | 2,1 | 4,2 | 0,51 |
| 14/07/2014 | 29/07/2014 | 3386,4 | 3377,7 | 0,0 | 118,0 | 0,0 | 126,6 | 33,8 | 2,3 | 4,4 | 0,51 |

| RESUMEN QUINCENAL 2015 | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------|--------|--------|---------|---------|-------------|--------------------------------|----------------|
| Fecha inicial | Fecha Final | Peso (kg) inicial | Peso (kg) final | P (L) | R (kg) | D (kg) | ET (kg) | ET (mm) | ET (mm/día) | ET ₀ (prom. mm/día) | K _c |
| 01/05/2015 | 16/05/2015 | 3431,9 | 3442,2 | 8,4 | 119,4 | 0,0 | 117,5 | 31,3 | 2,1 | 5,2 | 0,40 |
| 16/05/2015 | 31/05/2015 | 3442,2 | 3471,4 | 0,0 | 124,7 | 1,3 | 94,1 | 25,1 | 1,7 | 4,0 | 0,42 |
| 31/05/2015 | 08/06/2015 | 3471,4 | 3450,1 | 27,1 | 0,0 | 0,0 | 48,4 | 12,9 | 1,6 | 3,4 | 0,48 |
| 25/06/2015 | 01/07/2015 | 3373,3 | 3431,1 | 0,0 | 108,7 | 0,0 | 51,0 | 13,6 | 2,3 | 5,3 | 0,42 |
| 01/07/2015 | 16/07/2015 | 3431,1 | 3418,7 | 0,0 | 158,0 | 0,0 | 170,4 | 45,4 | 3,0 | 5,7 | 0,53 |
| 16/07/2015 | 31/07/2015 | 3418,7 | 3417,8 | 0,0 | 168,9 | 0,0 | 169,7 | 45,3 | 3,0 | 4,8 | 0,63 |

| RESUMEN QUINCENAL 2017 | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------|--------|--------|---------|---------|-------------|-------------------------------|----------------|
| Fecha inicial | Fecha Final | Peso (kg) inicial | Peso (kg) final | P (L) | R (kg) | D (kg) | ET (kg) | ET (mm) | ET (mm/día) | ET ₀ (prom mm/día) | K _c |
| 15/03/2017 | 31/03/2017 | 3482,4 | 3505,7 | 83,6 | 0,0 | 1,3 | 58,9 | 15,7 | 1,0 | 2,9 | 0,34 |
| 31/03/2017 | 15/04/2017 | 3505,7 | 3449,7 | 0,0 | 22,5 | 3,6 | 75,0 | 20,0 | 1,3 | 4,2 | 0,32 |
| 15/04/2017 | 30/04/2017 | | | | | | | | | | |
| 30/04/2017 | 15/05/2017 | 3440,6 | 3440,5 | 15,0 | 80,6 | 5,8 | 89,9 | 24,0 | 1,6 | 3,6 | 0,44 |
| 15/05/2017 | 30/05/2017 | 3440,5 | 3424,1 | 10,8 | 60,6 | 0,0 | 87,8 | 23,4 | 1,6 | 4,2 | 0,37 |
| 30/05/2017 | 14/06/2017 | 3424,1 | 3414,1 | 12,0 | 90,3 | 1,3 | 111,0 | 29,6 | 2,0 | 4,3 | 0,46 |
| 14/06/2017 | 29/06/2017 | 3414,1 | 3388,6 | 4,2 | 98,2 | 0,0 | 127,9 | 34,1 | 2,3 | 5,3 | 0,43 |
| 29/06/2017 | 14/07/2017 | 3388,6 | 3360,0 | 19,2 | 60,1 | 0,0 | 108,0 | 28,8 | 1,9 | 4,2 | 0,45 |
| 14/07/2017 | 29/07/2017 | 3360,0 | 3345,2 | 0,0 | 143,1 | 13,3 | 144,6 | 38,6 | 2,6 | 5,6 | 0,46 |

| RESUMEN QUINCENAL 2019 | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------|--------|--------|---------|---------|-------------|-------------------------------|----------------|
| Fecha inicial | Fecha Final | Peso (kg) inicial | Peso (kg) final | P (L) | R (kg) | D (kg) | ET (kg) | ET (mm) | ET (mm/día) | ET ₀ (prom mm/día) | K _c |
| 15/03/2019 | 31/03/2019 | 3416,2 | 3435,4 | 75,0 | 0,0 | 0,0 | 55,8 | 14,9 | 0,9 | 3,2 | 0,29 |
| 31/03/2019 | 15/04/2019 | 3435,4 | 3457,2 | 86,1 | 0,0 | 0,0 | 64,3 | 17,1 | 1,1 | 3,0 | 0,38 |
| 15/04/2019 | 30/04/2019 | 3457,2 | 3431,1 | 29,8 | 0,0 | 0,3 | 55,7 | 14,9 | 1,0 | 3,6 | 0,28 |
| 30/04/2019 | 15/05/2019 | | | | | | | | | | |
| 15/05/2019 | 31/05/2019 | 3450,2 | 3446,8 | 3,8 | 69,2 | 0,0 | 76,5 | 20,4 | 1,3 | 4,4 | 0,29 |
| 31/05/2019 | 15/06/2019 | 3446,8 | 3454,4 | 23,4 | 71,7 | 0,0 | 87,5 | 23,3 | 1,6 | 4,5 | 0,35 |
| 15/06/2019 | 30/06/2019 | 3454,4 | 3400,5 | 4,8 | 56,0 | 0,1 | 114,7 | 30,6 | 2,0 | 4,4 | 0,47 |
| 30/06/2019 | 15/07/2019 | 3400,5 | 3406,0 | 2,4 | 109,6 | 0,0 | 106,5 | 28,4 | 1,9 | 4,4 | 0,43 |
| 15/07/2019 | 31/07/2019 | 3406,0 | 3394,1 | 6,0 | 99,9 | 0,0 | 117,9 | 31,4 | 2,0 | 4,4 | 0,45 |

| Resumen quincenal 2021 | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------|--------|--------|---------|---------|-------------|-------------------------------|----------------|
| Fecha inicial | Fecha Final | Peso (kg) inicial | Peso (kg) final | P (L) | R (kg) | D (kg) | ET (kg) | ET (mm) | ET (mm/día) | ET ₀ (prom mm/día) | K _c |
| 17/03/2021 | 01/04/2021 | 3562,55 | 3543,59 | 29,5 | 0 | 2,64 | 45,781 | 12,21 | 0,814 | 3,2 | 0,25 |
| 01/04/2021 | 16/04/2021 | 3543,59 | 3565,06 | 20,4 | 58,7 | 20,08 | 37,593 | 10,02 | 0,668 | 3,41 | 0,2 |
| 16/04/2021 | 01/05/2021 | 3565,06 | 3591,78 | 105 | 0 | 13 | 64,897 | 17,31 | 1,154 | 3,23 | 0,36 |
| 01/05/2021 | 16/05/2021 | 3591,78 | 3511,63 | 10,8 | 0 | 11,42 | 79,553 | 21,21 | 1,414 | 3,75 | 0,38 |
| 16/05/2021 | 31/05/2021 | 3511,63 | 3472,19 | 0,6 | 32,8 | 0 | 72,811 | 19,42 | 1,294 | 4,09 | 0,32 |
| 31/05/2021 | 15/06/2021 | 3472,19 | 3445,9 | 0 | 82,3 | 0 | 108,59 | 28,96 | 1,93 | 4,79 | 0,4 |
| 15/06/2021 | 30/06/2021 | 3445,9 | 3423,4 | 4,21 | 75,3 | 2,53 | 99,479 | 26,53 | 1,769 | 3,96 | 0,45 |
| 30/06/2021 | 15/07/2021 | 3423,4 | 3424,86 | 3,61 | 167 | 24,02 | 145,6 | 38,83 | 2,588 | 4,62 | 0,56 |
| 15/07/2021 | 30/07/2021 | 3424,86 | 3425,46 | 6,01 | 136 | 9,4 | 131,71 | 35,12 | 2,342 | 4,97 | 0,47 |

| Resumen quincenal 2022 | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------|--------|--------|---------|---------|-------------|-------------------------------|----------------|
| Fecha inicial | Fecha Final | Peso (kg) inicial | Peso (kg) final | P (L) | R (kg) | D (kg) | ET (kg) | ET (mm) | ET (mm/día) | ET ₀ (prom mm/día) | K _c |
| 15/03/2022 | 31/03/2022 | 3534,8 | 3521,1 | 44,5 | 0,0 | 11,9 | 46,3 | 12,4 | 0,8 | 2,4 | 0,33 |
| 31/03/2022 | 15/04/2022 | 3521,1 | 3472,1 | 27,1 | 0,0 | 0,2 | 75,8 | 20,2 | 1,3 | 3,2 | 0,42 |
| 15/04/2022 | 30/04/2022 | 3472,1 | 3453,3 | 58,9 | 0,0 | 0,1 | 77,6 | 20,7 | 1,4 | 4,0 | 0,35 |
| 30/04/2022 | 31/05/2022 | 3453,3 | 3382,1 | 1,8 | 120,8 | 0,0 | 193,9 | 51,7 | 1,7 | 4,5 | 0,37 |
| 31/05/2022 | 15/06/2022 | 3382,1 | 3416,7 | 2,4 | 121,5 | 0,0 | 89,3 | 23,8 | 1,6 | 4,4 | 0,36 |
| 15/06/2022 | 30/06/2022 | 3416,7 | 3470,0 | 16,2 | 163,8 | 0,0 | 126,7 | 33,8 | 2,3 | 3,9 | 0,58 |
| 30/06/2022 | 15/07/2022 | 3470,0 | 3446,0 | 9,6 | 169,8 | 0,3 | 203,0 | 54,1 | 3,6 | 5,1 | 0,71 |
| 15/07/2022 | 20/07/2022 | 3446,0 | 3390,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 55,9 | 14,9 | 3,0 | 4,3 | 0,69 |

Anejo 2. Recopilación de información fenológica

En este anejo se recopila la información disponible sobre los estados fenológicos según M. Baggiolini (1952), para los años 2014, 2015 y 2017.

| SEMANA | 2014 | 2015 | 2017 |
|--------|------|------|------|
| 11 | C | C | C |
| 12 | E | C | E |
| 13 | F | D | E |
| 14 | G | E | E |
| 15 | G | F | F |
| 16 | G | F | F |
| 17 | H | G | G |
| 18 | H | H | G |
| 19 | I | H | H |
| 20 | J | H | I |
| 21 | K | I | I |
| 22 | K | I | J |
| 23 | K | J | J |
| 24 | K | K | K |
| 25 | K | L | K |
| 26 | KL | L | L |
| 27 | L | L | L |
| 28 | L | L | L |
| 29 | L | L | L |
| 30 | LM | M1 | L |
| 31 | LM | M2 | M1 |
| 32 | M | | M1 |
| 33 | M | | |

Anejo 3. Recopilación Fenología – K_c – Grados día acumulados

En la siguiente tabla se resumen los diferentes días del año a los que se les asigna su respectivo valor de integral térmica acumulada y el valor de K_c. La brotación para ambos años se produce alrededor del día 70.

| | E. Fenológico | Día año | Integral | K _c |
|------|---------------|---------|----------|----------------|
| 2014 | E | 84 | 47 | 0,25 |
| | I | 140 | 353 | 0,47 |
| | M1 | 203 | 808 | 0,51 |
| 2015 | E | 84 | 31 | |
| | I | 140 | 361 | 0,42 |
| | M1 | 203 | 882 | 0,63 |
| 2017 | E | 81 | 49 | 0,34 |
| | I | 140 | 439 | 0,37 |
| | M1 | 203 | 965 | 0,46 |

No se dispone del dato de K_c para la primera etapa del año 2015.