



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

VARIACIÓN NATURAL EN EL ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (SLA) DE OLIVO: EFECTOS GENÉTICOS Y AMBIENTALES.

Alumno: Lucas Javier Gómez Cañas

Febrero, 2020



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

VARIACIÓN NATURAL EN EL ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (SLA) DE OLIVO: EFECTOS GENÉTICOS Y AMBIENTALES.

Alumno: Lucas Javier Gómez Cañas

Firma:

Febrero, 2020

ÍNDICE:

1. RESUMEN.....	4
2. ABSTRACT.....	4
3. INTRODUCCIÓN.....	5
3.1 Rasgos funcionales en las plantas.....	5
3.2 Área foliar específica (SLA).....	6
3.3 El olivo.....	8
3.4 Clima Mediterráneo.....	9
4. OBJETIVOS.....	10
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
5.1 Toma de muestras.....	12
5.2 Medición del área foliar.....	12
5.3 Medición del peso seco.....	13
5.4 Cálculo del área foliar específica.....	13
5.5 Análisis de datos.....	14
6. RESULTADOS.....	14
7. DISCUSIÓN.....	22
8. CONCLUSIONES.....	23
9. BIBLIOGRAFÍA.....	24

1. RESUMEN

El área foliar específica o SLA es un rasgo funcional de las plantas que permite la realización de estimaciones del área foliar en función de su masa y caracterizar a las especies y ejemplares de plantas y su rendimiento en la productividad de los ecosistemas. Se determinó el área foliar específica en un número de hojas pertenecientes a distintos olivos que, a su vez, pertenecían a distintas fincas olivareras, y se relacionó con las diversas variables climáticas y geográficas a las que está sometida cada finca (temperatura y precipitaciones medias anuales, índice de aridez, latitud y altitud). Los resultados mostraron variación en el área foliar entre las distintas fincas y también entre plantas dentro de la misma finca, pero no se aprecia variación entre hojas dentro de una misma planta. Además, se aprecia una relación entre el SLA y la latitud. La relación del SLA con una componente geográfica sugiere que dicha variación puede ser en respuesta adaptativa o plástica a las condiciones locales inducida por la latitud, si bien no a las condiciones climáticas.

2. ABSTRACT

The specific leaf area or SLA is a functional feature of plants which allows us the perform of estimations in the leaf area depending on its bulk and characterize the species and plant specimens and their yield in the productivity of ecosystems. The specific leaf area was determined by a number of leaves belonging to different olive trees which, in turn, belonged at different olives farms, and related to the various climatic and geographical variables to which each farm is subject (annual average temperature and rainfall, index of aridity, latitude and altitude). The results showed the variation in the leaf area between the different farms and also between the plants in the same farm, in contrast there isn't variation between leaves in the same plant. In addition, it can be appreciated the relation between SLA and latitude. The relationship of the SLA with a geographical component suggests that such variation may be in adaptive or plastic response to local conditions induced by latitude, although not to climatic conditions

3. INTRODUCCIÓN

Existen multitud de hábitats y condiciones ambientales distintas en el planeta que son los principales factores que determinan la presencia de unos determinados organismos vivos u otros. Así, las plantas presentan adaptaciones que las hacen adecuarse a los distintos ecosistemas en los que se encuentran. Esas adaptaciones pueden ser de tipo morfológico, fisiológico o fenotípico y son a esas modificaciones a las que nos referimos como rasgos funcionales.

3.1 Rasgos funcionales en las plantas.

Los rasgos funcionales o rasgos vegetales son aquellos atributos fenológicos, morfológicos o fisiológicos propios de los organismos que determinan su eficacia biológica (o fitness) y, por tanto, su éxito bajo determinadas condiciones ambientales.

Las plantas tienen una serie de rasgos funcionales que les permiten crecer y reproducirse en determinadas condiciones ambientales, los cuales nos dan una visión de las distintas adaptaciones de las plantas a su entorno. La disponibilidad de recursos (luz, agua y nutrientes como principales limitantes de las plantas) es uno de los factores más importantes que determinan la aparición de distintas estrategias funcionales. Diversos autores han descrito dos estrategias opuestas: especies cuyos rasgos favorecen el uso conservativo de los recursos, y aquellas especies cuyas características le permiten un rápido crecimiento a corto plazo consumiendo rápidamente los recursos (Wright et al. 2001; Poorter et al. 2004; Lopez-Iglesias et al. 2014).

Un ejemplo de rasgo funcional sería que en plantas que se encuentran en zonas donde el agua escasea las hojas son capaces de no marchitarse y resistir a la escasez de agua evitando la desecación de ciertos órganos manteniendo así la actividad fotosintética bajo dichas condiciones. Esto, sin embargo, tiene como inconveniente que para la formación de este tipo de hojas son necesarios la inversión de más cantidad recursos siendo por tanto hojas

“caras” de generar, por lo que este tipo de hojas, en lugares donde las condiciones son más favorables para el desarrollo de la planta, y el agua no es un factor limitante, son menos rentables que otras hojas que requieren menos recursos en su elaboración ya que no tienen las propiedades que las hojas anteriores, por lo que son más “baratas” de generar y por tanto pueden resultar más provechosas.

Muchos de los rasgos funcionales de las plantas pueden ser cuantificados numéricamente, es decir, es posible asignar un valor a cada especie o planta individual, y con ello podemos estudiar las distintas variaciones a lo largo de gradientes ambientales e implantar modelos matemáticos con los que establecer una relación con las distintas características del ambiente en el que se encuentran las plantas.

Existen rasgos funcionales relacionados con características foliares como el área foliar específica o la superficie de hoja por unidad de masa (conocido como SLA, acrónimo en lengua inglesa), y rasgos funcionales relacionados con el transporte de agua en los tallos (e.g., debilidad al embolismo en el xilema). Estos caracteres están fuertemente relacionados con la aridez máxima a la que pueden vivir las distintas especies vegetales, lo cual es de relevancia, por ejemplo, en la región mediterránea de la que es originario el cultivo del olivo, en el que nos vamos a centrar.

3.2. Área foliar específica (SLA)

El área foliar específica (o SLA por sus siglas en inglés) es uno de los rasgos funcionales de las plantas que se corresponde con el área de una hoja fresca, medido en cm^2 , dividido por su peso seco, medido en gramos. El área foliar específica es definida como la relación entre área foliar de la hoja y su peso seco, es un índice de densidad y espesor de la hoja. Se considera que es uno de los principales rasgos que afecta al crecimiento de las plantas, ya que favorece cambios en la relación de área foliar y el uso del nitrógeno y del carbono. El contenido de nitrógeno de las plantas sufre una disminución durante el crecimiento y presenta una alta correlación con la acumulación de

materia seca con respecto a otros parámetros, sea cual sea la etapa de crecimiento en la que se encuentre la planta o su edad de brote.

El SLA, por lo general, disminuye en función de la aridez y escasez de nutrientes (Fonseca et al., 2000; Wright et al., 2001; Niinemets et al., 2001) porque un SLA bajo está asociado con la resistencia a la sequía y también aumenta el tiempo de resistencia de los nutrientes (Poorter et al., 2009). De hecho, ha sido señalado recientemente como un rasgo funcional clave de las plantas para proporcionar una mayor resiliencia al cambio climático, en concreto al incremento de aridez que se predice en los distintos modelos y escenarios de cambio climático (Willis 2017).

Dentro de las especies también existe variabilidad en los valores de SLA, con una gran diferencia entre poblaciones a lo largo de gradientes ambientales. Este parámetro nos permite hacer estimaciones del área foliar de las plantas y caracteriza a las especies y su rendimiento en la productividad de los ecosistemas.

El SLA se utiliza comúnmente en análisis de crecimiento debido a que por lo común existe una correlación positiva con la tasa de crecimiento relativo. El SLA también tiene una relación de carácter positivo con el contenido de nitrógeno en las hojas y con la tasa fotosintética bajo situaciones de saturación de luz, además de una relación negativa con la longevidad de la hoja y con los compuestos secundarios carbonados que tienen importancia cuantitativa. Las especies vegetales que se desarrollan en ambientes pobres en recursos tienden a mostrar unos valores de SLA menores que aquellas especies vegetales que se encuentran en ambientes ricos en nutrientes de forma permanente o temporal. No obstante, es posible una considerable variabilidad entre las distintas especies que comparten el mismo ambiente.

El SLA puede variar en función de la intensidad lumínica o según la época del año. La intensidad de luz afecta a estos parámetros y así las plantas con mayor demanda de luz suelen presentar un área foliar específica más elevada, además de ver incrementado la concentración de nitrógeno en las hojas. En las

hojas puede producirse una pérdida temprana de tejido a la vez que aumenta su fragilidad y apetencia cuando presentan un elevado SLA; por el contrario, en hojas que presentan un SLA menor, y por tanto mayor densidad, tienden a tener una mayor lignificación con células de menor tamaño, con niveles bajos de humedad y poca concentración de nitrógeno. La disminución del SLA puede deberse a cambios en la estructura de la hoja, o también puede deberse a la acumulación de nutrientes o carbohidratos no estructurales en la hoja, esto se traduce en una falta de capacidad por parte de la hoja de transformar dichos nutrientes en compuestos destinados al crecimiento estructural.

3.4. El olivo

El olivo (*Olea europaea*) es un árbol perennifolio y esclerófilo perteneciente a la familia *Oleaceae* y que se encuentra ampliamente distribuidos por el Mediterráneo, donde el clima de la zona, el clima mediterráneo, hace que sea la zona óptima para su desarrollo. Es además original de esta región, pues deriva del acebuche (*Olea europea var sylvestris*, también conocida como *Olea europea, subsp. oleaster*), árbol propio de la región Mediterránea. Es un árbol longevo de aspecto retorcido y nudoso que presenta hojas opuestas, lanceoladas, alargadas y de color verde por la parte del haz y blanca en el envés. Sus flores son hermafroditas, en panículas axilares multifloras, con color blanco. Su fruto es una drupa succulenta muy oleosa, la aceituna, que presenta un aspecto ovoide o algo globoso, verde al principio pero que va adquiriendo tonos negros y morados en su plena madurez, que se alcanza en un periodo de medio año aproximadamente. La especie se encuentra muy extendida y cultivada como árbol frutal (variedad *europaea*). A pesar de los exhaustivos trabajos de investigación realizados sobre la estructura genética de la aceituna salvaje, se sabe muy poco sobre las características funcionales de la planta. Las modificaciones fenotípicas de la respuesta a la luz de *O. europea* silvestre (o acebuche) supone la aparición de dos tipos de hojas en la copa, unas hojas más expuestas localizadas por la zona exterior del árbol (fenotipo de sol) y otras situadas en la zona interior (fenotipo de sombra). Las hojas con fenotipo de sol se caracterizan por ser hojas más verticales y alargadas, con menor área foliar específica y con más mecanismos que permiten la disipación de la

energía lumínica: alta concentración relativa de pigmentos del ciclo de las xantofilas y de β -carotenos y alta producción de clorofila a frente a la clorofila b. En olivos salvajes, existe una diferencia poblacional debida tanto al fenotipo de sombra como al fenotipo de sol, cambiando estos de forma simultánea según la zona (Rubio de Casas 2006).

La plasticidad fenotípica, que es la propiedad que tiene un genotipo de expresar o mostrar fenotipos alternativos en respuesta a diferentes condiciones ambientales, tiene una gran importancia ecológica. Es posible que las hojas de sol de *O. europaea*, al estar más verticales, permitan a la planta captar luz solar durante las primeras horas del día y durante los meses de invierno, mientras que las hojas de sombra, al ser más horizontales, maximicen la intercepción de la radiación solar en las horas centrales del día y durante el verano. (Rubio de Casas 2006).

3.3. Clima mediterráneo

El clima mediterráneo es un tipo de clima templado, cuyo nombre proviene de la zona en la que se encuentra de forma típica este clima y donde presenta mayor extensión geográfica, en las proximidades del mar Mediterráneo, aunque este tipo de clima también está presente en otras zonas del planeta, pero con variaciones en cuanto a la distribución de las temperaturas.

El clima mediterráneo se caracteriza por veranos secos y calurosos o templados, inviernos templados y lluviosos, con otoños y primaveras variable, tanto en temperaturas como en precipitaciones.

Las lluvias no suelen ser muy abundantes, aunque hay zonas donde se sobrepasan los 1000 mm, pero la principal característica es que estas no se producen durante el verano presentando, por tanto, una distribución inversa a las de la zona intertropical. Esta característica del clima mediterráneo hace que en estas zonas exista un importante estrés hídrico durante el verano.

Las temperaturas en promedio se mantienen por encima de 20° C a lo largo del año, pero presentan una variación estacional, con meses fríos, por debajo de los 18° C, y otros cálidos que en el mediterráneo típico sobrepasan los 22° C

4. OBJETIVOS

Con este estudio se pretende determinar cómo las distintas condiciones ambientales a las que se encuentran sometidas las plantas de olivo, como son la temperatura, precipitaciones, índice de aridez, latitud, longitud y altitud, así como la variedad genética(variedades cultivares), afectan al valor del área foliar específica (SLA) en distintas explotaciones de olivar distribuidas por Andalucía. Esto permite concluir si la variación de (por ej. en la tabla 1) SLA en hojas de olivo cultivado tiene una base adaptativa al medio.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Para este estudio se seleccionaron 13 fincas de olivar de distintos lugares de Andalucía, de las cuales se eligieron 30 olivos para la toma de muestras y la posterior realización del estudio. De cada finca se tomaron datos tales como la localización geográfica (latitud y longitud), la altitud media de la finca, las precipitaciones medias anuales de 2018 en litros, las temperaturas medias anuales de 2018 en grados centígrados y el índice de aridez de la finca calculado mediante la fórmula $IA=P/(T+10)$ (índice de aridez de Martonne), donde P es la precipitación media anual expresada en litros y T la temperatura media anual en grados centígrados.

Tabla 1. Localización de las fincas, coordenadas, temperaturas (T) y precipitaciones medias (PP) e índice de aridez (IA).

FINCA	MUNICIPIO	Longitud	Latitud	Altitud	IA	PP(l)	T(°C)
Piedras Cucas	Torredonjimeno, Jaén	4° 5' 49.5956'' W	37° 46' 3.1222'' N	456	12.89	47.42	16.4
La Tosquilla	Nueva Carteya, Córdoba	4° 25' 9.9393'' W	37° 33' 40.0069'' N	594	13.02	50.42	16.7
Monva	Mancha Real, Jaén	3° 36' 13.3037'' W	37° 51' 50.3055'' N	500	12.89	45.08	15.6
Quinta Linares	Linares, Jaén	3° 39' 8.1481'' W	38° 6' 33.1976'' N	419	12.29	39.08	17.0
La Casona	Pegalajar, Jaén	3° 37' 21.3534'' W	37° 45' 4.5228'' N	992	13.02	46.17	15.3
La Olivilla	Quesada, Jaén	3° 13' 26.8932'' W	37° 54' 38.3008'' N	360	12.56	39.42	15.4
Casilla Aranda	Sevilla	4° 31' 2.3882'' W	37° 37' 45.9061'' N	345	12.58	48	18.6
Benzalá	Torredonjimeno, Jaén	4° 01' 52'' W	37° 50' 17'' N	354	12.89	47.42	16.4
Torres de Albanchez	Torres de Albanchez, Jaén	2° 39' 9.1851'' W	38° 23' 54.5999'' N	675	12.50	36	14.4
Olivar de la luna	Pozoblanco, Córdoba	4° 45' 3.0716'' W	38° 10' 30.0366'' N	551	13.18	51	15.1
El Tobazo	Alcaudete, Jaén	4° 1' 44.1355'' W	37° 33' 14.5703'' N	602	13.03	47.83	15.8
Finca la Torre	Antequera, Málaga	4° 41' 56.5772'' W	37° 1' 4.9006'' N	420	13.22	51.58	16.0
Moraleda	Ácula, Granada	3° 58' 38.778'' W	37° 11' 4.2958'' N	568	11.01	41.97	14.5

5.1 Toma de muestras.

En primer lugar, se procedió a la selección y recolección de las hojas de olivo de alrededor de 30 olivos distintos de cada una de las fincas elegidas para el estudio. Se evitaron hojas con signos de ataque de herbívoros o patógenos, o con una cobertura importante de líquenes, musgos, etc. El área foliar específica está fuertemente afectada por la intensidad de luz. Por lo tanto, es mejor muestrear hojas en la parte externa de la copa (también llamadas hojas “asoleadas”) de plantas creciendo bajo las mejores condiciones posibles. Los olivos se escogieron de forma aleatoria para aumentar la variabilidad. De cada árbol se cortaban un número de ramitas pequeñas de diferentes partes del mismo, las cuales contenían una buena cantidad de hojas de todos los tamaños. Las ramas cortadas se guardaban en sobres rotulados con el código correspondiente a cada árbol y con el nombre de la finca a la que pertenecía. Estos sobres posteriormente se congelaron para mantener las hojas en buen estado hasta que se procediera con la medición de su área.

5.2 Medición del área foliar

Los sobres que contienen las ramas de olivo se descongelaron y se procedió a la medición del área foliar de cada hoja. Cada hoja (incluyendo o excluyendo el pecíolo) se separó del tallo y se secó cuidadosamente antes de la medición. El área proyectada (como en una fotografía) se midió con un medidor especializados de área LI-COR Q3 (Lincoln, Nebraska, USA). Se tomaron alrededor de 18 hojas de cada uno de los sobres, en algunos casos se tuvo que seleccionar un número menor de hojas debido a que habían sufrido algún tipo de daño como cortes durante la recolección. Además, cada hoja era numerada para poder tomar los datos pertinentes con el menor número de errores, y siempre se corroboró que la hoja está en posición completamente plana y dentro del área de escaneo. En total se midieron 6591 hojas mediante un aparato de medición laser de área foliar, proceso que se llevó a cabo en el laboratorio de la siguiente manera:

Se seleccionaba un sobre de una finca determinada y se numeraban todas las hojas que contenía. A continuación, se tomaba una de ellas y se introducía entre dos láminas de plástico transparentes, las cuales estaban grapadas por un extremo para evitar que se moviese la hoja entre ellas, y se pasaba por debajo del medidor laser del aparato, el cual daba una medida exacta del área foliar de la hoja en cuestión. Dicho proceso se repetía con el resto de las hojas del sobre, anotando sus áreas correspondientes tras cada medición hasta completar el total de muestras recolectadas.

5.3 Medición del peso seco

Tras el proceso de medición del área foliar de las hojas, estas se volvieron a guardar en sus sobres y se introdujeron en la estufa de circulación de aire forzado a una temperatura de 65°C durante 48 horas, período durante el cual las hojas perdieron la totalidad de su contenido en agua y se secaron. Una vez todas las hojas del sobre estuvieron secas, se procedió al pesado de las hojas en la balanza digital, tomando los sobres de la estufa de uno en uno. Este proceso ha de realizarse lo más rápidamente posible para que las hojas no adquieran agua debido a la humedad del ambiente. Cuando se concluyó el pesado de cada sobre, se procedió al desechado de las hojas.

5.4 Cálculo del área foliar específica

El área foliar específica (SLA) corresponde con el área de una hoja fresca (AF) dividido por su peso seco (PS), por tanto, la toma de datos anterior tiene como finalidad el cálculo de este rasgo que, una vez obtenido mediante dicho cálculo, servirá para un análisis estadístico donde se calculan las medias y varianzas de los datos de SLA de cada finca.

$$SLA = AF/PS$$

5.5 Análisis de datos.

Para determinar la variación entre fincas y plantas dentro de finca, se realizaron ANOVAs. Y para analizar la contribución relativa de cada factor se realizó un análisis de descomposición de la varianza mediante el Software estadístico R. Para analizar la relación entre valores climáticos, ambientales y el valor medio de SLA se realizaron análisis de correlación de Pearson para comprobar si existe una relación entre la variación en SLA a nivel de finca y las variables geográficas y ambientales medidas (precipitaciones, temperaturas, índice de aridez, latitud, longitud y latitud)

6. RESULTADOS.

En la Tabla 2 se muestran agrupadas las medias obtenidas durante el cálculo de SLA de cada una de las fincas estudiadas.

Como podemos observar existe gran variación de SLA entre las diferentes fincas que varía entre el valor medio de 61 y 34, siendo valor máximo el caso de Benzalá, y valor medio mínimo el de El Tobazo.

Tabla 2. Resultados SLA, número de hojas por finca y desviaciones típica y estándar.

FINCA	N	MEDIA SLA	SD	SE
BENZALÁ	537	60,881724	13,85997	0,846047
TORRE ALABANCHEZ	522	54,921161	21,91269	1,355499
OLIVAR LUNA	470	53,143118	15,13677	1,03533
QUINTA LINARES	578	46,637031	6,152675	1,074398

MONVA	618	43,843105	11,01774	0,603189
MORALEDA	547	42,445641	7,786893	0,403245
LA OLIVILLA	358	41,606481	8,383796	0,54012
LA CASONA	425	41,523814	6,616462	0,40151
TOQUILLA	577	41,361083	8,313748	0,530065
PIEDRAS CUCAS	650	39,095748	5,636043	0,364278
CASILLA ARANDA	473	39,079342	6,254721	0,349636
LA TORRE	540	38,67746	6,646454	0,431636
TOBAZO	499	35,583876	8,58239	0,547017

Se puede apreciar en la tabla anterior el número de hojas de las plantas de olivo medidas en cada finca (N). Además, está presente de la desviación típica y la desviación estándar de cada finca. La columna de Media SLA corresponde con la media del área foliar específica de cada finca. Los datos han sido ordenadas según el valor medio de SLA de cada finca, siendo el orden de mayor a menor según su área foliar específica.

En la figura 1 se muestra un histograma de frecuencias de la variación en SLA. Podemos observar los rangos de valores donde el grueso de las hojas muestreadas se localiza entre los valores 30 y 50, alrededor de 5000 hojas. Por debajo del valor 30 y próximo a 0 el número de hojas es muy bajo, apenas 500 de las muestras. El rango de valores máximo que va por encima de 50 y próximo a 180 de índice de SLA presenta un número de hojas que ronda las 1500, son las hojas con un SLA mayor. La media de SLA presente es de 44,5 con una mediana de 41,74 y un coeficiente de variación de 29,39%

Figura 1. Variación en SLA en el conjunto de las muestras tomadas.

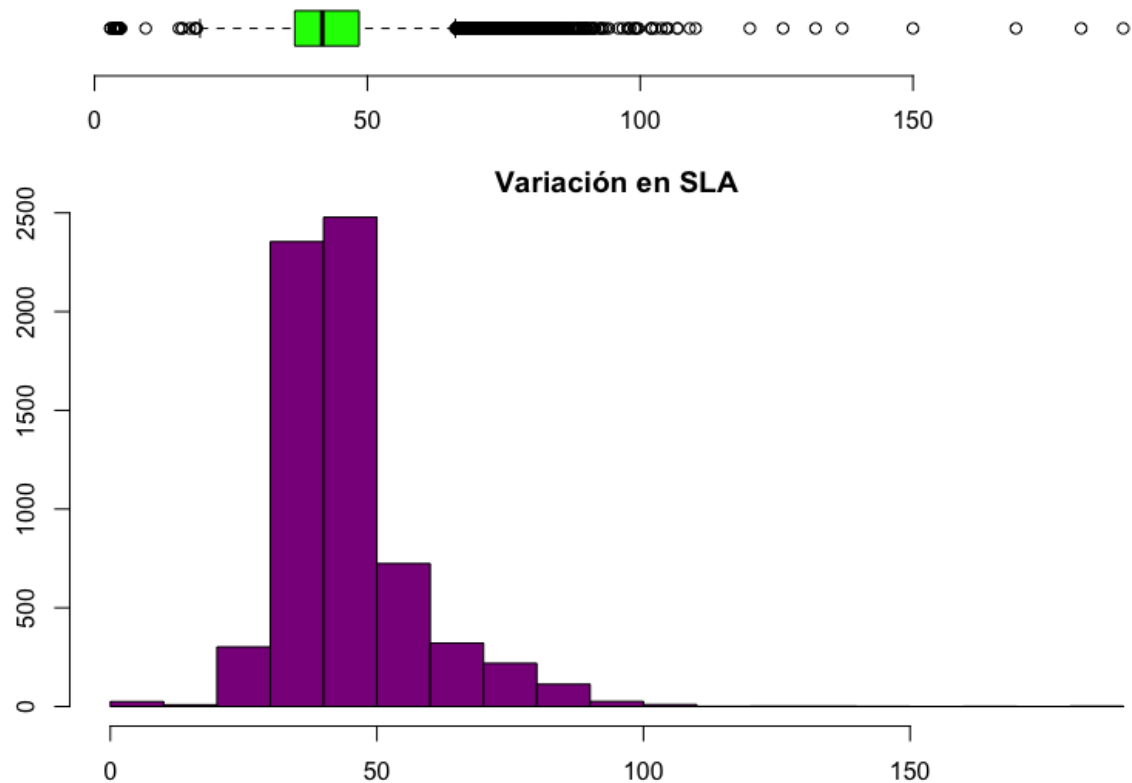
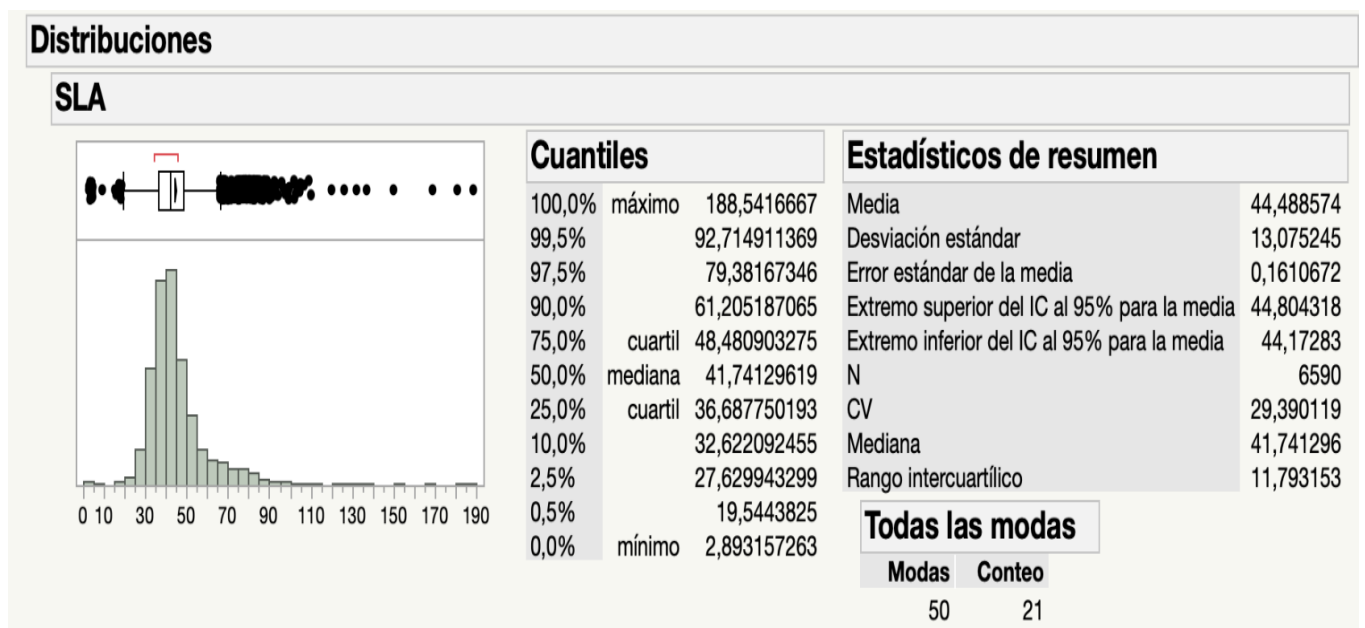


Figura 2. Se resumen otros estadísticos para la variación en SLA en nuestras muestras.

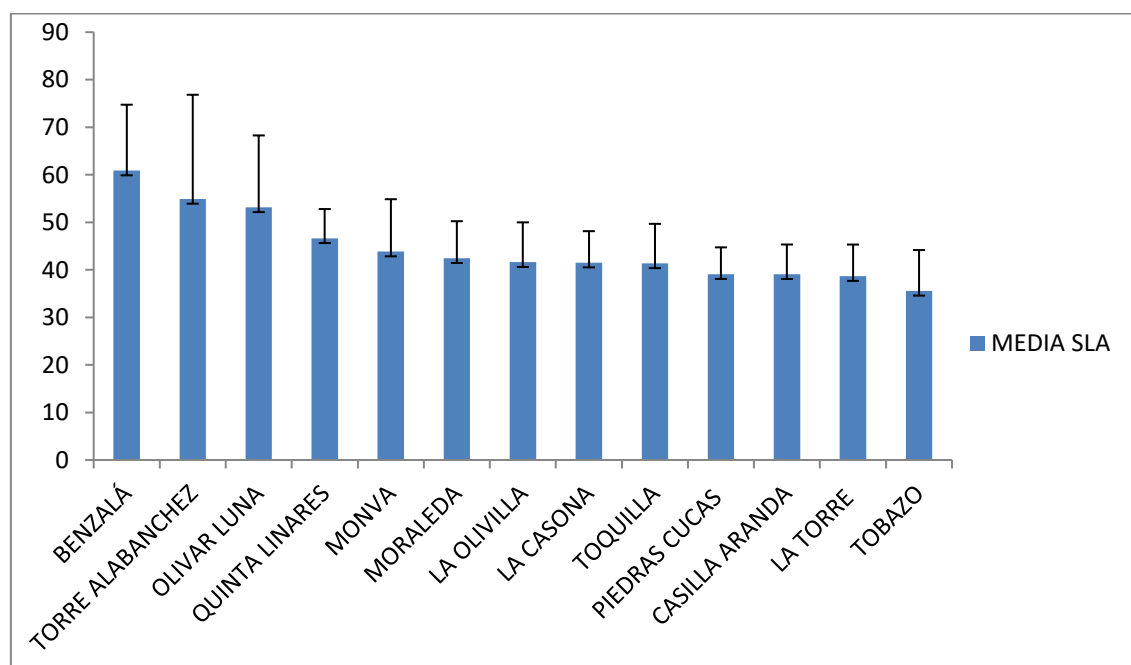


En la figura dos podemos ver además del diagrama de barras, un diagrama de bigotes donde, el trayecto que realizan los bigotes del diagrama se encuentra la caja limitada por los cuartiles uno y tres que corresponden con el mayor valor superior al 25% de los valores de la distribución y valor superior al 75 % de los valores de la distribución, respectivamente. La línea central de la caja corresponde al cuartil 2, valor que pertenece a la media aritmética de todos los valores de cada. Es en el interior del diagrama de bigotes donde se localizan la mayoría de los valores, los datos que salgan de dicho diagrama se marcan individualmente con un punto.

En la Figura 3, se muestran los valores de SLA para las hojas de las distintas fincas estudiadas.

De entre todas las parcelas estudiadas podemos ver que la finca que más variación presenta es Torre de Alabanchez y la finca con menor variación es Piedras Cucas.

Figura 3. Variación en SLA entre las fincas de estudio



En la figura 3 corresponde con un gráfico de barras donde podemos apreciar la variación estándar de cada una de las fincas estudiadas ya que se muestran la media aritmética de cada una además de la desviación estándar de estas la

cual, nos indica el grado de dispersión que tienen los distintos valores de cada finca, donde una alta desviación significa que los datos están dispersos y no se aproximan tanto a su media aritmética mientras que una desviación baja nos indica que los datos están agrupados en torno a su media.

En las tablas que se detallan a continuación, se puede ver cómo varían los distintos parámetros medidos entre las diferentes fincas, entre plantas y entre hojas. En la primera tabla (Tabla 3) se puede ver que existe una variación entre el valor de SLA entre plantas dentro de una misma finca y también varía significativamente entre las distintas fincas, pero es poca la variación que existe entre hojas dentro de una misma planta.

En la tabla siguiente (Tabla 4) se puede ver cómo la variación en el peso seco de las hojas se produce entre fincas y no entre plantas dentro de una misma finca, tampoco hay variación significativa entre hojas dentro de una misma planta.

Con respecto a la variación del área foliar de las hojas ocurre igual que con el peso seco, existe variación entre las distintas fincas, pero no hay variación entre plantas dentro de una misma finca ni entre hojas dentro de una misma planta.

Tabla 3. Análisis de la partición de la varianza del área foliar específica

Área foliar específica			
Efecto aleatorio	Razón de varianza	Componente de varianza	Porcentaje del total
FINCA	0,5362194	57,264512	29,973
PLANTA [FINCA]	0,252792	26,996434	14,130
HOJA [FINCA, PLANTA]	-0,146022	-15,59415	0,000
Residuo		106,79305	55,897

Total		191,054	100,000
-------	--	---------	---------

Tabla 4. Análisis de la partición de la varianza del peso y del área foliar.

Peso			
Efecto aleatorio	Razón de varianza	Componente de varianza	Porcentaje del total
FINCA	0,0668472	0,000175	5,871
PLANTA[FINCA]	0,0718309	0,0001881	6,308
HOJA [FINCA, PLANTA]	-0,356653	-0,000934	0,000
Residuo		0,0026184	87,821
Total		0,0029815	100,000
Área			
Efecto aleatorio	Razón de varianza	Componente de varianza	Porcentaje del total
FINCA	0,1684592	0,2087878	12,815
PLANTA[FINCA]	0,1461286	0,1811113	11,116
HOJA [FINCA, PLANTA]	-0,221607	-0,274659	0,000
Residuo		1,2393963	76,069
Total		1,6292954	100,000

La tabla 5 muestra el resultado de un análisis de la varianza para el valor de área foliar específica de las diferentes fincas estudiadas y donde podemos observar que el SLA varía significativa entre fincas y también entre plantas dentro de la misma finca, pero no hay variación significativa entre hojas dentro de la misma planta.

Tabla 5. Análisis de varianza para verificar los efectos de finca, hoja y planta en la variación de SLA.

Efectos	Df	F	P
Finca	24	28.18	<0.0001
Efectos aleatorios		LRT	P
Hoja (Planta)	1	0.43	0.511
Planta (Finca)	1	947.59	<0.0001

Finalmente, se muestran los resultados de las correlaciones entre el SLA y el ambiente y los parámetros geográficos. Solo se encontró una asociación significativa entre la latitud y la variación en SLA. Para el resto de parámetros no se encontró una asociación significativa entre variables (Tabla 6).

En estos datos se puede apreciar una asociación positiva entre el valor de área foliar específica y la latitud que nos indica que las hojas de olivo de las plantas situadas en fincas más al norte tienen mayores valores medios de SLA.

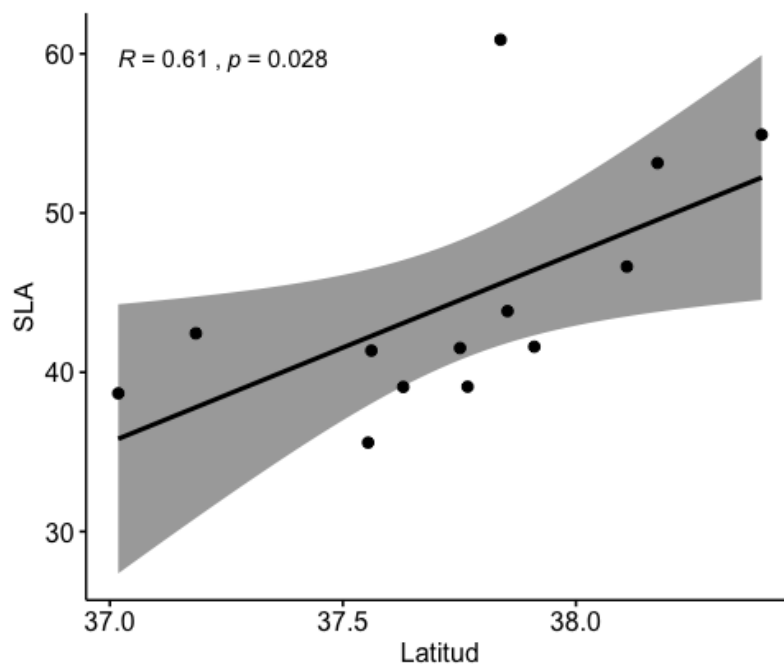
Con el índice de precipitación media (PP) existe una tendencia marginal pero poco concluyente. Sin embargo, no se ha podido detectar ninguna asociación con el resto de variables como son la temperatura (T), y el índice de aridez (IA), la longitud o la altitud.

Tabla 6. Resultados de coeficientes de correlación de Pearson entre variables ambientales, geográficas y SLA. En negrita valores significativos ($P < 0.05$).

	SLA
Longitud	0.357
Latitud	0.61
Altitud	-0.07
Aridez	-0.004
Precipitación	-0.24
Temperatura	-0.25

La figura 4 muestra un gráfico de dispersión en el cual se aprecia una tendencia ascendente del índice de SLA con respecto a la Latitud. Podemos ver las trece fincas estudiadas, reflejándose que, a mayor latitud, es decir cuánto más al norte esté situada la finca, mayor en el índice de área foliar específica que poseen los olivos.

Figura 4. Gráfico de dispersión.



7. DISCUSIÓN.

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos ver que existe gran variación de SLA entre las diferentes fincas que muestran valores medios comprendidos entre los 60 y 35 de índice de área foliar específica medio, una diferencia significativa. Este resultado se confirmó con los análisis de partición de la varianza, que señalo que fue la variación entre fincas la fuente que más contribuyó a la varianza interindividual en SLA. También podemos ver que los datos obtenidos de los análisis de la varianza realizados muestran la existencia de una variación entre los valores de SLA que presentan las plantas dentro de una misma finca, pero se aprecia poca variación entre hojas dentro de la misma planta. Con respecto al área foliar y al peso de las hojas la variación solo es significativa entre las diferentes fincas, no es destacada entre plantas de una misma finca ni entre hojas dentro de una misma planta.

Los análisis de correlación para estudiar la asociación entre el SLA con las precipitaciones y las temperaturas medias anuales, el índice de aridez, y la latitud y la altitud reflejan que, con respecto a la latitud, existe una relación positiva entre esta y el SLA, lo que significa que las fincas sitiadas más al norte tienen mayor SLA. Esta relación podría sugerir una señal adaptativa al ambiente mediada por el ser humano a través de la selección de variedades. En este caso, en esas fincas del norte predomina la variedad Picual, mientras que en las fincas del sur predominan otras variedades como la Hojiblanca o Arbequina, Verdial, Manzanilla, etc. Si esto se confirma, los resultados de este trabajo apuntarían que la variación en SLA responde en mayor medida a un efecto genético que está basado en la variación genética a nivel de variedad.

Entre plantas dentro de finca la variación en SLA también es significativa en este caso es más probable el escenario de plasticidad fenotípica ya que dentro de finca se tiende al cultivo monovarietal. En cualquier caso, más investigación donde se controle los efectos ambientales de las plantas es necesario para confirmar la hipótesis adaptativa.

Por el contrario, no se ha podido detectar ninguna asociación clara con el resto de variables, como es el caso de la temperatura o el índice de aridez. Se aprecia una relación poco concluyente con el SLA y las precipitaciones medias anuales. Es posible que no se haya podido obtener ninguna relación clara con el resto de variables debido a que los datos no son a nivel de parcela, ya que las precipitaciones o la temperatura se miden con relación al municipio en el que se encuentran, habiendo casos de fincas situadas en el mismo municipio, pero muy distantes entre ellas por el amplio término municipal que presentan.

También se da el caso de que las fincas son de gran extensión y presentan condiciones de suelo, altura, acceso al agua, etc. distintas para unos olivos u otros pudiendo influir esto también en el índice de área foliar específica de las plantas.

8. CONCLUSIONES

Podemos concluir que la variación de SLA de las plantas de olivo puede deberse a una adaptación al ambiente mediada por el ser humano. Esto podría suponer una causa de las variaciones de SLA ya que los análisis realizados no nos dan una prueba concluyente que sean las condiciones ambientales las que determinen la variación en SLA, salvo por la latitud que nos da una relación positiva entre esta y el aumento de SLA, pero lo más posible es que las diferencias observadas entre el SLA se deban a efectos genéticos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara JM, Rey PJ. 2003. Conflicting selection pressures on seed size: evolutionary ecology of fruit size in a bird-dispersed tree, *Olea europaea*.
- Angiolillo A, Mencuccini M, Baldoni L. 1999. Olive genetic diversity assessed using amplified polymorphic fragment length polymorphisms.
- Besnard G, Baradat P, Breton C, Khadari B, Bervillé A. 2001a. Olive domestication from structure of oleasters and cultivars using nuclear RAPDs and mitochondrial RFLPs. *Genetics Selection Evolution* 33: S251-S268.
- Brown, J.H., Stevens, G.C., Kaufman, D.M., 1996. The geographic range: size, shape, boundaries, and internal structure. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 27, 597–623.
- Costa-Saura, J.M., Martínez-Vilalta, J., Trabucco, A., Spano, D., Mereu, S., 2016. Specific leaf area and hydraulic traits explain niche segregation along an aridity gradient in Mediterranean woody species. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 21, 23–30. doi: 10.1016/j.ppees.2016.05.001
- Dubuis, A., Rossier, L., Pottier, J., Pellissier, L., Vittoz, P., Guisan, A., 2013. Predicting current and future spatial community patterns of plant functional traits. *Ecography* 36, 1158–1168.
- Dudley, S., 1996. Differing selection on plant physiological traits in response to Environmental water availability: a test of adaptive hypotheses. *Evolution* (N. Y.) 50, 92–102.
- Fajardo, A., Piper, F.I., 2011. Intraspecific trait variation and covariation in a Widespread tree species (*Nothofagus pumilio*) in southern Chile. *New Phytol.* 189, 259–271.
- Fonseca, C.R., Overton, J.M., Collins, B., Westoby, M., 2000. Shifts in trait-combinations along rainfall and phosphorus gradients. *J. Ecol.* 88, 964–977.

Laforest-Lapointe, I., Martínez-Vilalta, J., Retana, J., 2014. Intraspecific variability in functional traits matters: case study of Scots pine. *Oecologia* 175, 1337–1348.

Lopez-Iglesias B., Poorter L. and Villar R. (2014) Functional traits predict drought performance and distribution of Mediterranean woody species. *Acta Oecologica* 56: 10-18.

Maharjan, S.K., Poorter, L., Holmgren, M., Bongers, F., Wieringa, J.J., Hawthorne, W.D., 2011. Plant functional traits and the distribution of West African rain forest trees along the rainfall gradient. *Biotropica* 43, 552–561.

Martínez-Vilalta, J., Mencuccini, M., Vayreda, J., Retana, J., 2010. Interspecific variation in functional traits, not climatic differences among species ranges, determines demographic rates across 44 temperate and Mediterranean trees species. *J. Ecol.* 98, 1462–1475.

Pollock, L.J., Morris, W.K., Vesk, P.A., 2012. The role of functional traits in species distributions revealed through a hierarchical model. *Ecography* 35, 716–725.

Poorter L, van de Plassche M, Willems S and Boot RGA (2004). Leaf traits and herbivory rates of tropical tree species differing in successional status. *Plant Biology* 6: 746–754.

Rubio De Casas, R. (2006). Microevolución de esclerófilas mediterráneas: diferenciación fenotípica y genética en *Quercus coccifera* L. y *Olea europaea* L. Ingeniero agrónomo. Universidad politécnica de Madrid.

Warton, D.I., Wright, I.J., Falster, D.S., Westoby, M., 2006. Bivariate line-fitting methods for allometry. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 81, 259–291.

Willis, K.J. (ed.) 2017. State of the World's Plants 2017. Report.
Royal Botanic Gardens, Kew.

Wright I J and Westoby M (2003). Nutrient concentration, resorption and
lifespan: leaf traits of Australian sclerophyll species. *Func Ecol* 17: 10–19.