

Modelos de estimación del área foliar en *Vitis vinifera* “Mencía”



Número de alumnas: 2
Nivel de estudios: 2º de Bachillerato

Índice

- Resumen 1
- 1. Introducción 2
- 2. Objetivos 5
- 3. Marco teórico 5
- 4. Material y Métodos 6
 - 4.1. Material 6
 - 4.2. Metodología 6
 - 4.2.1. Metodología para el objetivo 1 6
 - 4.2.2. Metodología para el objetivo 2 8
 - 4.2.3. Metodología para el objetivo 3 9
- 5. Análisis de resultados 10
 - 5.1. Análisis de resultados del objetivo 1 10
 - 5.2. Análisis de resultados del objetivo 2 13
 - 5.3. Análisis de resultados del objetivo 3 15
- 6. Conclusiones 18
- Referencias bibliográficas 19

Material auxiliar:
Anexo 1: Tablas de valores medidos en las cepas de las muestras
Anexo 2: Herbario con mediciones de área foliar

Resumen

En el presente trabajo de investigación se aborda el estudio del área foliar de *Vitis vinifera* “Mencía” desde varios puntos de vista.

En primer lugar, se calculan las áreas foliares de dos parcelas de viñas de la variedad tinta *Vitis vinifera* “Mencía” situadas en el Palacio de Canedo, en el municipio de Arganza de la provincia de León. Para estimar dichas áreas se emplea un método basado en un muestreo destructivo. Una vez calculadas, se toman los parámetros de maduración y producción de las uvas cosechadas en las parcelas en el año del estudio, y se tratan de relacionar con los Índices de Área Foliar.

Por otra parte, se propone un método no destructivo de determinación del área foliar de *Vitis vinifera* “Mencía” mediante un modelo de regresión lineal, basado en la medición directa en la viña de parámetros sencillos de obtener, como son el ancho y el largo de la hoja. Para llegar a una expresión matemática fiable se confrontan estadísticamente cinco modelos de regresión lineal diferentes.

Palabras clave: área foliar, método no destructivo, método destructivo, *Vitis vinifera* “Mencía”, regresión lineal.

Abstract

This research paper addresses the study of the leaf area of *Vitis vinifera* “Mencía” from several points of view.

To begin the leaf areas of two vineyards of the variety red “Mencía” in Palacio de Canedo, in the municipality of Arganza, León, were measured. The method employed for the calculation of both areas was based on a destructive sampling. Once calculated the areas, the ripening and production values of the harvested grapes from both plots in the year of the study were taken and related to the leaf area rates.

Secondly a non-destructive method to define the leaf area of *Vitis vinifera* “Mencía” via a linear regression method based on direct measuring of easily obtainable values in the vineyard, such as the width and length of the leaves. In order to reach a reliable mathematical expression five different linear regression models were statistically compared.

Key words: leaf area, non-destructive method, destructive method, *Vitis vinifera* “Mencía”, linear regression.

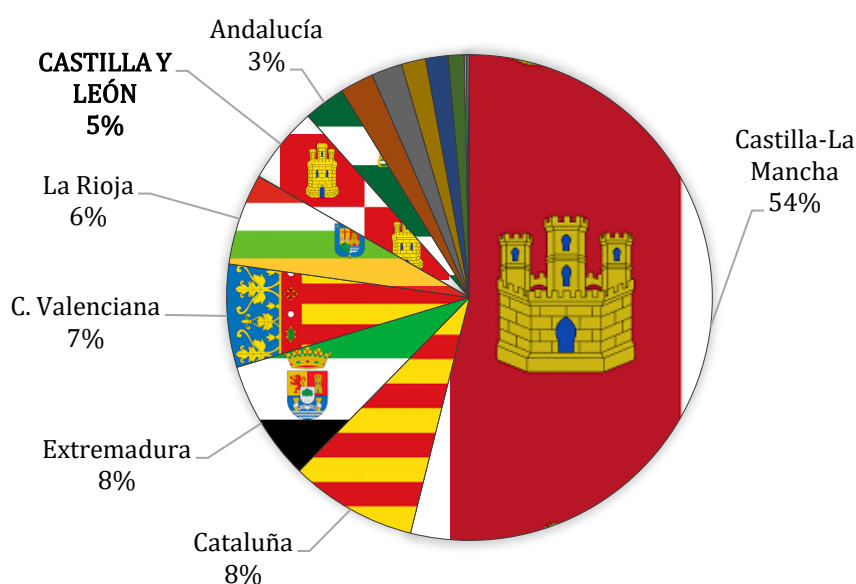
1. Introducción

La economía en la Comarca de El Bierzo sufre una profunda depresión a causa de la defunción de la minería del carbón, certificada el 16 de noviembre de 2018 con el cierre del Pozo Salgueiro en Santa Cruz de Montes, la última mina activa. Este final anunciado tras un siglo de economía basada en el carbón obliga a la Comarca de El Bierzo a hacer frente a este cambio de ciclo, poniendo en valor su patrimonio histórico-cultural y apostando por actividades económicas que puedan explotarse en la zona.

En este contexto, muchos municipios de El Bierzo están viendo en la pujante industria vitivinícola una *tabla de salvación* que puede impulsar la anhelada reconversión económica. El sector del vino, a través de la DO Bierzo, constituye un sector estratégico para el porvenir de la zona; no sólo desde el punto de vista económico, sino también social y cultural, ya que:

- Contribuye a reforzar la imagen de la comarca y a atraer turismo.
- Es un referente identitario de primer orden en el territorio.
- Es el motor de desarrollo de zonas rurales, luchando contra la llamada “España vaciada”.
- Es un creador de empleo de calidad, que une la tradición y el I+D+i.

La comarca de El Bierzo se encuentra en el extremo noroeste de la comunidad de Castilla y León, una comunidad productora de vinos de alta calidad y con una gran diversidad de variedades vnicas. Posee trece denominaciones de origen propias, así como la Indicación Geográfica Protegida *IGP Vino de la Tierra de Castilla y León*. Para el futuro económico y social de nuestra comunidad representa un sector pujante y clave que genera una riqueza superior a los 1000 millones de euros y da trabajo a unas 19000 personas.



Comunidad Autónoma	Toneladas de uva
Castilla-La Mancha	2.648.386
Cataluña	415.001
Extremadura	393.725
C. Valenciana	336.284
La Rioja	299.738
Castilla y León	251.605
Andalucía	135.950
Aragón	110.445
Murcia	100.318
País Vasco	79.232
Navarra	73.571
Galicia	51.899
Madrid	6.792
Baleares	5.618
Canarias	4.541

Figura 1. Producción de uva durante la campaña 2019-20

Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Elaboración propia.

Los vinos de Castilla y León apuestan más por la calidad que por la cantidad. En la última campaña se situó en la sexta posición en el ranking de producción por Comunidades Autónomas (Figura 1). Sin embargo, según el informe Nielsen los vinos de calidad con DO de Castilla y León han logrado facturar el 27,3% del total del mercado vinícola en nuestro país.

Los vinos de la Denominación de Origen Bierzo no son ajenos a este contexto comunitario, apostando claramente por la calidad de sus caldos. Según los datos facilitados por la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León, el volumen de los vinos de la DO Bierzo se encuentran en el cuarto lugar de la comunidad, por detrás de los dos *gigantes*, DO Rueda y DO Ribera del Duero y cerca de la DO Toro (Figura 2):

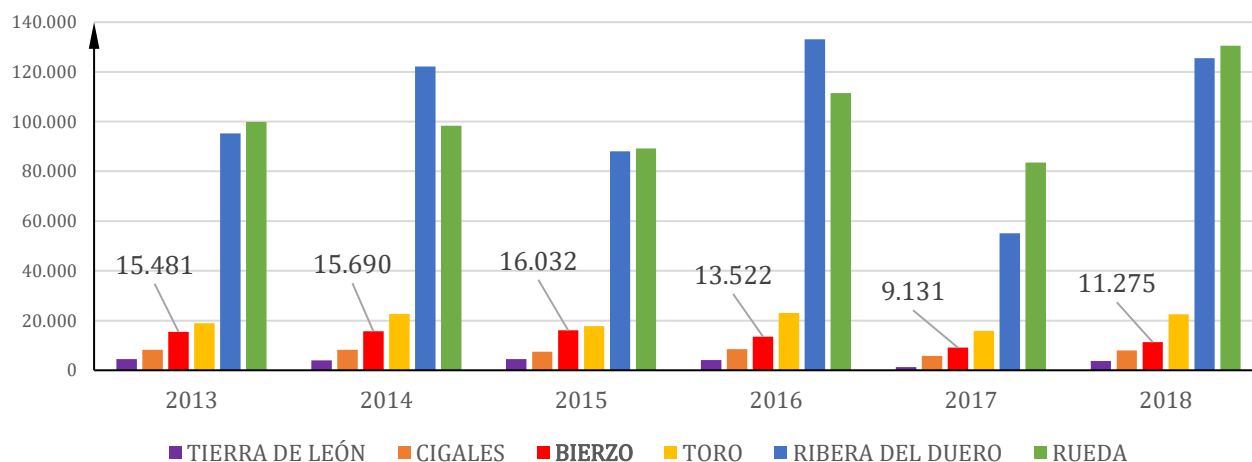


Figura 2. Datos de las 6 DO de Castilla y León con mayor producción, en toneladas (2013-2018)

Fuente: Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León

Elaboración propia

Pero al igual que sucede con el resto de los vinos de la IGP Vino de la Tierra de Castilla y León, la calidad prima sobre la cantidad. Este hecho se pudo vislumbrar con los datos de producción y comercialización (Figuras 3 y 4):

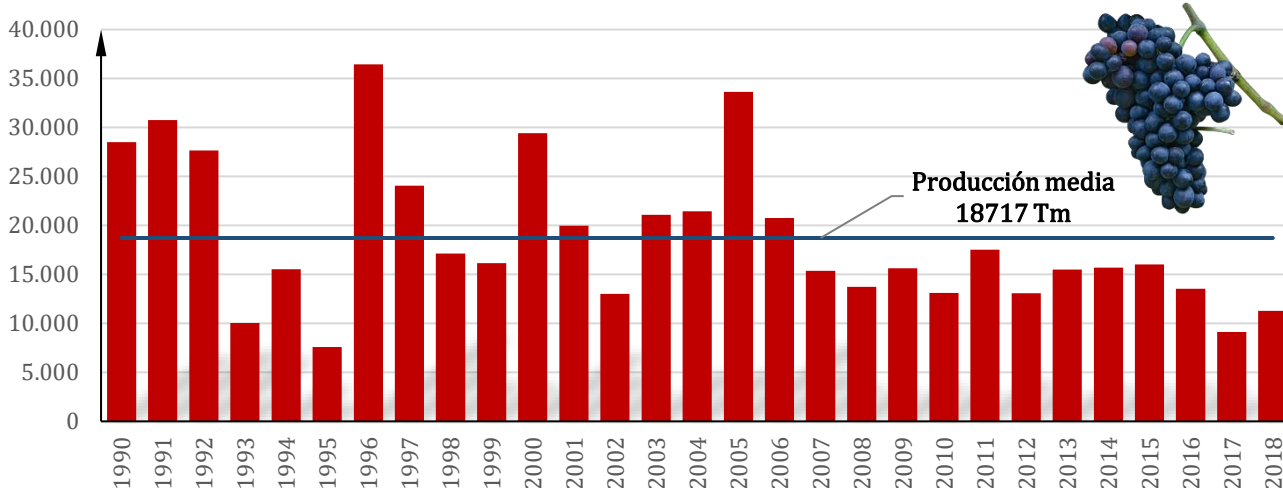


Figura 3. Datos de cosecha de la DO de Bierzo en toneladas

Fuente: Denominación de Origen Bierzo

Elaboración propia

En cuanto a la producción (Figura 3), al margen de los altibajos debidos a efectos climáticos (heladas o falta de lluvias entre otras) y fitosanitarios (plagas, como las de *black rot* y *mildiu*, por ejemplo) se percibe que la tendencia es a no aumentar la cantidad.

Sin embargo, los datos de comercialización de botellas de vino de la DO Bierzo (Figura 4) muestran que desde la creación del Consejo Regulador de la DO Bierzo, el embotellado por parte de las Bodegas inscritas ha ido en aumento, en detrimento de la venta de vino a granel.

Por otra parte, las calificaciones de las cosechas, realizadas por un comité de cata diferente cada año formado por prestigiosas figuras del mundo del vino, muestran una clara tendencia al aumento de calidad. Ambos gráficos interpretados conjuntamente nos muestran que no se busca producir más uva, pero sí se dedica a hacer más vino con denominación de origen, y de mayor categoría.

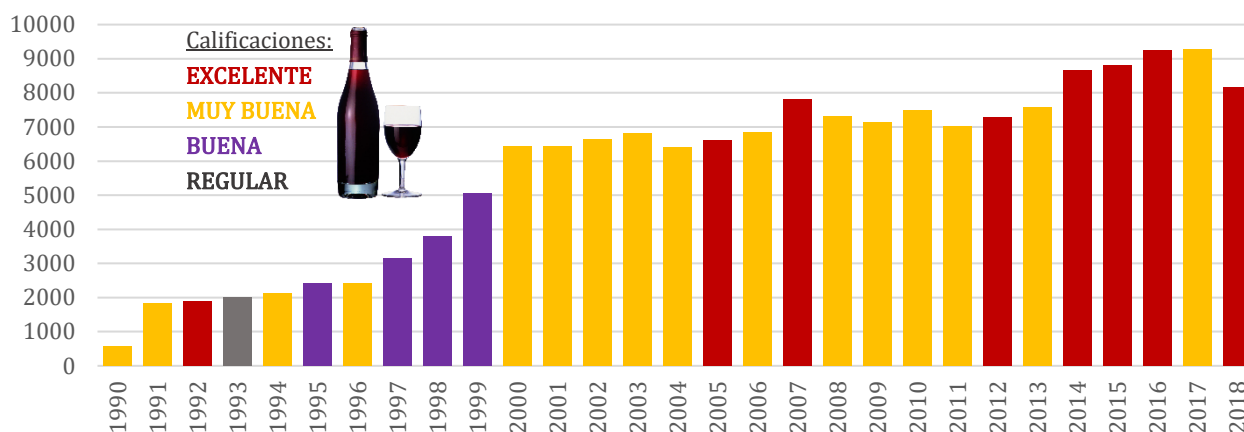


Figura 4. Datos de comercialización de la DO de Bierzo en miles de botellas

Fuente: Denominación de Origen Bierzo

Elaboración propia

Dentro de la DO Bierzo la *reina* de las uvas es la Mencía (*Vitis vinifera* “Mencía”), también conocida como Negra Brava (Figura 5). Es la variedad tinta principal y representa el 74,5% de la uva que se cultiva en la zona de producción. Es una uva autóctona de la Comarca, de racimo pequeño que da lugar a unos caldos muy afrutados y aromáticos.

En la búsqueda de la calidad de los vinos, obtener una correcta relación entre la cantidad de hojas y la producción de uvas en las cepas juega un papel muy importante. Cada hoja es un receptor de energía solar para la fotosíntesis, influyendo en el crecimiento y la maduración de las uvas. Un correcto equilibrio entre hojas y racimos permite predecir la producción de la cosecha, controlar el vigor del crecimiento, la cantidad de azúcares, el porcentaje de alcohol, la acidez, etc. En definitiva, si se quiere obtener el proceso vegetativo más idóneo, resulta crucial planificar la cantidad de hojas en los viñedos para tener la superficie foliar que dé lugar a un vino de la mejor calidad.



Figura 5. Uva Mencía

Un viñedo posee millones de hojas con formas irregulares. Medir exactamente la superficie foliar de una parcela sería una tarea imposible. Por este motivo es preciso desarrollar métodos estadísticos para su estimación.

Existen distintos métodos para estimar el área foliar de una plantación. Algunos de ellos requieren arrancar una cierta cantidad de hojas para su posterior tratamiento y análisis en el laboratorio, son los llamados *métodos destructivos*. Otras técnicas por el contrario consisten en tomar determinadas mediciones en el propio terreno, sin necesidad de cortar hojas; son los *métodos no destructivos*.

Ya se han desarrollado diferentes métodos, tanto destructivos como no destructivos para la medición del área foliar en distintos tipos de uva, siendo los ejemplos más relevantes: *Tempranillo*, *Pedro Ximénez* y *Merlot* (Kliwer & Dokoozlian, 2005; Disegna et al., 2005; Moraga Fuentes, 2007; Gutierrez & Lavin, 2000; Lasheras Ocaña et al., 2016; Hidalgo Togores & Hidalgo Fernández-Cano, 2011). Sin embargo, aún no se han realizado estudios de este tipo en la uva Mencía (*Vitis vinifera* “Mencía”).

Con este trabajo de investigación se pretenden desarrollar dos métodos:

- Un método destructivo para estimar la superficie foliar de una parcela de un viñedo.
- Otro método no destructivo que permita la estimación del área foliar individual en la hoja de *Vitis vinifera* “Mencía”.

Adicionalmente se tratan de apreciar posibles relaciones entre la superficie foliar, los datos de producción de la cosecha y los parámetros de maduración de las uvas.

2. Objetivos

Los objetivos que se plantean en el presente trabajo de investigación son los siguientes:

1. Estimar el área foliar de dos parcelas cultivadas con la variedad de uva tinta *Vitis vinifera* "Mencía" a través de un método estadístico basado en un muestreo destructivo.
2. Relacionar el índice de área foliar (IAF) de dos parcelas cultivadas con la variedad de uva tinta *Vitis vinifera* "Mencía" con los parámetros de maduración muestreados en las uvas y con los niveles de producción de dichas parcelas.
3. Obtener un método no destructivo de estimación del área foliar individual, a través de un modelo de regresión lineal, que permita calcular áreas foliares *in situ* de forma rápida y sencilla.

3. Marco teórico

Área foliar: extensión o superficie comprendida dentro de una hoja, expresada en unidades de medida superficial (m^2 , cm^2 ...)

Índice de área foliar (IAF): es la expresión numérica adimensional que se obtiene como resultado de dividir el área foliar de un cultivo y el área de suelo sobre el cual se encuentra establecido, ambos expresados en las mismas unidades de superficie.

Vid, *Vitis*: Es un género con alrededor de sesenta especies aceptadas, perteneciente a la familia *Vitaceae*. Su fruto o baya es la uva (Figura 6).

Pámpano o sarmiento: son los brotes verdes que surgen cuando una yema se desarrolla. Tienen su origen en la madera del año anterior y es la estructura encargada de soportar los racimos.

Nieto: es el tallo secundario, brote lateral y vigoroso que sale del sarmiento. Normalmente es perjudicial porque consume recursos de la planta disminuyendo la cantidad y calidad de uva.

Vitis vinifera "Mencía": variedad o casta de uva tinta introducida y cultivada principalmente en El Bierzo, al noroeste de la Península Ibérica.

Cultivo de viñas en espaldera: Es un tipo de cultivo que consiste en una estructura formada por postes y alambres sobre los que se dispone el cultivo y los toma como guía en su crecimiento (Figura 7).

Densidad de la uva: Relación entre la masa y el volumen de la uva; es una característica que influye en la calidad de la uva y del vino.

ρ_{20} : es la densidad de una sustancia, en este caso vino, medida a 20°C.

pH: Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución e indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones.

Acidez total: Parámetro que mide los gramos de ácido tartárico por litro, que es un compuesto orgánico polifuncional que da la acidez al vino, cuyo grupo funcional principal es el carboxilo.

Regresión lineal: modelo matemático usado para aproximar la relación de dependencia entre dos variables mediante la ecuación de una recta.

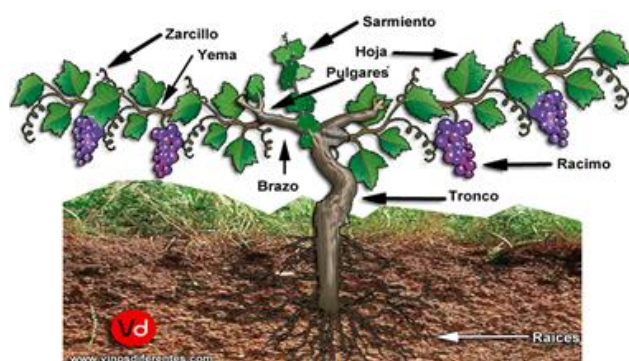


Figura 6. Vid y sus partes



Figura 7. Viña San Martín: cultivo en espaldera

4. Material y métodos

4.1. Material

Para realizar este proyecto se utilizaron los siguientes materiales:

- Tijeras, para podar las hojas.
- Bolsas de plástico, para la clasificación de las muestras.
- Prensa de hojas para botánica, para extraer la humedad de las hojas.
- Periódicos, para absorber la humedad de las hojas.
- La aplicación gratuita para Android *Petiole*, para la medición de las áreas foliares individuales.
- Teléfono móvil, para usar Petiole.
- Cristal transparente.
- Regla, para medir los anchos y largos de las hojas.
- Ordenador y Hoja de cálculo, para el análisis de los datos.
- Google Drive, para el trabajo colaborativo.

4.2. Metodología

4.2.1. Metodología para el objetivo 1

*Estimar el área foliar de dos parcelas cultivadas con la variedad de uva tinta *Vitis vinifera* “Mencía” a través de un método estadístico basado en un muestreo destructivo.*

Para la consecución del objetivo 1 del trabajo se establece contacto con el enólogo de la bodega *Prada a Tope*, quien nos brinda toda la colaboración necesaria. Esta bodega tiene sus viñedos en el entorno del Palacio de Canedo (Figura 8), construido en 1730 por la familia Osorio y Pimentel en un paraje “sano, alto y orientado al mediodía, con la tierra en suave desnivel para un drenaje perfecto, ideal para el viñedo”. Es un monumento catalogado como *Bien de Interés Cultural* por la Junta de Castilla y León, situado en el municipio de Arganza y rodeado de 30 hectáreas de viñedos.



Figura 8. Viñas del Palacio de Canedo (fuente: web del Palacio de Canedo)

Para el cálculo de los Índices de Área Foliar se toman dos parcelas, Viña Hermógenes y Viña San Martín (42° 38' 41.32" N, 6° 42' 17.86" W), comparables por tener características semejantes de antigüedad de las cepas, orientación (sur), altitud (675 m), Inclinación (15%), tipo de terreno (textura franco-arcillosa), variedad de uva (tinta mencía), con las viñas en espaldera y poda a doble cordón *Royat*.

El método de muestreo que se emplea está basado en el propuesto por Hidalgo Togores & Hidalgo Fernández-Cano (2011) en el volumen 1 de su *Tratado de viticultura*.

El día 10 de octubre de 2019, pasada la vendimia, se recoge un total 2033 hojas de *Vitis vinifera* “Mencía”. Se plantea en cada una de las parcelas un muestreo sistemático en cuadrícula (Figuras 9 y 10), con un patrón de recorrido en *zig-zag*, tomando para la parcela de Viña San Martín un tamaño muestral de 30 cepas y de 20 en la de Viña Hermógenes.

Para estimar la densidad de plantación (d), se tiene en cuenta el número total de hileras de cepas en cada parcela y la separación entre ellas. La superficie de las parcelas (A_p) y la longitud de cada fila se mide gracias a la aplicación *SIGPAQ* (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas) de la Junta de Castilla y León.

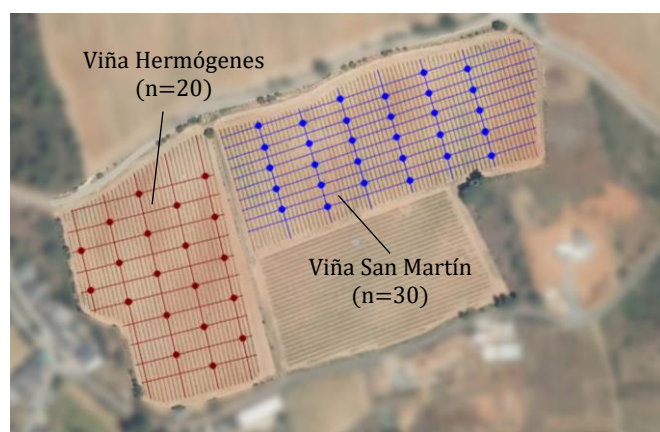


Figura 9. Recolección de hojas. (SIGPAQ)

En cada cepa seleccionada para la muestra se cuenta el número de sarmientos (s) y se elige uno *representativo*, que presente a la vista la vegetación media de la cepa. Sobre el sarmiento se cuenta el número de hojas principales (h_p), que crecen directamente del sarmiento, y se recogen todas ellas en una bolsa para su posterior medición en el laboratorio. Lo mismo se hace con las hojas de los nietos del sarmiento (Figura 13).



Figura 10. Recolección de las muestras

La codificación empleada en las bolsas para clasificar las hojas es la siguiente:

SM/H - P/N - k

siendo:

- **SM:** San Martín. **H:** Hermógenes.
- **P:** Hojas principales. **N:** Hojas de nietos
- **k:** número de la cepa.

Por ejemplo, la bolsa con el código: SM-P-5 contiene las hojas principales de la cepa 5 de la Viña San Martín.

En el laboratorio se prensan las hojas con una prensa específica de botánica de 30x45cm interponiendo hojas de periódico para extraer la humedad. Se dejan una semana antes de comenzar la medición de las áreas foliares (Figura 11).

Para medir las 2033 hojas de los 50 pámpanos de las muestras se emplea la aplicación móvil *Petiole*, que permite el cálculo de las áreas foliares individuales de forma rápida y eficaz (Figura 12). Para ello se monta un dispositivo móvil modelo Samsung Galaxy A60 sobre una caja que hace de soporte, se calibra siguiendo las instrucciones de la App y se colocan las hojas cortadas. Para aplanar las hojas y garantizar que las medidas no se vean distorsionadas por la aparición de sombras se emplea un cristal transparente.



Figura 11. Prensado de hojas

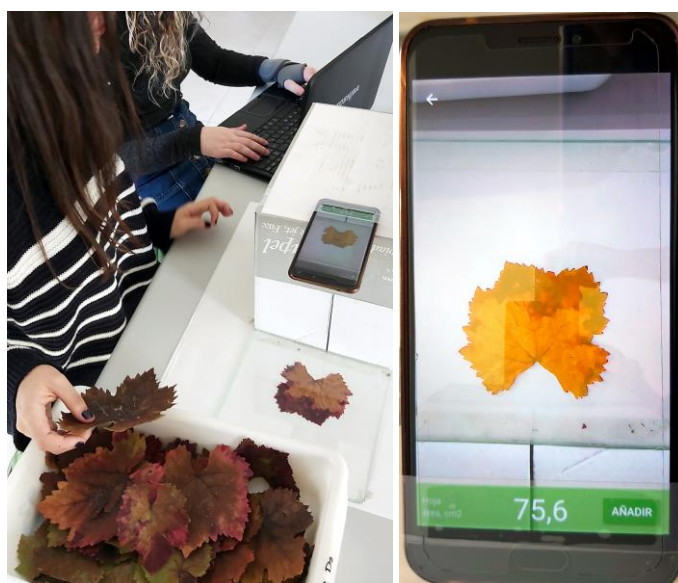


Figura 12. Medición de áreas foliares individuales

Una vez medidas las áreas foliares individuales de las 2033 hojas recogidas, se calculan las áreas foliares totales:

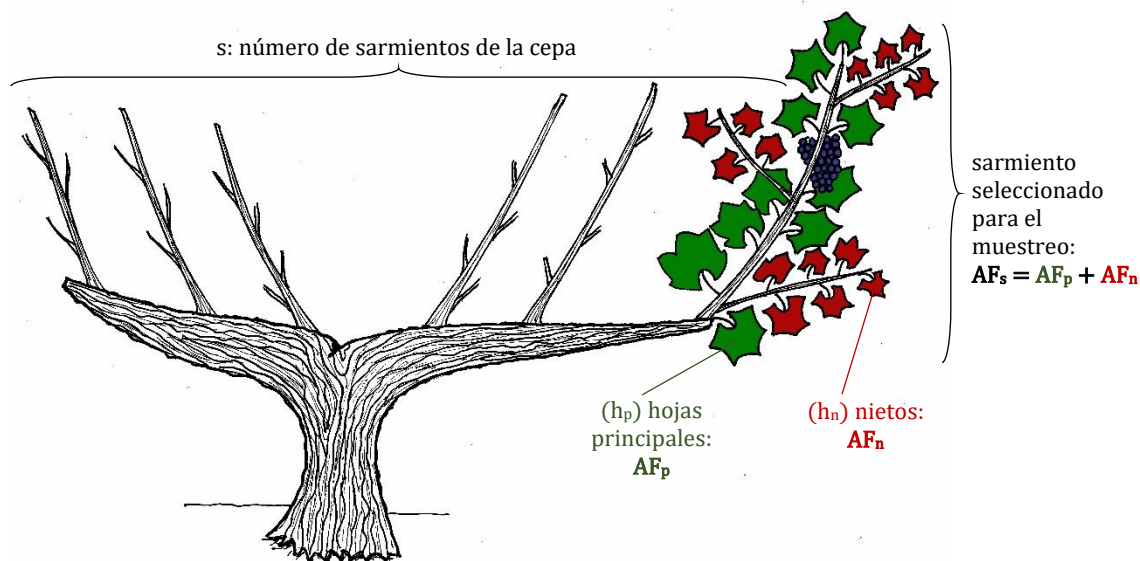


Figura 13: Nomenclatura empleada en el muestreo (elaboración propia)

Área foliar del sarmiento (AF_s) = Área foliar principal (AF_p) + Área foliar de los nietos (AF_n)

- Área foliar principal (AF_p): Suma de las áreas de las hojas principales del sarmiento.
- Área foliar de los nietos (AF_n): Suma de las áreas de las hojas de los nietos del sarmiento.

Área foliar de la cepa (AF_c) = $s \cdot AF_s$

Con el área estimada en cada cepa de las muestras, se calcula el área foliar media por cepa de cada parcela ($\overline{AF_c}$) y finalmente, con las Superficies de las parcelas de los viñedos (A_p) y densidad de plantación (d) valorada con SIGPAQ, se puede estimar:

Área foliar total de la parcela (AF) = número de cepas $\cdot \overline{AF_c} = d \cdot A_p \cdot \overline{AF_c}$

Finalmente se calcula el Índice de Área Foliar:

$$\text{Índice de Área Foliar (IAF)} = \frac{\text{Área foliar total de la parcela}}{\text{Área cultivada de parcela}} = \frac{AF}{A_p}$$

4.2.2. Metodología para el objetivo 2

Relacionar el índice de área foliar (IAF) de dos parcelas cultivadas con la variedad de uva tinta Vitis vinifera "Mencía" con los parámetros de maduración muestreados en las uvas y con los niveles de producción de dichas parcelas.

Se pretende apreciar de forma cualitativa si se puede intuir una influencia de los IAF calculados en cada parcela con las características de las uvas recogidas en ellas y con su cantidad. Para ello se cuenta con los datos de los últimos muestreos efectuados en las bayas de la cosecha de 2019 por el enólogo responsable de la bodega Prada a Tope. Los parámetros que se enfrentan al IAF son:

- La masa media por uva (m_{uva}).
- La densidad a 20°C (ρ_{20}).
- El contenido en azúcar del mosto.
- El grado alcohólico probable (% V_{17}).
- El pH.
- La acidez total (miligramos por mililitro de ácido tartárico).
- El nivel de producción de cada parcela.

4.2.3. Metodología para el objetivo 3

Obtener un método no destructivo de estimación del área foliar individual, a través de un modelo de regresión lineal, que permita calcular áreas foliares in situ de forma rápida y sencilla.

Se seleccionan 100 hojas bien desarrolladas de *Vitis vinifera* "Mencía" aleatoriamente entre las empleadas para el cálculo de los IAF. Se elimina el peciolo para medir únicamente el limbo y con la ayuda de una regla se miden los parámetros L y W, donde L es la longitud máxima a lo largo de la nervadura central y W es el valor máximo perpendicular a la nervadura central, ambos en centímetros. Asimismo, con la ayuda de *Petiole*, se miden cuidadosamente las áreas foliares (AF) de dichas hojas (Figura 14).

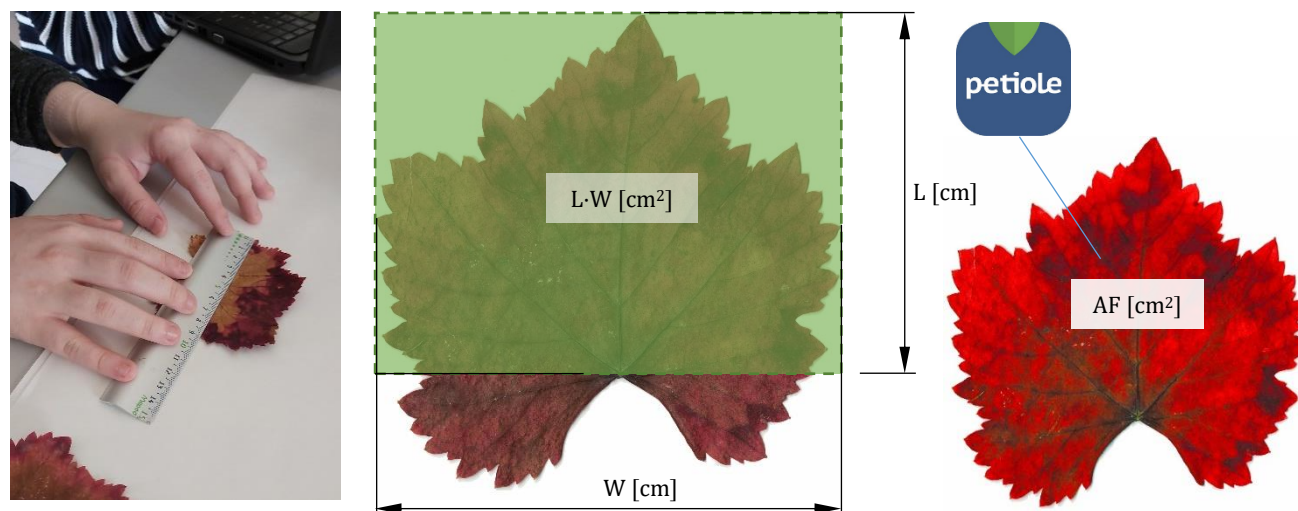


Figura 14: Mediciones tomadas para el análisis de regresión

Se emplean las mediciones de L, W y AF de las 100 hojas, y se prueban cinco relaciones mediante el cálculo de rectas de regresión lineal: **L vs. AF**, **W vs. AF**, **L² vs. AF**, **W² vs. AF** y **LW vs. AF**. En todos los casos se considera que el área foliar es la variable dependiente.

Para una mayor **validación** de la ecuación elegida se selecciona aleatoriamente otra muestra de 100 hojas de diferentes plantas de *Vitis vinifera* "Mencía" y se miden de nuevo L, W y AF de forma idéntica a la descrita anteriormente.

Para esta segunda muestra de 100 hojas se obtienen dos valores de área foliar:

- Los valores de área foliar *observada* (AF_o), medidos con *Petiole*.
- Los valores de área foliar *esperada* (AF_e), calculados según las cinco ecuaciones lineales halladas.

Se realizan entonces análisis de regresión lineal enfrentando ambas áreas. En un supuesto ideal, AF_e y AF_o serían iguales en todas las hojas, siendo la recta de regresión AF_o = AF_e (recta y=x) una recta de pendiente 1 con un R²=1. Cuanto más se aproxime el modelo a estos parámetros de pendiente y coeficiente de determinación, se considerará mejor la expresión que se está validando.

Adicionalmente se calculan, para cada uno de los cinco casos: las diferencias AF_o-AF_e, la desviación típica de las diferencias (σ_d) y el error relativo (e(%)) = $\frac{|AF_o - AF_e|}{AF_o} \cdot 100$.

Finalmente, se emplea como criterio para elegir el método más adecuado aquél que presente de forma combinada:

- Un mayor coeficiente de determinación (R²) en el modelo de regresión lineal.
- Un mayor coeficiente de determinación (R²) en la validación.
- Una pendiente más próxima a 1 en la validación.
- Una menor media de las diferencias AF_o-AF_e.
- Un menor error relativo medio.

Finalmente, para el método seleccionado según los criterios anteriormente dispuestos, se calcula el sesgo relativo, que se estima mediante la media de las diferencias (AF_o-AF_e) y la desviación típica de las

diferencias (σ_d). Se emplea el método gráfico de *Bland-Altman*, que permite comparar dos técnicas de medición sobre una misma variable cuantitativa (Gil Martínez, 2017). La distribución se considera normal si al menos el 97% de las diferencias se encuentran entre los *límites de aceptación* (Rouphzel et al, 2010): $(\overline{AF_o} - \overline{AF_e}) \pm 3\sigma_d$

5. Análisis de resultados

5.1. Análisis de resultados del objetivo 1

Estimar el área foliar de dos parcelas cultivadas con la variedad de uva tinta Vitis vinifera "Mencía" a través de un método estadístico basado en un muestreo destructivo.

Se miden con *Petiole* y se registran un total de 2033 hojas de *Vitis vinifera* "Mencía", distribuidas como se detalla en la Tabla 1:

Tabla1: Viña San Martín y Viña Hermógenes: Número de hojas principales (h_p) y de nietos (h_n). Totales, tantos por ciento y medias por sarmiento.

		h_p	h_p (%)	h_n	h_n (%)	Totales (h)
Viña San Martín (n=30)	total	457	32,83%	935	67,17%	1392
	$\frac{\text{hojas}}{\text{sarmiento}}$	15,23		31,17		46,40
Viña Hermógenes (n=20)	total	221	34,48%	420	65,52%	641
	$\frac{\text{hojas}}{\text{sarmiento}}$	11,05		21,00		32,05

Estos valores confirman la observación del trabajo de campo, en la que se aprecia que las cepas de la parcela Viña San Martín presentan un follaje considerablemente más frondoso. Sin embargo, las proporciones de número de hojas principales y de nietos en ambas parcelas son muy similares.

Para estimar la densidad de plantación se emplea la aplicación *SIGPAQ*. Las cepas en la parcela Viña Hermógenes se plantan con una separación de 1,2 m, mientras que en la Viña San Martín hay dos zonas con plantaciones a distancias ligeramente diferentes, de 1,2 m en San Martín "Panaderos" y 1,3 m en San Martín "Viña Nueva", como se representa en la Figura 15.



Figura 15. Distancia entre cepas (SIGPAQ)

Teniendo en cuenta esta configuración de las plantaciones, y que la anchura de las calles (distancia entre hileras) es la misma en todo el terreno, se miden con *SIGPAQ* las longitudes de las hileras y las superficies cultivadas, y se obtienen las densidades de plantación para ambas parcelas, resultando ligeramente inferior en la Viña San Martín (2660 cepas por hectárea) que en la Viña Hermógenes (2740 cepas por hectárea) por tener una zona donde las cepas se encuentran más separadas (Tabla 2).

No obstante, para que los Índices de Área Foliar sean comparables, las densidades de plantación han de ser idénticas. Se soluciona esta discrepancia aplicando en la zona San Martín "Viña Nueva" un factor de corrección $k = \frac{1,2}{1,3}$ para las longitudes de las hileras. Se obtiene así una *superficie corregida*, que representa la superficie de plantación teórica que habría si la distancia entre cepas fuese la misma que en el resto del terreno.

Los datos detallados de por cada una de las 50 cepas seleccionadas en las dos muestras se recogen en la Tabla 6 (Anexo 1). A partir de dichos datos, se obtienen los resultados que se resumen en la Tabla 2:

Tabla 2: Viñas San Martín y Hermógenes: Número de hojas principales (h_p) y de nietos (h_n), áreas foliares medias por cepa (\overline{AF}_c), densidades de plantación (d), superficies cultivadas (A_p), número de cepas c , áreas foliares principales (AF_p), de nietos (AF_n) y totales de cada parcela AF e Índices de Área Foliar principales (IAF_p), de nietos (IAF_n) y totales (IAF) por parcela.

		VIÑA SAN MARTÍN (n=30)	VIÑA HERMÓGENES (n=20)
P	Número de hojas principales: h_p	457	221
	Áreas foliares principales medias: \overline{AF}_p (cm ²)	13479	7362
N	Número de hojas de nietos: h_n	935	420
	Áreas foliares de nietos medias: \overline{AF}_n (cm ²)	11345	5299
Áreas foliares medias por cepa: \overline{AF}_c (cm²)		24824	12661
Densidad de plantación (cepas/Ha)		2660	2740
Superficies cultivadas en cada parcela: A_p (m ²)		18875*	15787
Número de cepas: c		5021	4326
Áreas foliares principales totales: AF_p (m ²)		6768	3185
Áreas foliares de nietos totales: AF_n (m ²)		5696	2292
Áreas foliares totales: AF (m²)		12464	5477
Índices de Área Foliar principales: IAF_p		0,36	0,20
Índices de Área Foliar de nietos: IAF_n		0,30	0,15
Índices de Área Foliar totales: IAF		0,66	0,35

*Superficie equivalente corregida para distancia entre cepas de 1,2m.

Se observa que en ambas viñas las proporciones de AF de hojas principales y de nietos es muy similar, como se observa en los siguientes diagramas (Figura 16):

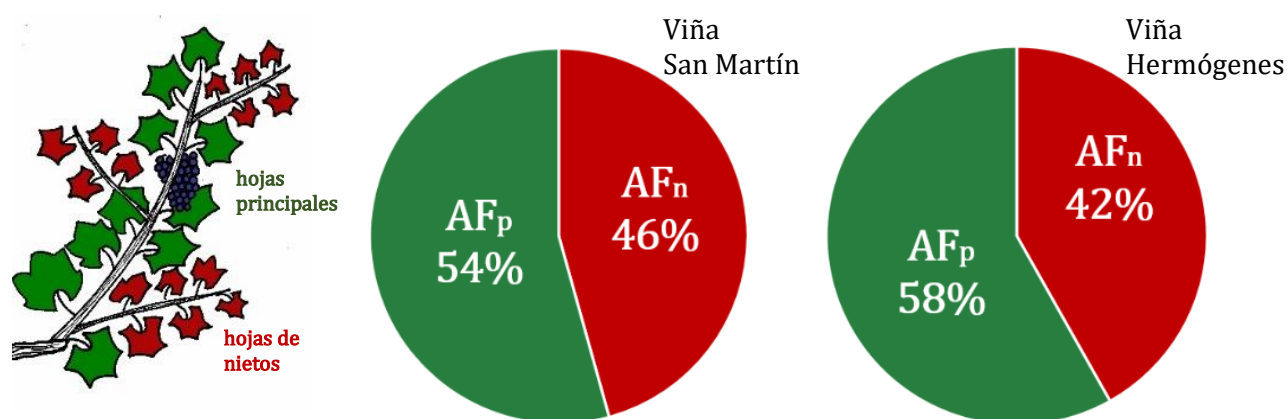


Figura 16: Viña San Martín y Viña Hermógenes: Proporción de AF principal (AF_p) y de nietos (AF_n)

Sin embargo, se aprecian grandes diferencias en las áreas foliares de cada parcela (12464 m² en la Viña San Martín frente a 5477 m² en la Viña Hermógenes). Por otro lado, las cepas de la Viña San Martín presentan unas cepas mucho más frondosas, con un valor de \overline{AF}_c muy superior al de la Viña Hermógenes, como se aprecia en las Figuras 17 y 18. Este hecho experimental se corresponde con la observación de campo.

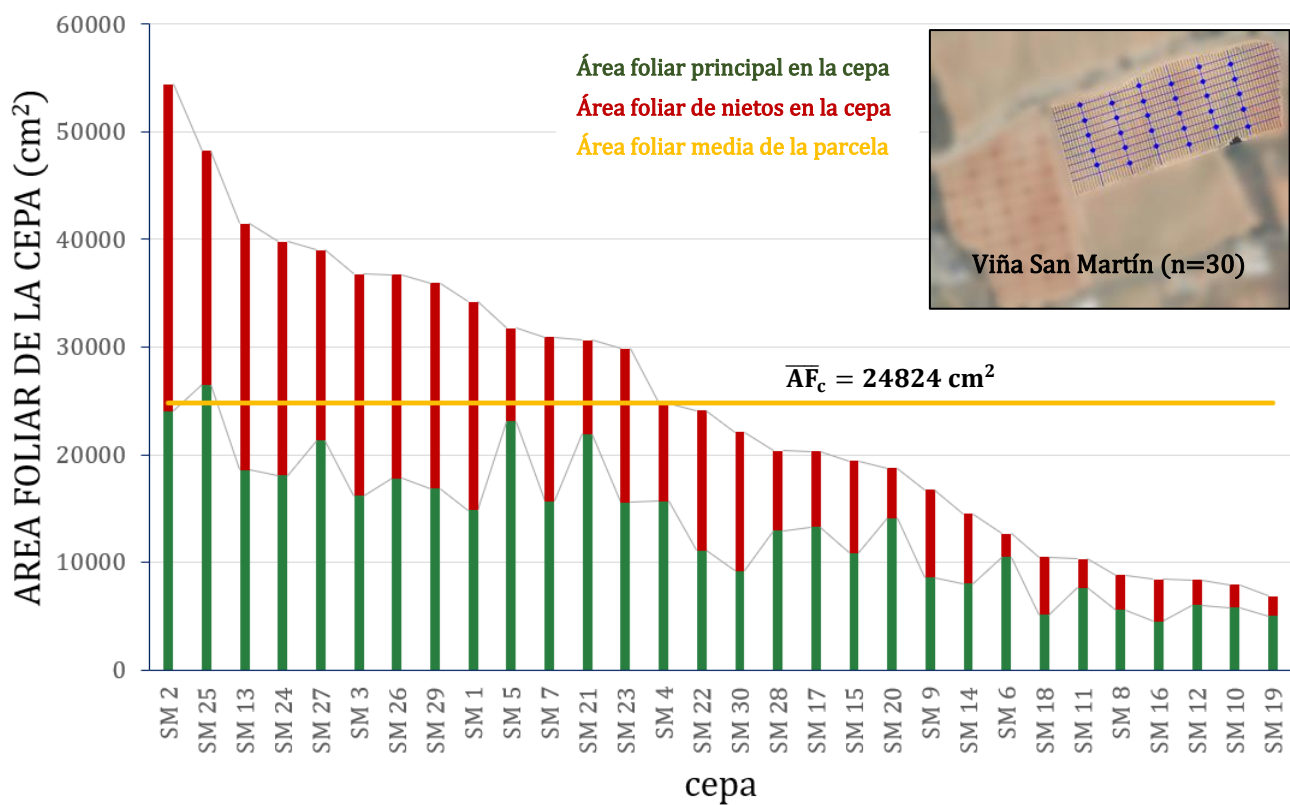


Figura 17: Viña San Martín: áreas foliares por cepa y área foliar media de las 30 cepas de la muestra

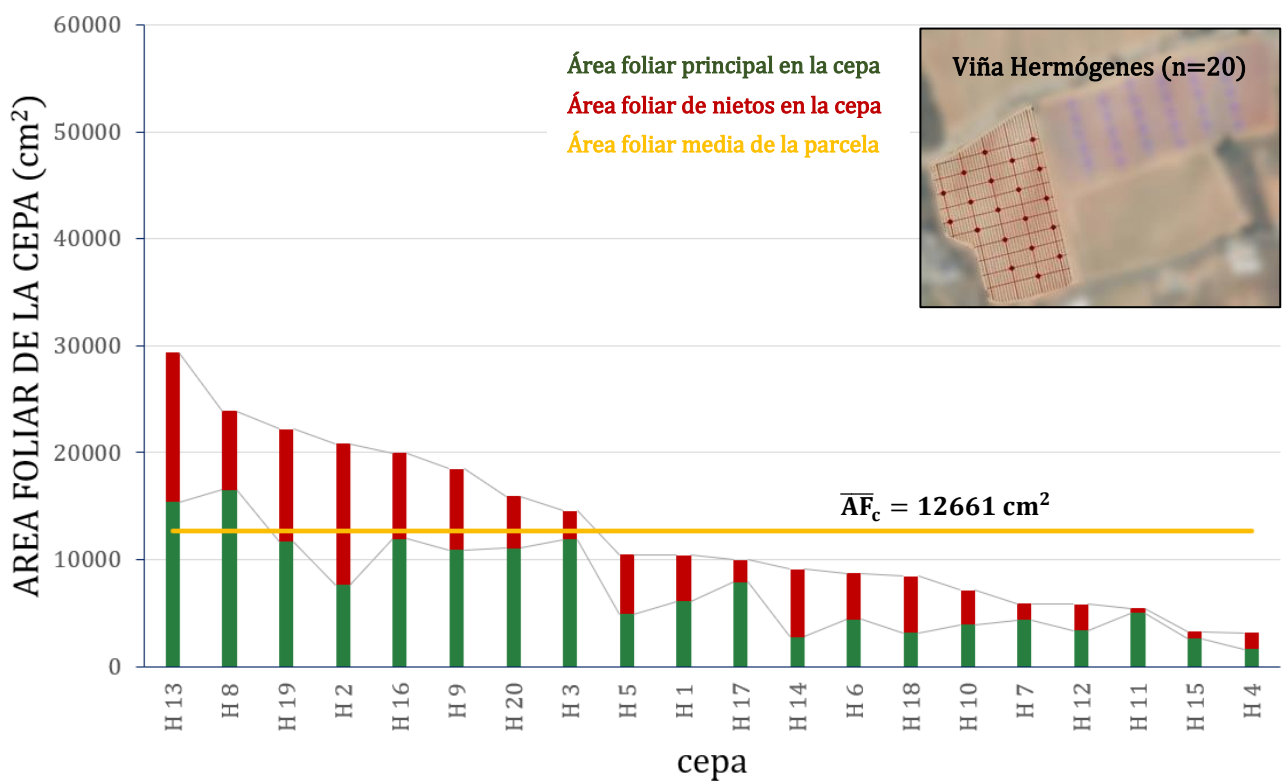


Figura 18: Viña Hermógenes: áreas foliares por cepa y área foliar media de las 20 cepas de la muestra

Finalmente, el parámetro que mejor permite comparar ambas parcelas es el Índice de Área Foliar, que expresa los metros cuadrados de hoja por cada metro cuadrado de cultivo. Los valores hallados reflejan claramente la superioridad de la Viña San Martín (IAF=0,66) frente a la Viña Hermógenes (IAF=0,35) (Figura 19).

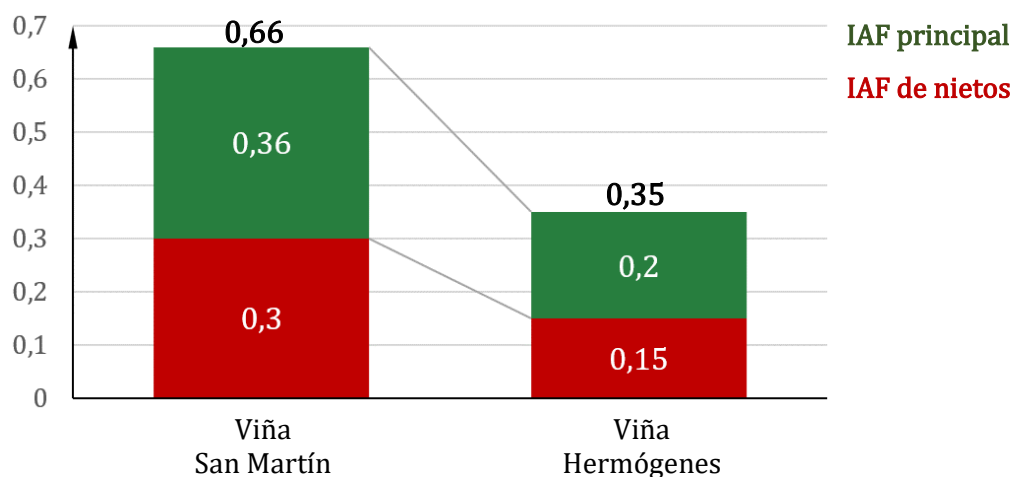


Figura 19: Viña San Martín y Viña Hermógenes: IAF principal, de nietos y total ($IAF_p + IAF_n$)

5.2. Análisis de resultados del objetivo 2

Relacionar el índice de área foliar (IAF) de dos parcelas cultivadas con la variedad de uva tinta Vitis vinifera "Mencia" con los parámetros de maduración muestreados en las uvas y con los niveles de producción de dichas parcelas.

Los datos de los últimos muestreos efectuados en la cosecha de 2019 por el enólogo responsable de la bodega *Prada a Tope* se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Viña San Martín y Viña Hermógenes: masa media por uva (m_{uva}), grado alcohólico probable (%V₁₇), contenido en azúcar del mosto, densidad a 20°C (ρ_{20}), pH, acidez total (miligramos por mililitro de ácido tartárico) y producción por parcela (t/ha)

	m_{uva} (mg)	%V ₁₇	azúcar (mg/ml)	ρ_{20} (mg/ml)	pH	AT (mg/ml)	Producción (t/ha)
V. SAN MARTÍN	1875	13,3	226	1095,88	3,51	5,6	8,79
V. HERMÓGENES	1783	12,5	213	1091,50	3,48	5,8	4,86

Estos muestreos corresponden a la misma campaña que las hojas de este proyecto y están hechos en las mismas parcelas. A pesar de no poder extraer de ellos afirmaciones estadísticamente concluyentes, los datos nos muestran lo siguiente (Figura 20):

Se observa claramente que la gran diferencia de Índice de Área Foliar encontrada entre ambas parcelas (Figura 19) no se corresponde en una proporción semejante con los parámetros de maduración de las uvas. No obstante, se aprecian ciertas tendencias:

- Un mayor IAF parece dar lugar a ligeros aumentos en el tamaño de la uva (Figura 20), que presenta un mayor grado alcohólico probable (Figura 21) y un contenido en azúcar ligeramente superior (Figura 22).
- Sin embargo, en los valores de densidad a 20°C (Figura 23), pH (Figura 24) y acidez total (Figura 25) las diferencias son prácticamente nulas.

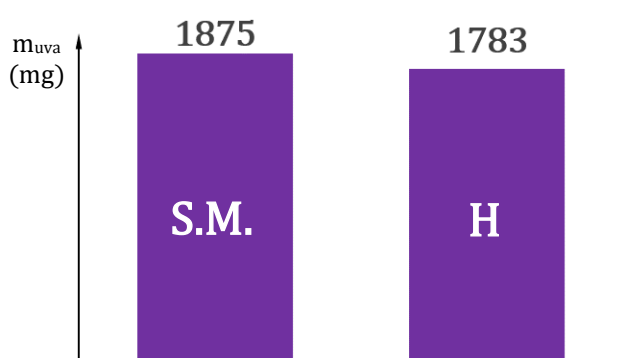


Figura 20: Viña San Martín y Viña Hermógenes: masa media de las uvas (m_{uva}).

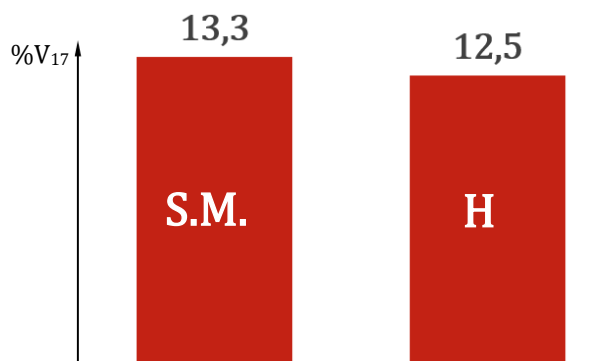


Figura 21: Viña San Martín y Viña Hermógenes: grado alcohólico probable (%V₁₇).

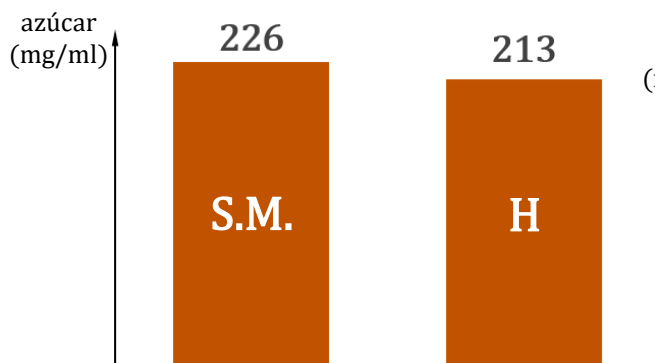


Figura 22: Viña San Martín y Viña Hermógenes: contenido en azúcar del mosto.

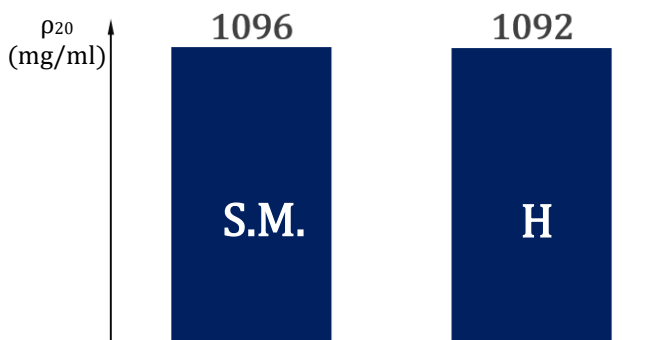


Figura 23: Viña San Martín y Viña Hermógenes: densidad a 20°C (ρ₂₀).



Figura 24: Viña San Martín y Viña Hermógenes: pH.

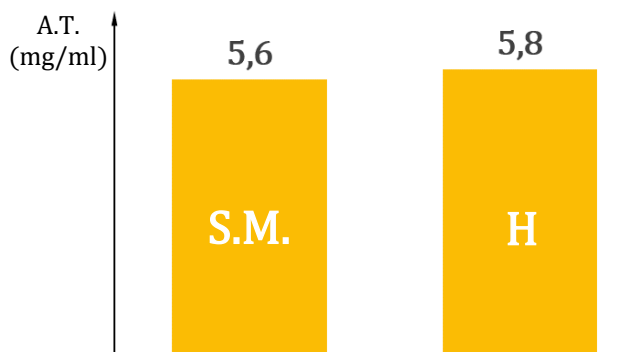


Figura 25: Viña San Martín y Viña Hermógenes: acidez total (mg de ácido tartárico por ml).

Por el contrario, entre los datos de producción en las parcelas; 16586 kg recogidos en la Viña San Martín (8,79 toneladas por hectárea) y 7675 kg en Viña Hermógenes (4,86 toneladas por hectárea) sí parece existir una gran relación con el Índice de Área Foliar (IAF). Se observa claramente que al incremento en la cantidad de hojas en los cultivos le ha correspondido un aumento en la cantidad de uva recogida proporcionalmente muy semejante (Figura 26).

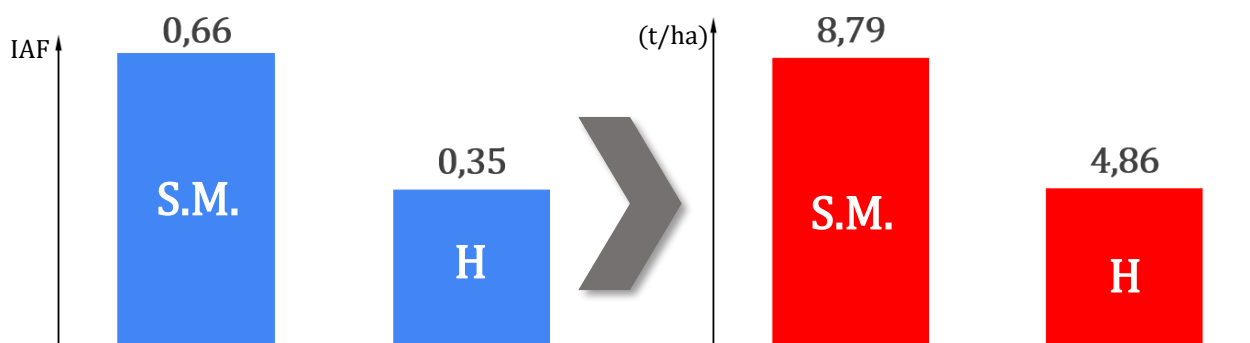


Figura 26: Viña San Martín y Viña Hermógenes Valores de IAF y nivel de producción (t/ha)

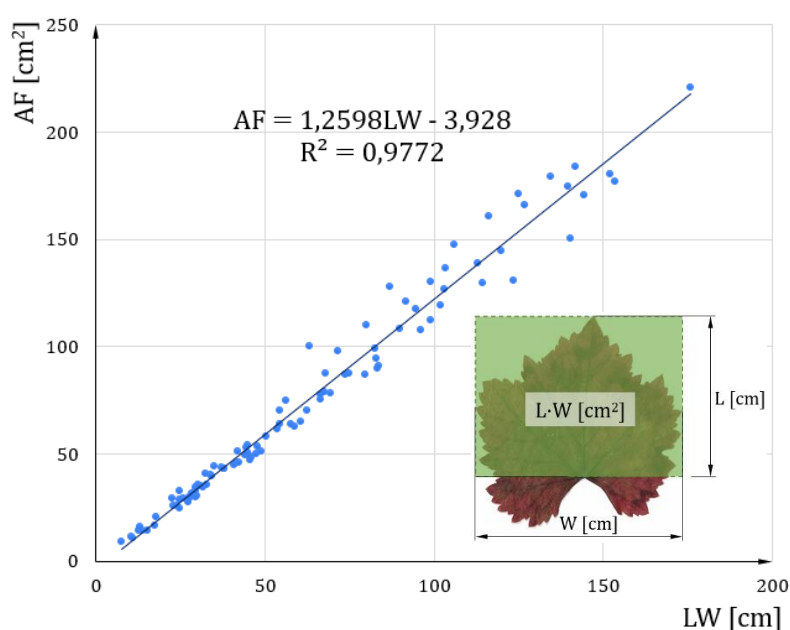
5.3. Análisis de resultados del objetivo 3

Obtener un método no destructivo de estimación del área foliar individual, a través de un modelo de regresión lineal, que permita calcular áreas foliares in situ de forma rápida y sencilla.

Se seleccionan 100 hojas de *Vitis vinifera* "Mencía" aleatoriamente entre las empleadas para el cálculo de los IAF y se miden: largo L(cm), ancho W(cm) y Área Foliar (cm²). Con estos datos se obtienen los modelos de regresión lineal cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación se recogen en la Tabla 4:

Tabla 4: Modelos de regresión lineal: ecuaciones y coeficientes de determinación (R²).

Modelo de regresión lineal	Ecuación de la recta	R ²
L vs. AF	$AF = 22,294L - 70,536$	0,9380
W vs. AF	$AF = 16,694W - 70,167$	0,9073
LW vs. AF	$AF = 1,259LW - 3,928$	0,9772
L ² vs. AF	$AF = 1,598L^2 - 0,659$	0,9568
W ² vs. AF	$AF = 0,924W^2 - 2,412$	0,9342



Se observa que la recta que mejor se ajusta a la nube de puntos es la que se calcula con el producto del largo por el ancho (LW) como variable de entrada o independiente y el área foliar como variable dependiente (Figura 27).

La ecuación hallada es:

$$AF = 1,2598 \cdot LW - 3,928$$

con un coeficiente de determinación $R^2=0,9772$, sensiblemente superior a los obtenidos con los otros modelos lineales.

Figura 27. Recta de regresión lineal LW vs. AF

Las rectas de regresión obtenidas con la longitud (L), el ancho (W), L² y W² se muestran en las Figuras 28, 29, 30 y 31:

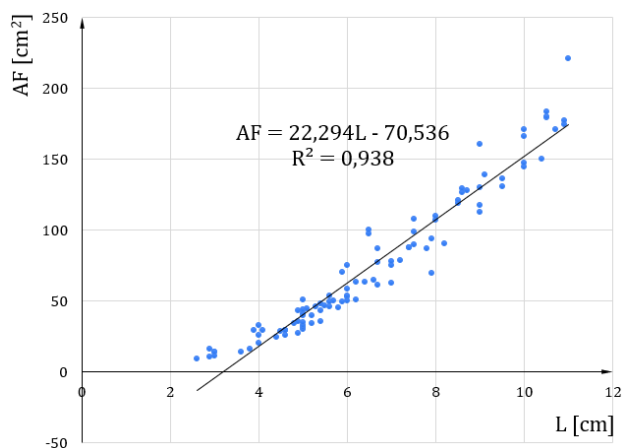


Figura 28. Recta de regresión lineal L vs. AF

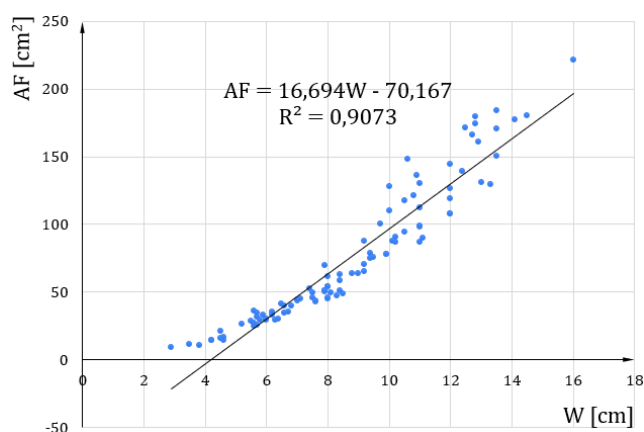


Figura 29. Recta de regresión lineal W vs. AF

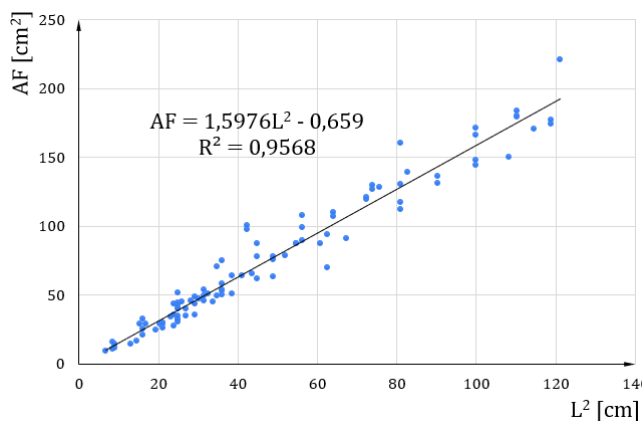


Figura 30. Recta de regresión lineal L² vs. AF

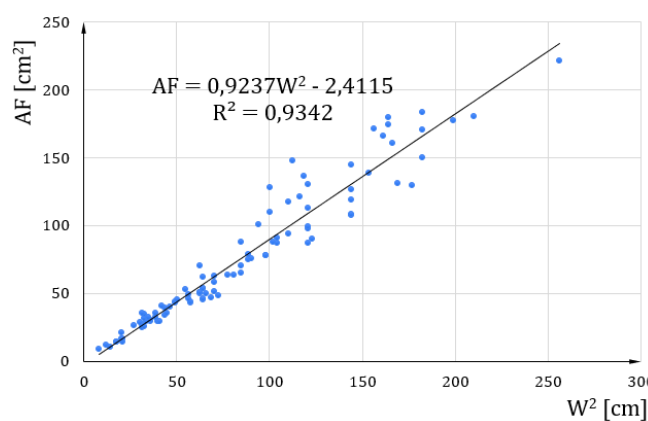


Figura 31. Recta de regresión lineal W² vs. AF

Para validar la ecuación seleccionada como la mejor de todas, se toman aleatoriamente otras 100 hojas de *Vitis vinifera* “Mencía” de distintas plantas, se miden sus áreas foliares (AF observada: AF_o) y se calculan las áreas foliares predichas por las ecuaciones de las rectas de regresión (AF esperada: AF_e). Con estos valores se plantean nuevos modelos de regresión, que se recogen en las Figuras 32 a 36 y cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 5:

Tabla 5: Validación de los modelos de regresión: coeficiente de determinación R², pendiente de la recta, media de las diferencias AF observada-AF esperada y error relativo medio (%).

Validación del modelo:	R ²	pendiente de la recta	AF _o - AF _e	\bar{e} (%)
modelo L vs. AF	0,941	1,06	8,9	13,82%
modelo W vs. AF	0,946	1,13	11,5	18,62%
modelo LW vs. AF	0,990	0,98	3,8	4,27%
modelo L ² vs. AF	0,953	1,03	7,7	9,34%
modelo W ² vs. AF	0,967	0,95	8,2	9,63%

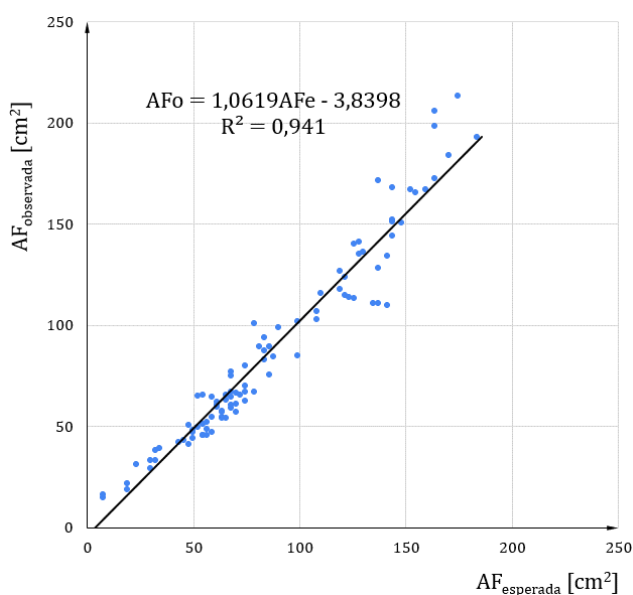


Figura 32: Validación del L vs. AF

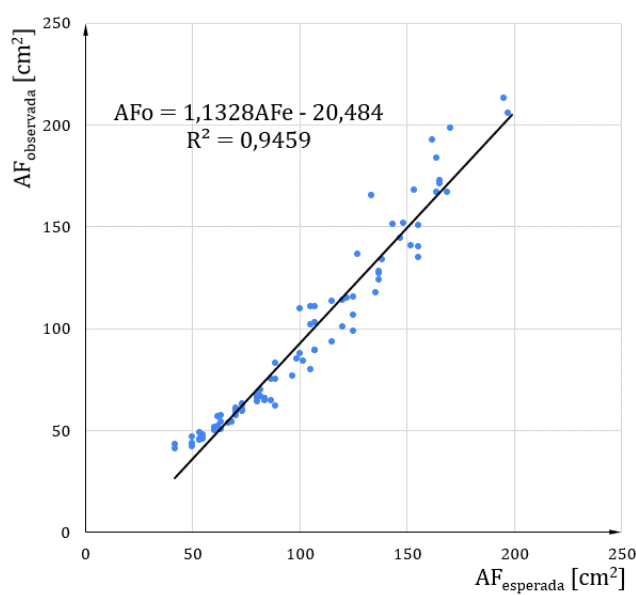


Figura 33: Validación del modelo W vs. AF

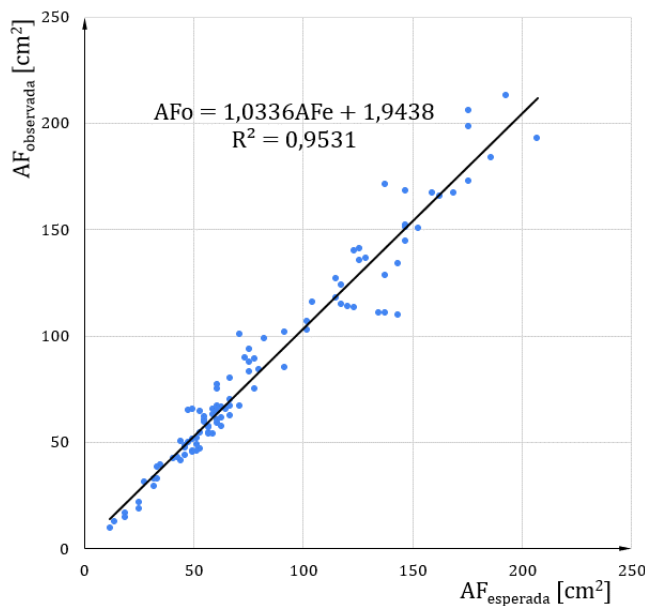


Figura 34: Validación del L² vs. AF

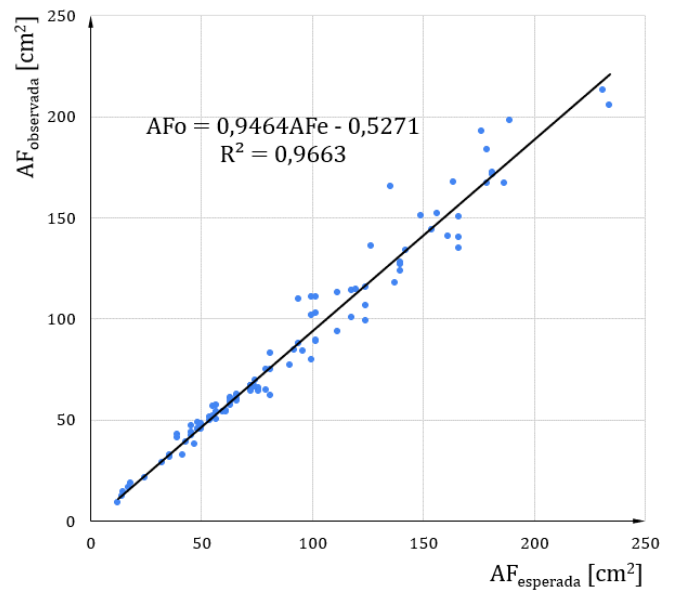


Figura 35: Validación del modelo W² vs. AF

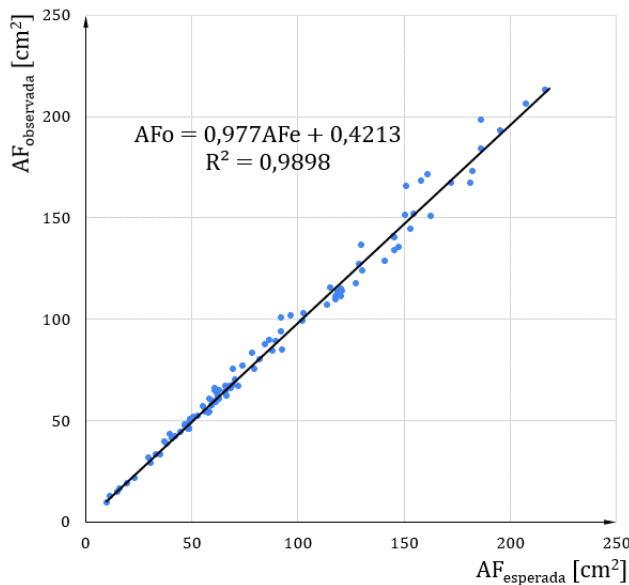


Figura 36: Validación del modelo LW vs. AF

Se corrobora con la validación que el modelo de regresión lineal que LW vs. AF es el más adecuado de los cinco ensayos, ya que presenta de forma combinada:

- El mayor coeficiente de determinación en el modelo de regresión lineal: $R^2=0,9772$.
- Un mayor coeficiente de determinación en la validación del modelo: $R^2=0,9898$.
- Una pendiente más próxima a 1 en la validación del modelo, de 0,977.
- Una menor media de las diferencias $|\overline{AF_o} - \overline{AF_e}|$, de 3,8cm².
- Y, por último, el menor error relativo medio, del 4,27%.

Utilizando estos criterios, se observa igualmente que los peores modelos son los que emplean una única medida lineal (L o W, en cm) como variable independiente.

Finalmente, para el método seleccionado según los juicios anteriormente expuestos, se estima el sesgo relativo mediante la media de las diferencias ($AF_o - AF_e$) y la desviación típica de estas. Se emplea el método gráfico de *Bland-Altman*. Este método permite comparar dos técnicas de medición sobre una misma variable cuantitativa;

- Una de ellas establecida como válida, en nuestro caso la medición directa con medios digitales (AF observada con Petiole, método destructivo).
- La otra es la que se pretende validar, en nuestro caso la ecuación: $AF = 1,2598 \cdot LW - 3,928$.

La distribución se considera normal si al menos el 97% de las diferencias se encuentran entre los *límites de aceptación* (Roughzel et al, 2010): $(\overline{AF_o} - \overline{AF_e}) \pm 3\sigma_d$. En efecto, como se aprecia en la Figura 37, solo 1 de los 100 puntos se encuentra fuera de la zona de aceptación establecida por el método de *Bland-Altman*, de manera que la ecuación de la recta de regresión puede usarse con una fiabilidad semejante al método de medición destructivo.

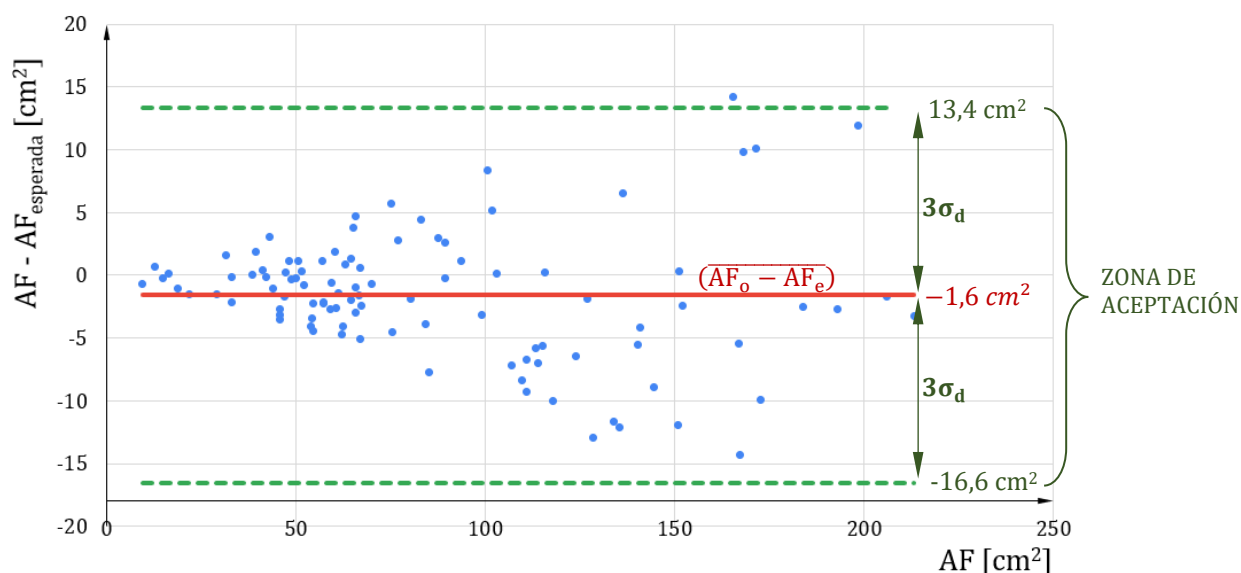


Figura 37. Método gráfico de Bland-Altman. Concordancia entre AF observada y AF calculada.

En el Anexo 2 se incluyen como material auxiliar algunas hojas de las empleadas en este proyecto, en las que se comparan sobre 4 ejemplos concretos las dos maneras distintas de medir el área foliar:

1. Área foliar medida con la aplicación Petiole.
2. Área foliar calculada con la fórmula: $AF = 1,2598 \cdot LW - 3,928$.

6. Conclusiones

Objetivo 1:

- A través de un método basado en un muestreo destructivo, se consiguió estimar el área foliar total de dos parcelas de cultivo de *Vitis vinifera* “Mencía” y obtener sus Índices de Área Foliar.
- Entre ambas parcelas se halla una gran diferencia en los IAF que responde a la observación de campo.

Objetivo 2:

- Las diferencias en los IAF observadas en el objetivo 1 no parecen tener una respuesta semejante cuando se comparan con los parámetros de maduración de las uvas.
- Sin embargo, sí parece haber una gran vinculación entre el IAF y la producción de uvas, de manera que, a mayor IAF se observa un mayor nivel producción, en una proporción muy semejante.

Objetivo 3:

- Se ha conseguido obtener un modelo de regresión lineal para estimar el área foliar de *Vitis vinifera* “Mencía” tomando como variable independiente el producto del largo y el ancho de la hoja. La expresión matemática hallada es: $AF = 1,2598 \cdot LW - 3,928$.
- La fiabilidad de la ecuación lineal propuesta ha sido validada desde diversos puntos de vista, resultando la mejor en todos los casos frente a los otros cuatro modelos planteados.

Referencias bibliográficas

- Amaral, CL. y Souza, MC. (2015). Non-destructive linear model for leaf area estimation in *Vernonia ferruginea* Less. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842015000100020
- Brondo, JL., González-Díaz, EP. & Fariñas-Álvarez, Juan F. (2004). Determinación de la superficie foliar de 16 variedades-población (tintas) de *Vitis vinifera* L. cultivadas en las Islas Canarias. <https://www.tenerife.es/Casa-vino/jornadas/pdf/PDF%20JORNADAS%20VI/12.pdf>
- Consejo Regulador de la Denominación de Origen Bierzo <http://www.crdobierzo.es/es/> [Consultada 12-01-2020]
- Disegna, E., Coniberti, A. & Dellacassa, E. (2005). Medición del área foliar de la vid: una herramienta para producir vinos de calidad *INIA*, nº4.
- Gil Martínez, C. (2017). Análisis gráfico de Bland-Altman.: https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/326677_ed20688ec0b14e39986fc4afe0144748.html, [Consultada 22-01-2020]
- Gutiérrez, A. y Lavín, A. (2000). Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva del área foliar en vides cv. chardonnay. *Agricultura Técnica v.60 n.1* <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000100007>
- Hidalgo Togores, J., Hidalgo Fernández-Cano, L. (2011). *Tratado de viticultura I Ed. Mundi-Prensa Libros 1033 páginas*
- Kliewer M W. & Dokoozlian N K. (2005) Leaf Area/Crop Weight Ratios of Grapevines: Influence on Fruit Composition and Wine Quality *American Society for Enology and Viticulture*
- Lasheras Ocaña, J., León Gutiérrez, J.M., Ramírez Pérez, P. (2016). Estimación del Área Foliar mediante un método directo no destructivo en vid. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Universidad de Córdoba. 1-29p.- (Producción Agraria)
- Moraga Fuentes, H.A., (2007) Efecto de la relación hoja/fruta sobre la productividad y composición de la fruta en vides c.v.s. carménère y sauvignon blanc. http://dspace.utalca.cl/retrieve/20935/moraga_fuentes_indice.pdf
- Rouphael, Y., Mouneimne, A.H., Ismail, A., Mendonza-De-Gyves, E., Rivera, C.M. & Colla, G. (2010). Modeling individual leaf area of rose *Rosa hybrida* L, vol. 48, no. 1, p. 9-15. <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-010-0003-x>.
- Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícola de Castilla y León <http://www.sigpac.jcyl.es/visH5-1905/> [Consultada 16-01-2020]
- Soria Noticias <http://sorianoticias.com/noticia/2019-02-25-el-potencial-vinos-castilla-leon-se-exhibe-madrid-55938> [Consultada 12-01-2020]

ANEXO 1: Tablas de valores medidos en las cepas de las muestras



Tabla 6: Valores de las cepas de las muestras de las Viñas San Martín y Hermógenes: número de sarmientos de la cepa (s), número de hojas principales de la cepa (h_p) y Área Foliar principal (AF_p), número de hojas de los nietos de la cepa (h_n) y Área Foliar de nietos (AF_n), Área Foliar del sarmiento (AF_s) y Área foliar de la cepa (AF_c).

Cepa	s	Hojas principales		Hojas de nietos		AF_s (cm ²)	AF_c (cm ²)
		h_p	AF_p (cm ²)	h_n	AF_n (cm ²)		
SM-1	9	18	1650,1	54	2151,2	3801,3	34211,4
SM-2	15	17	1605,3	53	2021,8	3627,1	54406,6
SM-3	9	18	1797,8	53	2290,9	4088,7	36798,7
SM-4	13	18	1204,5	23	696,4	1900,9	24712,1
SM-5	12	17	1925,3	24	722,9	2648,2	31778,2
SM-6	13	10	805,6	8	168,6	974,2	12664,6
SM-7	8	16	1956,6	34	1908,6	3865,2	30921,4
SM-8	7	10	793,0	13	465,8	1258,8	8811,9
SM-9	8	8	1076,1	19	1019,4	2095,5	16763,6
SM-10	6	11	963,7	9	352,3	1316,0	7896,0
SM-11	7	10	1087,5	10	389,5	1477,0	10339,0
SM-12	6	14	1005,8	15	390,8	1396,6	8379,6
SM-13	7	17	2652,0	72	3273,1	5925,1	41475,8
SM-14	8	7	1002,3	19	809,1	1811,4	14491,1
SM-15	10	13	1088,9	28	853,8	1942,7	19427,0
SM-16	8	7	561,4	13	488,0	1049,4	8395,2
SM-17	6	22	2213,7	45	1168,7	3382,4	20294,4
SM-18	6	7	855,1	15	896,1	1751,2	10507,4
SM-19	7	7	715,5	9	264,1	979,6	6857,2
SM-20	8	14	1762,3	23	581,1	2343,4	18747,2
SM-21	10	21	2190,7	21	875,3	3066,0	30660,1
SM-22	10	12	1108,6	33	1300,3	2408,9	24088,9
SM-23	9	18	1731,1	31	1587,0	3318,1	29862,9
SM-24	12	13	1504,8	41	1812,0	3316,8	39801,5
SM-25	10	24	2649,2	48	2174,4	4823,6	48235,5
SM-26	10	13	1782,4	46	1889,5	3671,9	36719,0
SM-27	8	35	2661,7	56	2216,5	4878,2	39025,6
SM-28	8	19	1620,9	21	927,7	2548,6	20389,1
SM-29	7	29	2409,7	62	2727,5	5137,2	35960,5
SM-30	9	12	1024,3	37	1429,6	2453,9	22085,1
H-1	9	18	1650,1	54	2151,2	3801,3	34211,4
H-2	15	17	1605,3	53	2021,8	3627,1	54406,6
H-3	9	18	1797,8	53	2290,9	4088,7	36798,7
H-4	13	18	1204,5	23	696,4	1900,9	24712,1
H-5	12	17	1925,3	24	722,9	2648,2	31778,2
H-6	13	10	805,6	8	168,6	974,2	12664,6
H-7	8	16	1956,6	34	1908,6	3865,2	30921,4
H-8	7	10	793,0	13	465,8	1258,8	8811,9
H-9	8	8	1076,1	19	1019,4	2095,5	16763,6
H-10	6	11	963,7	9	352,3	1316,0	7896,0
H-11	7	10	1087,5	10	389,5	1477,0	10339,0
H-12	6	14	1005,8	15	390,8	1396,6	8379,6
H-13	7	17	2652,0	72	3273,1	5925,1	41475,8
H-14	8	7	1002,3	19	809,1	1811,4	14491,1
H-15	10	13	1088,9	28	853,8	1942,7	19427,0
H-16	8	7	561,4	13	488,0	1049,4	8395,2
H-17	6	22	2213,7	45	1168,7	3382,4	20294,4
H-18	6	7	855,1	15	896,1	1751,2	10507,4
H-19	7	7	715,5	9	264,1	979,6	6857,2
H-20	8	14	1762,3	23	581,1	2343,4	18747,2

ANEXO 2: Herbario con mediciones de área foliar



ejemplo 1:



L	W		
9,8 cm	14,1 cm		
$AF_{esperada} = 1,2598 \cdot LW - 3,928 = 170,2 \text{ cm}^2$		$AF_{observada} = 171,9 \text{ cm}^2$	
Error absoluto = 1,7 cm² Error relativo = 0,99%			



ejemplo 2:



L	W		
7,1 cm	9,6 cm		
$AF_{esperada} = 1,2598 \cdot LW - 3,928 = 81,9 \text{ cm}^2$		$AF_{observada} = 80,6 \text{ cm}^2$	
Error absoluto = 1,3 cm ² Error relativo = 1,61%			


ejemplo 3:



L	W		
5,9 cm	8,7 cm		
AF _{esperada} =1,2598·LW-3,928 = 60,7 cm ²			
Error absoluto=0,5 cm ² Error relativo=0,82%			

ejemplo 4:



L	W	$AF_{observada}=27,2\text{ cm}^2$	
4,3 cm	5,7 cm		
$AF_{esperada}=1,2598\cdot LW-3,928=26,9\text{ cm}^2$			
Error absoluto=0,3 cm ² Error relativo=1,1%		