

INFORME DE PRÁCTICAS DE CAMPO ECOFISIOLOGÍA



Juan Carlos García Estupiñán

alu0101374932@ull.edu.es

4º Biología ULL

Asignatura: Aplicaciones de Fisiología Vegetal

Índice

Introducción: antecedentes y objetivos	1
Materiales y métodos	2
Resultados	5
Discusión de los resultados	25
Conclusión.....	27
Bibliografía	27

Introducción: antecedentes y objetivos

La ecofisiología es la parte de la fisiología que estudia las adaptaciones de los organismos al hábitat, explica la distribución de las especies vegetales por medio del conocimiento de su fisiología. En la asignatura de Fisiología Vegetal Aplicada de la ULL estudiamos en concreto la ecofisiología vegetal, es decir, la fisiología ambiental de las plantas. Esta ciencia permite responder a preguntas como, por qué aparecen unas determinadas especies y no otras, cómo se las arreglan para crecer con éxito en un ambiente en concreto, por qué algunas especies están ausentes en otros ambientes, etc.

La práctica se llevó a cabo el día 9 de diciembre de 2021, en una parcela del Parque Nacional del Teide, en la isla de Tenerife, lugar dominado por ecosistema de alta montaña, donde podemos encontrar especies como: Retama de cumbre, Rosalillo, Pino canario, Codeso y hierba pajonera.

En nuestro caso, el objetivo general fue estudiar las adaptaciones fisiológicas que ocurren en un ecosistema natural de dos especies endémicas de alta montaña de canarias, *Pinus canariensis* y *Pterocephalus lasiospermus*, conocidas comúnmente con los nombres de Pino canario y Rosalillo respectivamente. Para ello, se dividió la práctica en 6 experimentos diferentes, cada uno con uno o dos objetivos específicos:

1. Cambios a lo largo de la mañana en los parámetros de intercambio gaseoso en *Pinus canariensis*. Para este estudio, se estudió cómo variaban los cambios en los parámetros gaseosos en especímenes seleccionados del Pino canario en dicha parcela, a lo largo de la mañana en hojas de sol y sombra.

2. Estudio Biométrico de *Pinus Canariensis*. Este estudio tenía como objetivo estudiar las medidas biológicas, más conocidas como medidas biométricas, de los individuos de *Pinus canariensis* que se encontraban en la parcela de estudio. Las medidas biométricas de interés en ese entonces fueron, la circunferencia de la altura al pecho (CBH), para obtener posteriormente, gracias a esta, el diámetro a la altura al pecho (DBH), y por último se estimó la altura de los árboles.

3. Cambios en la eficiencia máxima y efecto térmico de la transpiración. Esta parte práctica se dividió, a su vez, en dos partes, la primera consistió en estudiar la tasa fotosintética máxima de dos especies de alta montaña, el Pino canario y el Rosalillo a lo largo de la mañana, para ello se midió la fluorescencia emitida de la clorofila (Fv/Fm), ya que es un parámetro que determina la eficiencia fotoquímica de las plantas ante diferentes condiciones ambientales, en nuestro caso la idea era comparar las plantas de sol y sombra. La segunda parte por otro lado, se estudió el efecto térmico cuando se somete a las hojas del Rosalillo a un estrés térmico, cuando evitamos que las hojas transpiraran correctamente tras añadirle vaselina, tanto en plantas al sol como en sombra.

4. Estudio Microclimático del Rosalillo. Para esta parte de la práctica nos interesaba estudiar si el Rosalillo, un arbusto endémico canario de la isla de Tenerife, que presenta una estructura particular en forma de caméfito, (es decir, forma una especie de “cojín”), le

proporciona a la planta la capacidad de formar un microclima que le permita amortiguar posibles cambios de temperaturas drásticos que se pueden dar en un ambiente como el de alta montaña, como por ejemplo un aumento de radiación solar repentino. Para ello el experimento estuvo dividido en dos partes, la primera, una toma de la radiación fotosintética máxima (PAR) a diferentes estratos de la planta, “Apical”, “Basal”, “Medio” y una segunda parte de similar procedimiento, pero tomando la temperatura en esos estratos.

5. Presencia de Pigmentos y polifenoles en plantas de alta montaña. Para esta parte de la práctica se tuvo interés en la presencia de ciertos pigmentos y polifenoles, de nuevo en las especies de Pino canario y Rosalillo, en concreto el pigmento que se midió fue la clorofila ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), el Índice del Balance del Nitrógeno (NBI), que se trata de un parámetro que combina la clorofila y los flavonoides, y es un indicador que determina el estado del N directamente correlacionado con el contenido másico de N, por otro lado, los polifenoles de las hojas que se estudiaron fueron los flavonoides y antocianinas. Para el Pino se estudió lo anterior para las hojas en tres estadios de vida distintos, hojas en fase “Adulta”, “Joven” y “Senescente”, mirando a ver si existían diferencias significativas, tanto en hojas de sol como de sombra, mientras que para el Rosalillo lo que se hizo fue estudiar estos pigmentos-polifenoles en el haz y envés de las hojas (también de sol y sombra).

6. Cambios en la eficiencia fotosintética del Pino Canario y el Rosalillo. En esta parte de la práctica, consistió en medir la eficiencia fotosintética in situ (lo cual denominamos YIELD, F_v'/F_m'), la tasa de transporte de electrones (ETR), cuyas unidades eran $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ de electrones, así como la radiación fotosintética activa PAR cuyas unidades se diferencian en $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ de fotones, y finalmente de la Temperatura de la hoja, Todo esto una vez más, tanto para las especies del Pino y Rosalillo, en hojas de sol y sombra.

Material y métodos

Procedimiento general:

- El material general que se usó en cada uno de los experimentos fue las hojas de anotaciones que se usarían anotar los resultados de cada experimento para su posterior análisis. También se usó cinta de carpintero para marcar los especímenes de Pino, y Rosalillo a estudiar, o ya estudiados.
- Se nos dividió a los alumnos en 6 grupos de 4-5 alumnos aproximadamente, para dividir la práctica en 6 experimentos distintos, donde los alumnos tuvimos que hacer en intervalos de 30 minutos cada uno de ellos, con lo que el desarrollo de la práctica terminaría una vez los 6 grupos hubiésemos terminado todos y cada uno de los experimentos, es decir, terminada una única ronda, lo que se resume en empezar a las ~10:00 y terminar a las ~13:00, (uno de los grupos vio más oportuno que la hora de inicio fuera a las 10:30, el grupo de intercambio gaseoso). Por esto mismo cabe resaltar que cuando se proceda al análisis de los resultados, este se hará de forma que, en una gráfica, cuando se represente una hora concreta, esta significa un

intervalo de 30 minutos, es decir, las 10:30 equivaldría de 10:30-11:00 de la mañana. Otra cosa importante, en este informe cuando se hable de réplicas en la metodología, se estará referenciando a las que tenía que hacer un grupo en concreto, no en conjunto.

1. Cambios a lo largo de la mañana en los parámetros de intercambio gaseoso en *Pinus canariensis*.

- Para este experimento se utilizó el aparato IRGA de tipo ADC.
- Los parámetros de interés para realizar los posteriores análisis fueron: la temperatura de la hoja (Tleaf), la asimilación de CO₂ para la realización de la fotosíntesis (A), la conductancia estomática (Gs), la transpiración (E) y la radiación (Q). El procedimiento consistió, primero, en la elección de tres ejemplares de Pino, seleccionando individuos con hojas de luz (luz saturante) y hojas de sombra (luz estable), tres réplicas por cada tipo de hoja. Para el uso del IRGA, y que hiciera una medición correcta, había que coger varias acículas para que ocuparan bien en el medidor del aparato.

2. Estudio Biométrico de *Pinus Canariensis*.

- Como materiales fueron usados un metro y la aplicación móvil Tree Meter Measurement.
- En cuanto al procedimiento consistió primero medir, desde la base del árbol, la altura del pecho (1.5 m) y se midió a partir de esta medida la circunferencia, sacando el CBH, del que se estimó el DBH a partir de la fórmula $c = 2\pi r$, donde la circunferencia era el CBH y el DBH era igual a $2r$. Para la estimación de la altura consistió en colocarse a unos 20 m del árbol, que se quería estudiar, mediante el uso del metro, el cual tenía suficiente capacidad, y la altura a partir de la aplicación móvil dicha, permitía estimar la altura a partir de tres medidas, la de la copa, la de la altura al pecho y la de la base.

3. Cambios en la eficiencia máxima y efecto térmico de la transpiración.

- Para ello los materiales a usar fueron: en la primera parte, un fluorímetro de luz modulada de la marca Handy Pea y pinzas para acostumbrar las hojas a oscuridad. En la segunda parte fue necesario, vaselina, y para medir la temperatura se usó un termómetro de infrarrojos.
- El procedimiento para la primera práctica fue el siguiente: primero con las pinzas se acostumbraron a las hojas a máxima oscuridad, para calcular la Fv/Fm máxima, el funcionamiento era sencillo, se cogían las acículas, en Pino, las suficientes para que se generara sombra y no pasara luz, y en caso del Rosalillo, cualquier hoja, una vez colocadas las pinzas se corría la lámina para producir sombra, posteriormente, pasados unos 20 minutos era tomada la medida de la Fv/Fm, colocando al fluorímetro en la pinza y corriendo la lámina que hacía sombra. Todo esto se hizo para hojas de Pino a la luz y la sombra y hojas de Rosalillo a luz y sombra igual, en 12 réplicas en total, 3 réplicas de cada. Para la segunda parte, sólo se experimentó en las hojas de

Rosalillo, se tomaron unas plantas de Rosalillo con hojas a la luz y otras a la sombra, las cuáles fueron marcadas, y se procedió a tapar a algunas de las hojas con la vaselina en ambas muestras, con lo que sólo quedaba medir la temperatura en las hojas sin marcar con vaselina y las que tenían, a partir del termómetro de infrarrojos.

4. Estudio Microclimático del Rosalillo.

- Los materiales para este experimento fueron: por un lado, para medir radiación solar se usó un sensor de radiación, y para la temperatura se usó un termopar, que tomaba medidas a partir de un cable, con su extremo al descubierto.
- El Procedimiento fue muy similar en ambos. Primero que nada, se seleccionaron 3 plantas de Rosalillo distintas, las cuáles fueron marcadas, se aseguró que todas permanecieran en contacto con la radiación solar durante toda la mañana, y se dividió la planta en tres estratos, “Apical”, “Basal” y “Medio”. Para tomar las medidas de radiación lo que se hizo fue utilizar el sensor de radiación para tomar 3 réplicas de cada estrato, a la vez que de cada planta, para su uso, bastaba con pulsar un botón para que te diera la medida en la que se encontraba expuesto en ese momento. Para la temperatura lo que se hizo entonces fue escoger tres hojas de la planta, por cada estrato, de las cuáles se midió la temperatura colocando la punta del cable del termopar en la hoja, esperando unos 3 segundos aproximadamente para que diera la aproximación más exacta.

5. Presencia de Pigmentos y polifenoles en plantas de alta montaña.

- Se usó únicamente el aparato Dualex Force A.
- El procedimiento para el estudio de pigmentos (clorofila y de esta en NBI) y polifenoles (flavonoides y antocianinas) en las hojas de Pino consistió en seleccionar hojas según su estadio de vida (“Adultas”, “Jóvenes”, “Senescentes”), para la medición con el Dualex Force A en este caso había que coger suficientes acículas para que no entrara luz externa en el medidor del aparato, si la medida estaba mal tomada, sonaba tres pitidos, si la medición se realizó correctamente, el aparato emitía un sólo pitido. Para el estudio del Rosalillo la medida era de forma técnica más sencilla, ya que bastaba con poner el haz o envés en la zona de medida. Mínimo se tuvieron que hacer 3 réplicas para distintas hojas de sol y sombra de cada especie.

6. Cambios en la eficiencia fotosintética del Pino Canario y el Rosalillo

- Como material en esta parte usamos el MiniPam Fluorimeter.
- El procedimiento fue primero, seleccionar los especímenes de estudio, y hacer tres réplicas, tanto para las hojas de sol como de sombra, para ambas especies. Para usar el MiniPam, no se podía de tomar las medidas de cualquier manera, había que intentar ajustarse a la radiación fotosintética activa de la primera medida, es decir, si en una hoja de sol en la primera medida el PAR era 1200, se tenía que intentar ajustar a este en el resto, lo mismo con las de sombra. Para tomar las medidas de Pino había que tomar nuevamente unas acículas y juntarlas para que el aparato tomara la medida

correcta, para la hoja Rosalillo su estructura foliar, hacía este procedimiento más sencillo.

Resultados

1. Cambios a lo largo de la mañana en los parámetros de intercambio gaseoso en *Pinus canariensis*.

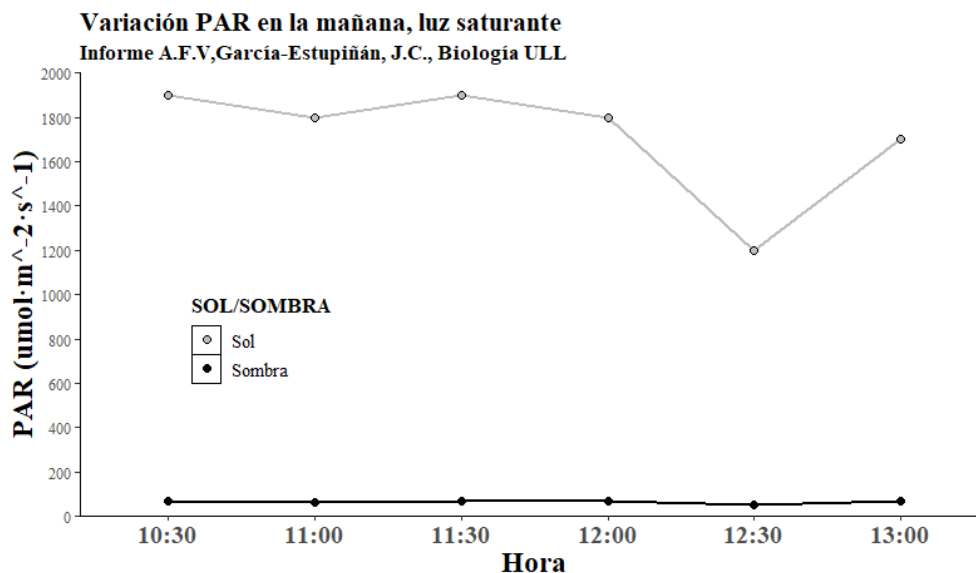


Figura 1. Gráfico que muestra la radiación activa en $\text{umol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ de fotones que le llega al Pino durante toda la mañana, en hojas de sol y sombra.

Podemos ver la variación PAR (Figura 1) en plantas expuestas al sol y a la sombra, como cabía esperar, el valor va a ser más elevado en aquellas plantas expuestas a la luz que las que están a la sombra. En cuanto a las de sombra, se observa un valor constante que no pasa de los $100 \text{ umol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ de fotones. Por otro lado, vemos que el valor de PAR también se mantiene constante, sin embargo, se atisba un valor inusual a las 12:30 de la mañana, donde disminuye drásticamente, cosa extraña, sería normal si en algún momento se hubiera nublado, pero por lo general permaneció soleado durante toda la mañana.

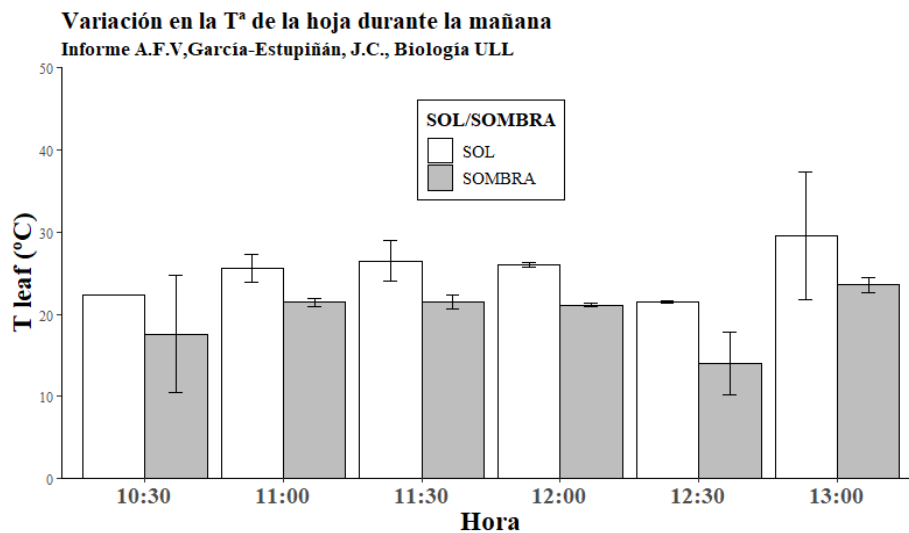


Figura 2. Gráfico que muestra la Tª de las hojas de sol y sombra durante la mañana.

Como era de esperar, aquellas hojas que han sido expuestas a la luz del sol presentan una temperatura mayor que aquellas que se encuentran a la sombra (Figura 2), aunque si es verdad que los datos de la primera hora (10:30) pueden no reflejar la realidad, debido a que no hay dispersión, ya que sólo hay un valor y el valor puede estar inflado, y la barra de error de las plantas en la oscuridad a esa hora muestra de que algunas superan ese valor, lo cual no es descabellado ya que a esa hora la intensidad de luz no es máxima, cabría esperar que la diferencia se haga más grande pasando las horas. Sin embargo, parece ser que los valores se mantienen constantes desde las 11:00 y hay una reducción a las 12:30, para aumentar más que nunca a las 13:00 horas.

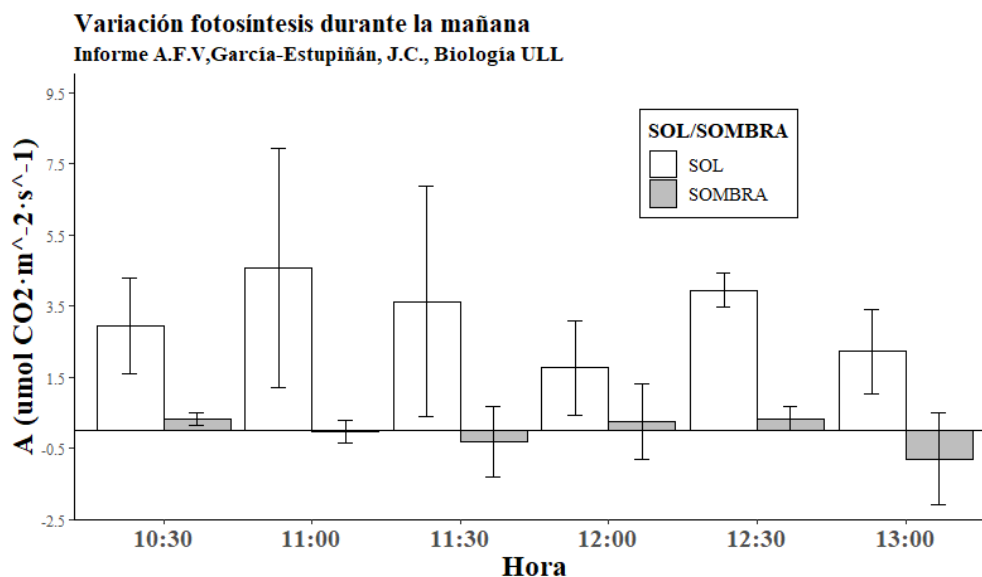


Figura 3. Gráfico que muestra la asimilación del CO₂ en umol · m⁻² · s⁻¹ en las hojas del Pino durante la mañana.

Como era obvio, las plantas a las que les da la luz solar durante la mañana van a presentar una mayor asimilación de CO₂, y por ello, una tasa fotosintética muy notable frente a las de

sombra (Figura 3). Curiosamente las plantas expuestas al sol presentan una asimilación del CO₂ mayor a relativamente horas tempranas de la mañana frente a las horas más tardías, cuando se esperaría que, a mayor paso de la mañana, más radiación solar ocurre, y más CO₂ se capte para realizar la fotosíntesis. En cuanto a las hojas de sombra en ocasiones no se encuentran realizando la fotosíntesis, si no la respiración, con lo que la tasa de captación de CO₂ es negativa, no se está realizando la fotosíntesis, con lo que se cambia el metabolismo energético.

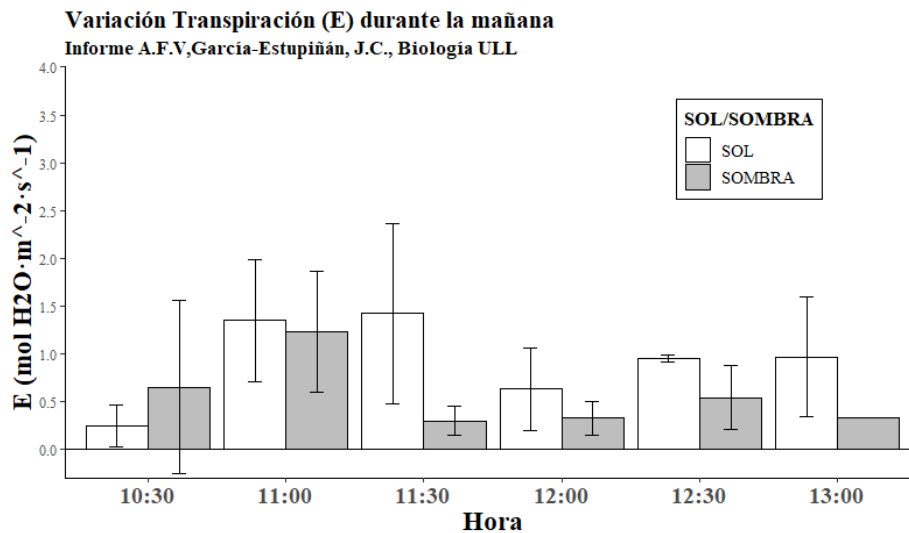


Figura 4. Gráfico que muestra la transpiración (E) en mol·m⁻²·s⁻¹ de agua durante la mañana, tomado con el IRGA

Como se puede observar (Figura 4), la tasa de transpiración en las plantas durante la mañana, por lo general, es mayor en aquellas expuestas a la luz, que como vimos en los resultados de la temperatura, se ven más afectadas en este aspecto, con lo que es normal que pierdan más agua. Sin embargo, se puede ver que el valor a las 10:30 es mayor en las plantas de sombra, aunque se puede observar una alta dispersión, sin embargo, debido a no se encuentran en esa hora de la mañana a una radiación máxima, puede que no sea un valor tan extraño.

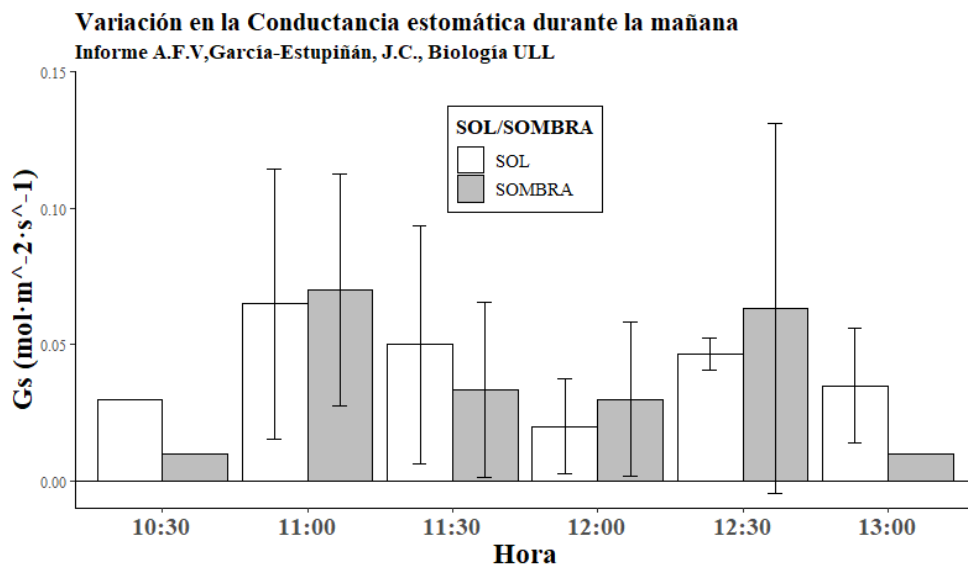


Figura 5. Gráfico que muestra la conductancia estomática de la hoja de moles·m²·s⁻¹ de agua durante la mañana, tomados con el IRGA.

En cuanto a la conductancia (Figura 5), no se puede seguir un patrón claro, parece haber más conductancia a las 11:00 y las 12:30, pero la dispersión es demasiado grande. Hay además valores atípicos, cabría esperar que la Gs, que mide los moles de agua por metro cuadrado y segundos que se pierden en la transpiración, debería ser mayor en las hojas de sol que en hojas de sombra, cosa que no se ve, hay horas en las que el promedio es mayor en las hojas de sombra, como la de las horas 11:00 (en este no parece que existan diferencias significativas en los promedios) y 12:00, 12:30.

2. Estudio Biométrico de *Pinus Canariensis*

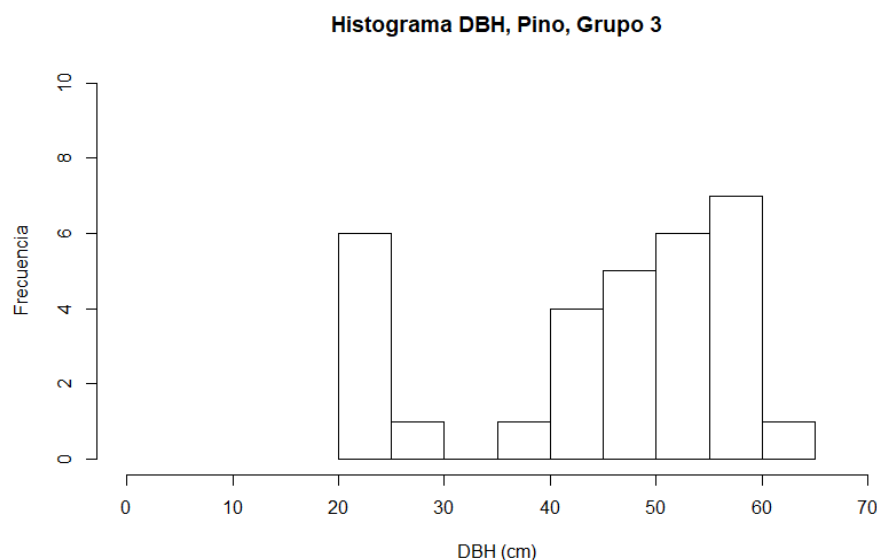


Figura 6. Histograma que divide los valores de DBH en intervalos de 5, en el eje x y la frecuencia de los individuos en la coordenada en el origen

En este histograma (Figura 6), podemos separar a los individuos según su DBH, en clases diamétricas de 5 a 5 cm, y ver cuáles se encuentran en mayor frecuencia. Hay un mayor

número de individuos con DBH que van de los 40 a 60 cm, sin embargo, podemos ver que también que existen una gran frecuencia de individuos con DBH entre los 20 y 25 cm. Podemos ver que no hay ejemplares juveniles con DBH menores a los 20 cm.

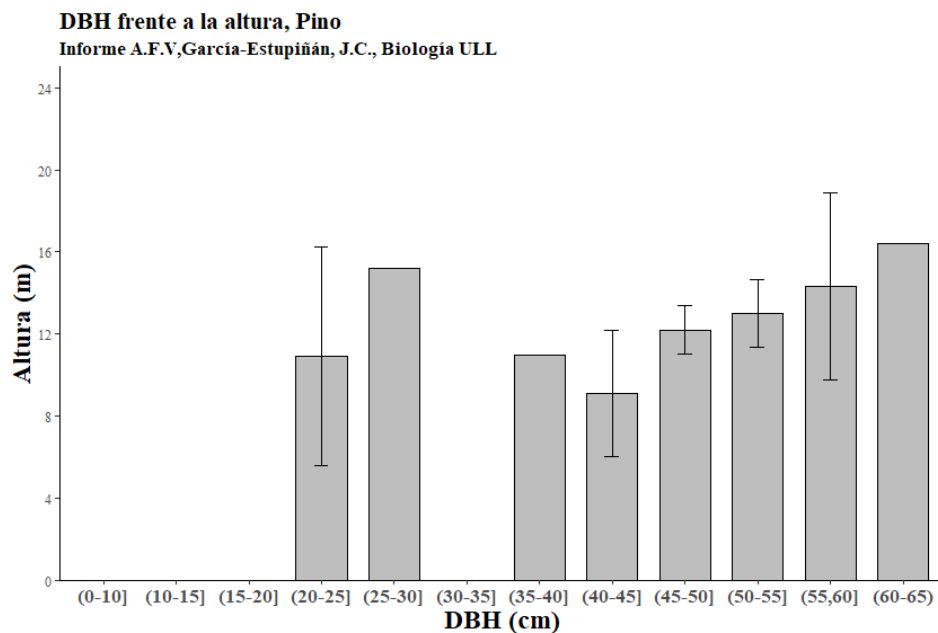


Figura 7. Gráfico donde están representados los valores de DBH en intervalos de 5 frente a la altura promedio de cada cual.

Con este gráfico (Figura 7), ahora podemos comparar la altura de los DBH frente a la altura. Cabría esperar que los pinos con mayor DBH presentan una altura mayor, y es lo que podemos ver que es lo que ocurre a partir del intervalo (40-45] al (60-65], aunque este último no es muy fiable, ya que está formado por un solo individuo. Sin embargo antes de estos tenemos unos intervalos anormales, el primero en orden de izquierda a derecha ((20-25]) presenta una altura que podría no ser demasiado alta, pero es verdad que su dispersión es muy grande, el siguiente está formado por un sólo árbol muy alto, con lo que el valor se ve inflado, lo mismo con el intervalo (35-50], cómo está formado por un sólo árbol, hace que el valor no sea muy fiable de nuevo, y por eso son sospechosos de no representar el valor real en árboles con ese intervalo de DBH.

3. Cambios en la eficiencia fotosintética máxima y efecto térmico de la transpiración.

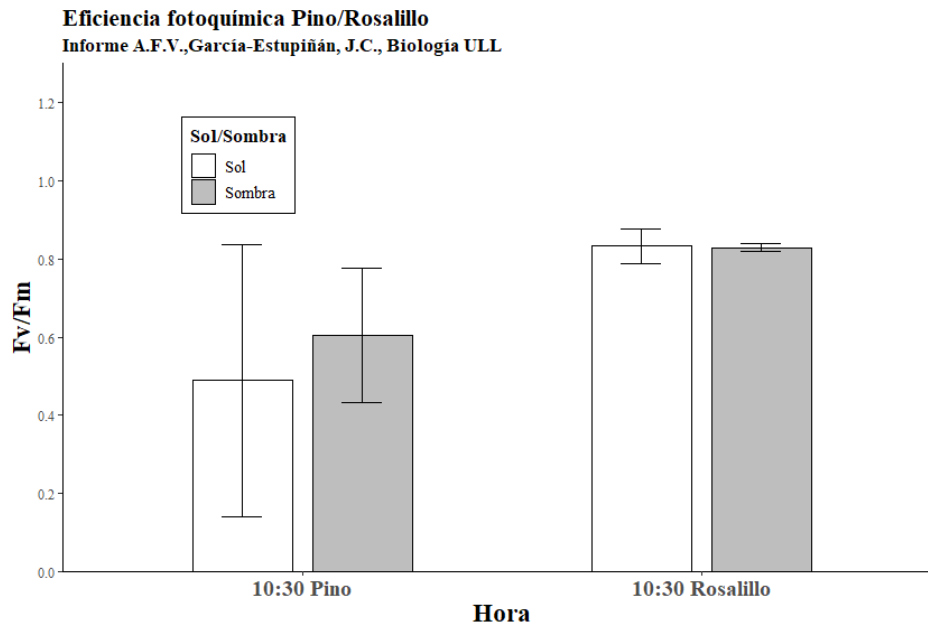


Figura 8. Gráfico que muestra la eficiencia fotosintética máxima, tanto en las especies de Pino como Rosalillo a las 10:30 de la mañana.

En nuestra próxima figura, la Figura 8, vemos los resultados de la eficiencia fotosintética máxima tanto del Pino como del Rosalillo a una única hora, a las 10:30 de la mañana, lo que único que podemos sacar en claro es que tanto las hojas de Pino se encuentran en una situación de estrés ya que su F_v/F_m promedio está por debajo de su valor estándar (0.75-0.85), y se encuentran emitiendo fluorescencia, no solo la que se encuentra en luz, sino también la hoja de sombra, con lo que los centros activos de la clorofila están saturados. Mientras tanto, la hoja de Rosalío tanto en luz como en sombra se encuentran en un valor promedio superior al estándar, con lo que no emiten fluorescencia y por ello no están en una situación de estrés. A pesar de que el valor promedio en Pino es mayor en hojas de sombra que en luz, si tomamos en cuenta la dispersión de los valores, no podemos decir que se esperan diferencias significativas entre los valores promedio de ambos experimentos, cuando comparamos hojas de luz con sombra.

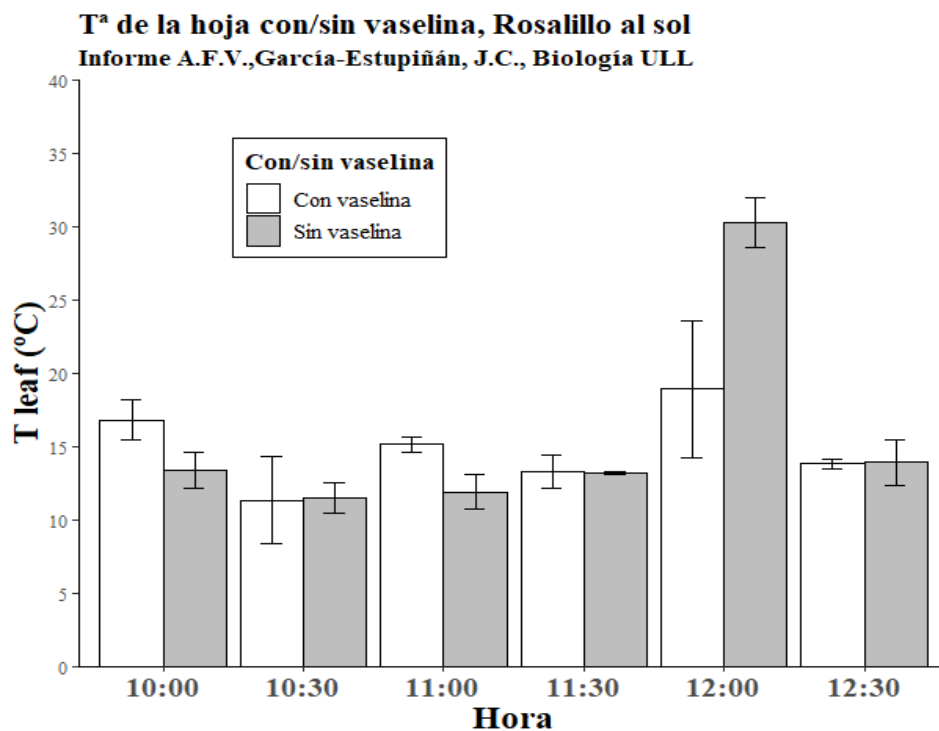


Figura 9. Gráfico que muestra las diferencias T^a de las hojas de sol de Rosalillo en hojas con/sin vaselina a lo largo de la mañana.

Como podemos observar en la figura 9, sólo se pueden observar valores esperables en unas horas en concreto de la mañana, y son las 10:00 y a las 11:00 horas, son las únicas en las que se puede observar que efectivamente, al tapar con vaselina las hojas hay un aumento de la temperatura en estas, ya que impedimos la transpiración de las hojas, sin embargo, las demás horas las diferencias parecen no ser significativas, e incluso vemos algo inaudito, a las 12:00 horas la temperatura de las plantas sin vaselina superan por mucho a las plantas con vaselina. Con todo esto podemos decir que en general no se dan los resultados esperados.

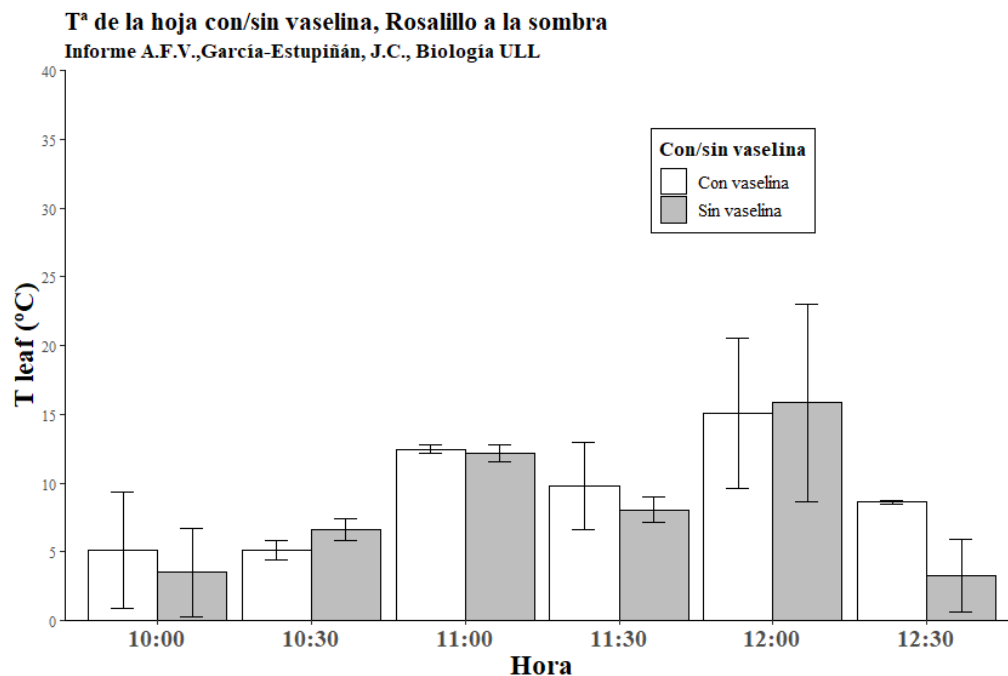


Figura 10. Gráfico que muestra las diferencias T^a de las hojas de sombra de Rosalillo en hojas con/sin vaselina a lo largo de la mañana.

Pasando ahora a las plantas de Rosalillo que se encuentran en sombra (Figura 10), como era de esperar, por lo general muestran una temperatura menor a aquellas que se encuentran en contacto con la radiación solar, a las 10:00, 11:30, 12:30 se cumple que la temperatura es mayor en aquellas con vaselina, en el resto de horas podemos decir que la temperatura de las hojas o no presentan diferencias significativas (11:00, 12:00), o incluso en una ocasión las plantas sin vaselina superan en temperatura a las que tienen (10:30).

Podemos ver que las temperaturas en general, comparándolas con la figura anterior (Figura 9), tanto con vaselina como sin, suelen ser mayores en plantas al sol que en sombra, salvo en horas como las 11:00, 12:00.

4. Estudio Microclimático del Rosalillo

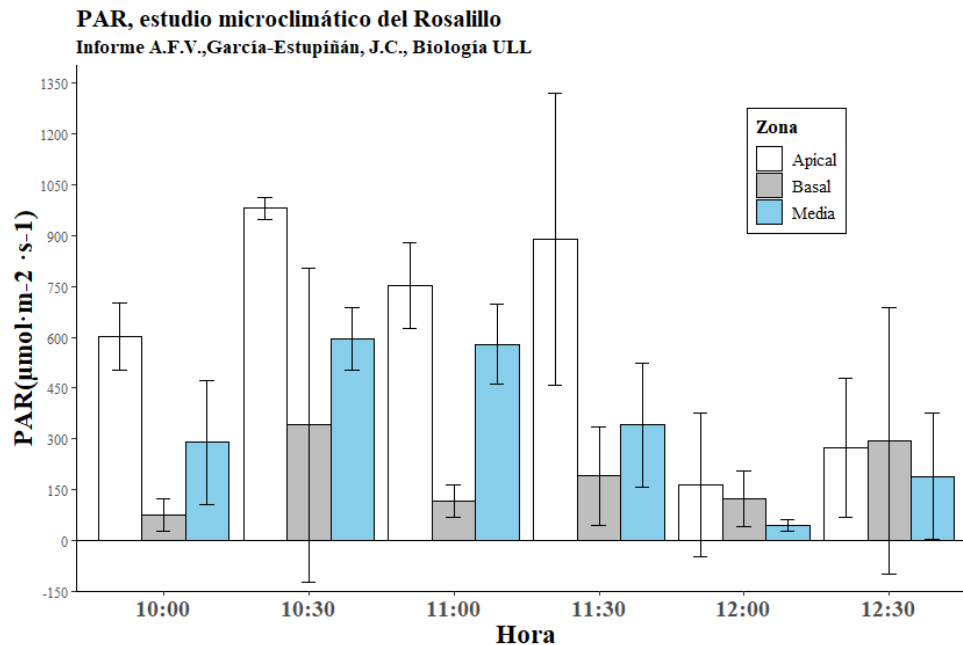


Figura 11. Gráfico que muestra el PAR, en $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de fotones, que le llega a cada estrato del Rosalillo durante la mañana.

En la figura 11, podemos ver las propiedades del microclima del Rosalillo que le proporciona su característica estructura. como era de esperar esta estructura de caméfito, le otorga una protección contra la radiación solar, donde podemos ver que la temperatura del estrato apical es significativamente mayor que el medio y basal, y el medio, lo es a su vez del basal. Sin embargo, hay excepciones, a las 12:00, donde la radiación tomada es mayor en el estrato basal que en medio, e incluso a las 12:30 horas la temperatura, una vez más del estrato basal supera a sus dos estratos superiores, un dato atípico y no esperado.

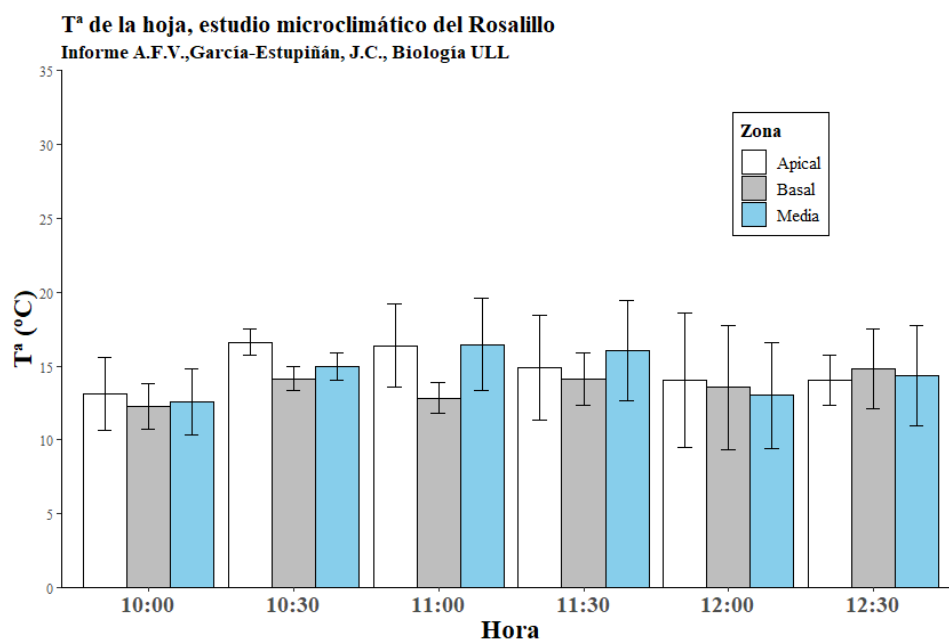


Figura 12. Gráfico que muestra la Tª del Rosalillo en cada estrato del microclima a lo largo de la mañana.

En la figura 12, podemos ver que algunos de los datos dan resultados esperados, en cuanto a que el orden de temperaturas debería ser de mayor a menor (apical>medio>basal) debido a la estructura del Rosalillo, pero sorprendentemente, en la primera hora, a las 10:00 no se aprecian diferencias significativas en las temperatura, esto puede deberse de que se trata de una hora temprana, sin haber llegado una alta radiación, con lo que no es tan descabellado. A las 10:30 es la hora que más se puede visualizar el orden esperado, sin embargo, las siguientes horas no es así del todo, sino que en cada una se da una cosa diferente. A las 11:00 el estrato basal es el que presenta menor temperatura como se espera, pero no existen diferencias significativas entre el apical y el medio, a las 11:30 la Tª de la apical disminuye y la del basal aumenta, pero sin superar a este, siendo el medio con la más alta, finalmente no parece haber diferencias significativas en las siguientes horas.

5. Presencia de Pigmentos y polifenoles en plantas de alta montaña.

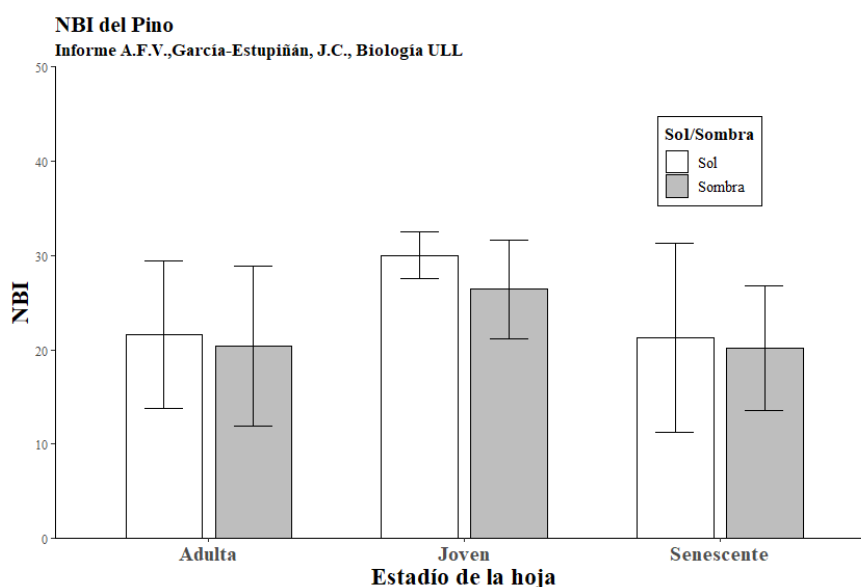


Figura 13. Gráfico que muestra en NBI de las hojas de Pino en hojas de Pino a distintos estadios.

En cuanto al índice del balance de nitrógeno (NBI) en las hojas de Pino (Figura 13), podemos ver que son las plantas más jóvenes las que presentan más nitrógeno en las hojas, esto puede deberse a que estas nuevas hojas en formación se encuentran acumulando clorofila, necesaria para que estas realicen la demanda de energía mediante el metabolismo catabólico que proporciona la fotosíntesis, sustituyendo a las hojas más maduras y senescentes, cabe recordar que el nitrógeno es un elemento muy móvil, que puede pasar de hojas adultas y acumularse en hojas más jóvenes.

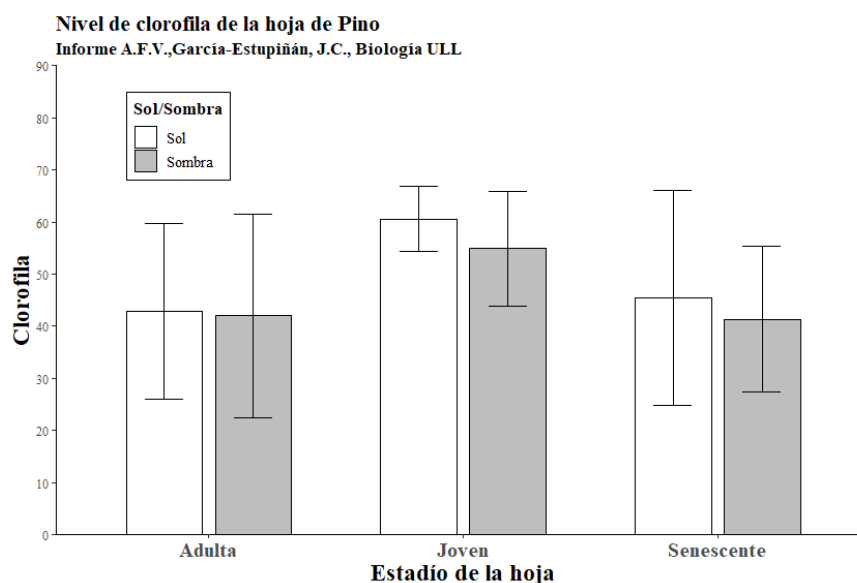


Figura 14. Gráfico que muestra el nivel de clorofilas ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), en las hojas de sol/sombra de Pino, de sol/sombra, a distintos estadios.

Podemos ver (Figura 14) que en las hojas de Pino los valores promedios más altos se encuentran en las hojas jóvenes, con lo cual, son la más activas fotosintéticamente hablando, mientras que las hojas adultas y senescentes presentan menor contenido en clorofilas. No parecen haber diferencias significativas entre hojas de sombra y de sol dentro de cada grupo, lo cual es una sorpresa ya que se esperaría de que las hojas de sombra necesitaran más clorofilas debido a que tienen que aprovechar la poca radiación solar que les llega, mucho más que las de sol. Los resultados coinciden con los del NBI, lo que tiene sentido ya que la clorofila presenta nitrógeno.

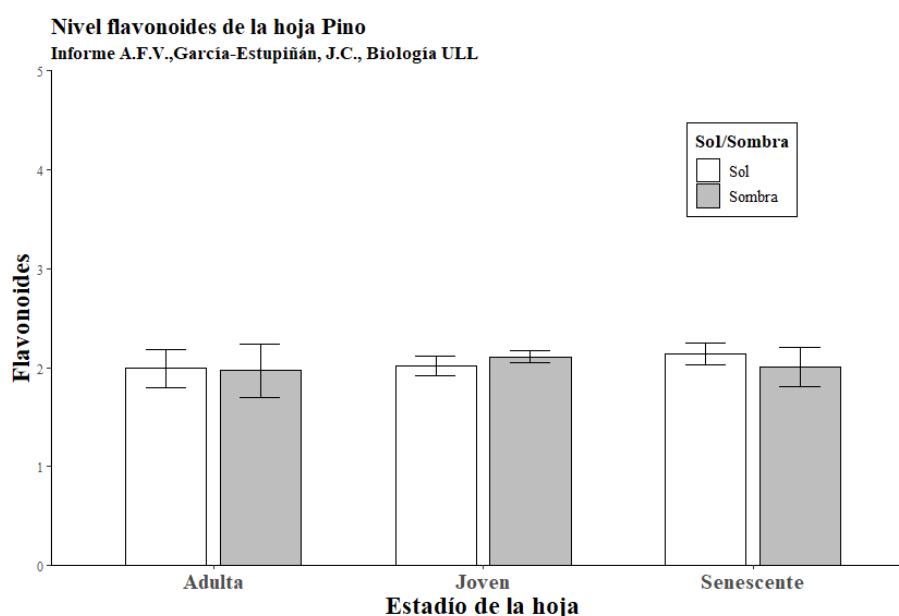


Figura 15. Gráfico que muestra el nivel de flavonoides en las hojas de sol/sombra de Pino en distintos estadios.

En la Figura 15, observamos los niveles de flavonoides de las hojas de Pino según el estadio de la hoja. No se atisban ninguna diferencia significativa ni entre grupos ni entre las hojas de sombra y sol dentro de cada, ni comparando los grupos unos con otros. Con lo cual, sabiendo que los flavonoides son unos polifenoles, donde una de sus funciones consiste en proteger a la planta de la radiación solar, sorprende que no se den las diferencias entre las plantas de sol y sombra.

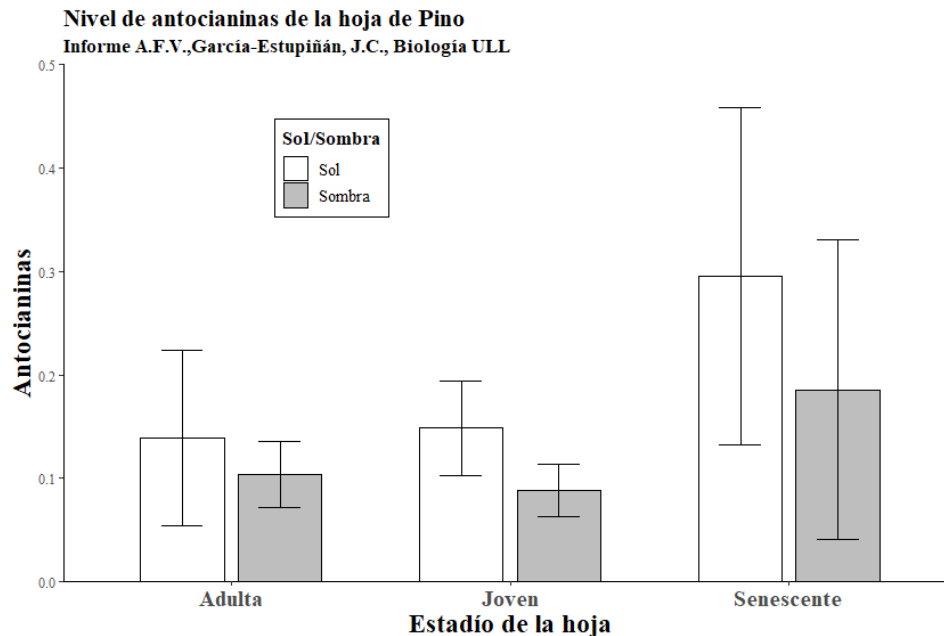


Figura 16. Gráfico que muestra el nivel de antocianinas en las hojas de sol/sombra de Pino en distintos estadios.

Como se esperaba (Figura 16), el nivel de antocianinas predomina sobre todo en las hojas senescentes que en las jóvenes y adultas del Pino. Si volvemos a los resultados del NBI y de la clorofila podemos entender mejor todo este proceso, Las hojas con mayor N eran las más jóvenes. Uno de los síntomas en cuanto a la deficiencia de N en las hojas es la aparición de antocianinas, con lo que los resultados muestran que aquellas hojas más antiguas, las senescentes, que no presentaban tanto nitrógeno como las jóvenes, y por ello menor clorofila, tienen un incremento en la concentración de antocianinas en las hojas. Cabe destacar que es interesante ver qué concentración de antocianinas en plantas adultas se ven diferencias significativas con las senescentes, cuando los resultados de NBI y Clorofila fueron muy similares, podría deberse a que no ha habido tiempo de que se hayan acumulado este polifenol, pero se irán acumulando cada vez más. Las antocianinas al igual que los flavonoides también protegen a la planta de la luz UV, con lo que es normal que se encuentren en las hojas de sol antes que las de sombra.

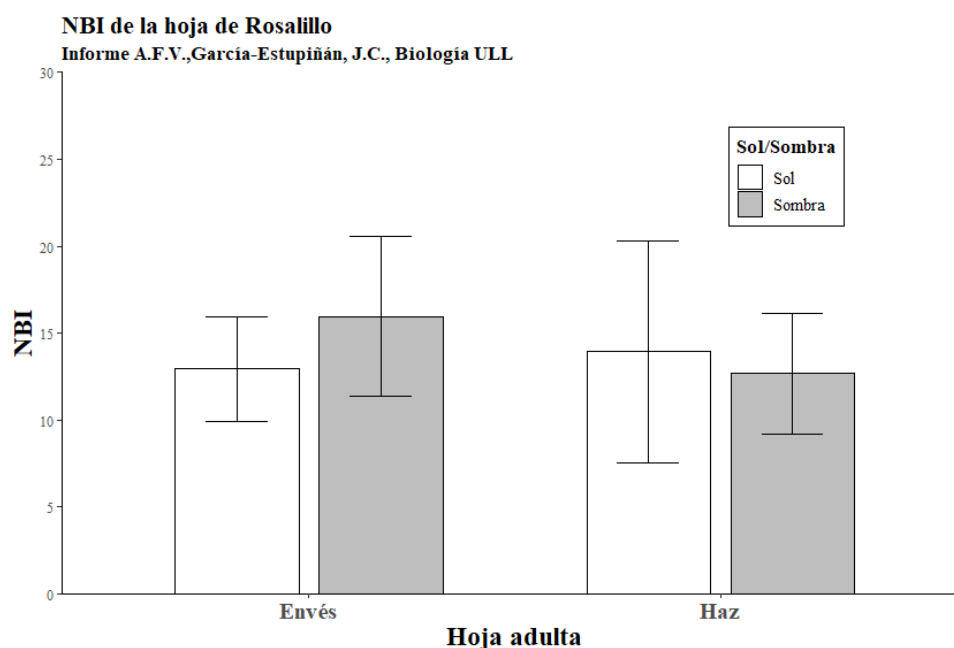


Figura 17. Gráfico que muestra el NBI en las hojas de sol/sombra de Rosalillo en haz y envés.

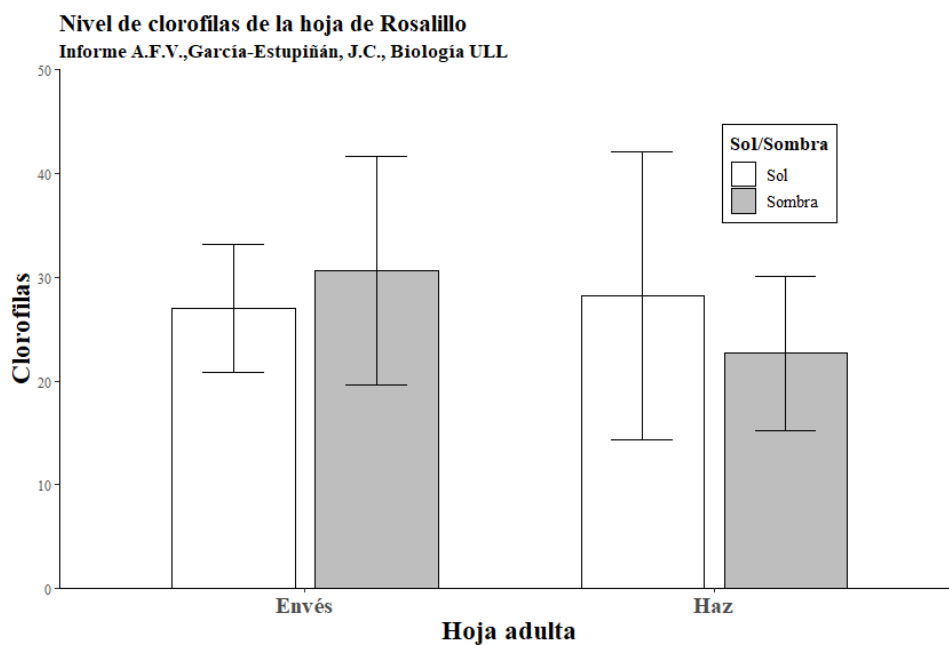


Figura 18. Gráfico que muestra el nivel de clorofila ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), en las hojas de sol/sombra de Rosalillo en haz y envés.

En cuanto al índice del balance del nitrógeno en las hojas adultas del Rosalillo, Figura 17, como se puede observar en el envés de las hojas el nivel de nitrógeno es mayor en las hojas de sombra que en las hojas de sol, y en la figura 18 se encuentran resultados muy similares a los de la figura anterior, ya que ambas están interrelacionadas, si las clorofilas presentan nitrógeno, cabría esperarse que las barras fueran similares a los resultados de NBI. Podemos

si miramos el valor promedio y la dispersión de la media, que el nivel de clorofilas, tanto haz y envés parecen no parecen presentar diferencias significativas, tanto en plantas de sol como sombra, sin embargo, el promedio es mayor en el envés de las plantas a la sombra, y en el haz de las hojas al sol esto es debido a que las hojas del Rosalillo tienen hojas verticales, con lo cual tiene sentido los resultados. Sin embargo, cabría esperarse que el nivel de clorofilas fuera más alto en plantas de sombra que las de sol, cosa que en el haz no se observa este comportamiento.

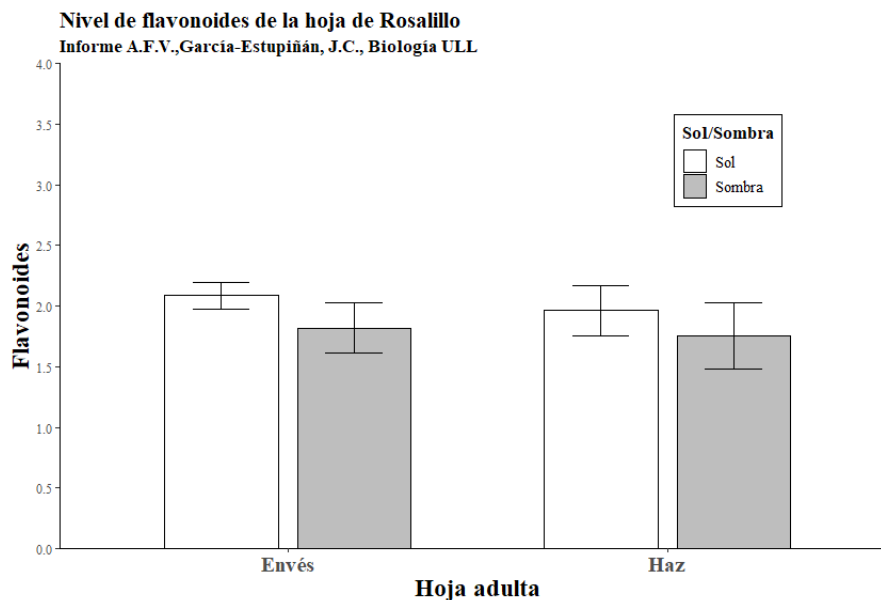


Figura 19. Gráfico que muestra el nivel de flavonoides, en las hojas de sol/sombra de Rosalillo en haz y envés

En cuanto a la concentración de flavonoides en la hoja de rosalillo (Figura 19), podemos observar que los niveles de flavonoides en el haz y envés son similares y no parece haber diferencias significativas, por otro lado comparando las hojas de sol y sombra vemos que el promedio de estos polifenoles es mayor en las que se encuentran expuestas a la radiación del sol, esto tiene sentido ya que estos flavonoides son una medida de protección frente a la luz ultravioleta, actuando entre otras cosas como antioxidante.

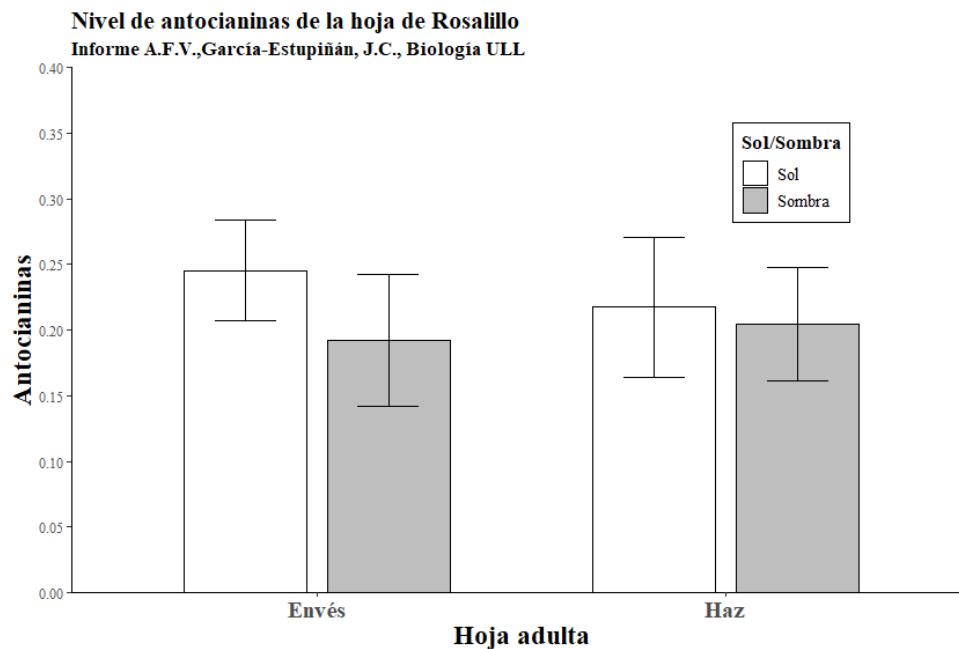


Figura 20. Gráfico que muestra el nivel de antocianinas, en las hojas de sol/sombra de Rosalillo en haz y envés.

Para terminar con los resultados de la parte de pigmentos y polifenoles, la Figura 20 muestra la concentración de antocianinas en las hojas adultas de Rosalillo, tanto en el haz como en el envés, podemos ver que en el haz a pesar de que el promedio sea mayor en las hojas de sol, la dispersión muestra que es posible que las diferencias no sean significativas. Por otro lado, en el envés la cosa cambia, sí que parecen haber diferencias significativas en la concentración de antocianinas, parecería haber más en las hojas de sol.

6. Cambios en la eficiencia fotosintética del Pino Canario y el Rosalillo

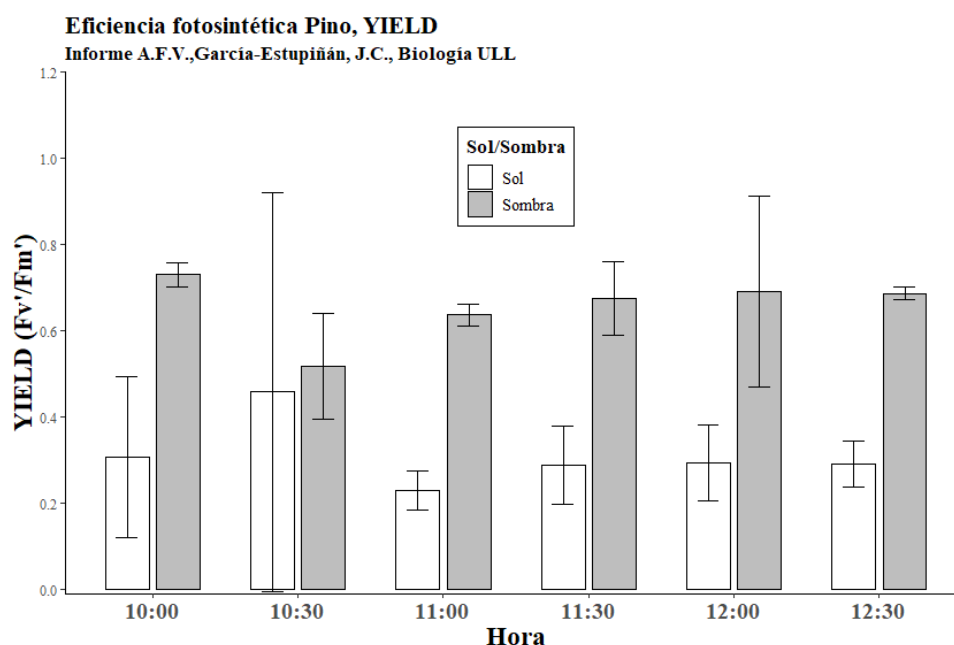


Figura 21. Gráfico que muestra la eficiencia fotoquímica in situ de las hojas de sol/sombra de pino a lo largo de la mañana.

En cuanto a la eficiencia fotoquímica actual o in situ (F_v'/F_m') del Pino Canario, vista en la Figura 21 podemos ver que, por lo general, al menos los valores medios, son más altos en las hojas de sombra que las de sol. Son valores constantes a lo largo de la mañana, el único valor que puede ser atípico son los resultados de las 10:30 de la mañana, donde parece haber una reducción en la eficiencia fotoquímica de las plantas de sombra, pudiendo presentar diferencias significativas frente a otras horas y en cuanto a las de luz el valor promedio ha aumentado, pero la desviación típica de la media es muy significativa, con lo que no parece ser un resultado fiable.

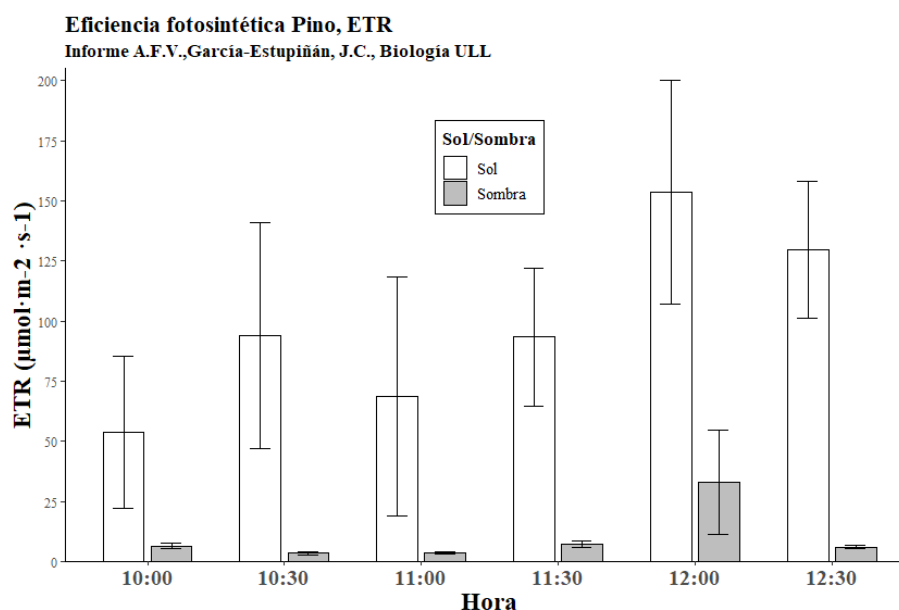


Figura 22. Gráfico que muestra la ETR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de electrones) de las hojas de sol/sombra de Pino a lo largo de la mañana.

Como podemos ver en la Figura 22, se obtienen unos resultados esperables, hay mayor transferencia de electrones en aquellas hojas de sol de pino al sol, que en aquellas a la sombra. Esto se debe a que las hojas de sol, al estar frente a una mayor radiación, pues tienen la maquinaria de la cadena de transporte (en concreto la del fotosistema II) de electrones funcionando. Podemos ver que el ETR va aumentando con el paso de la mañana, a mayor radiación mayor fotosíntesis, con lo que mayor transporte de electrones.

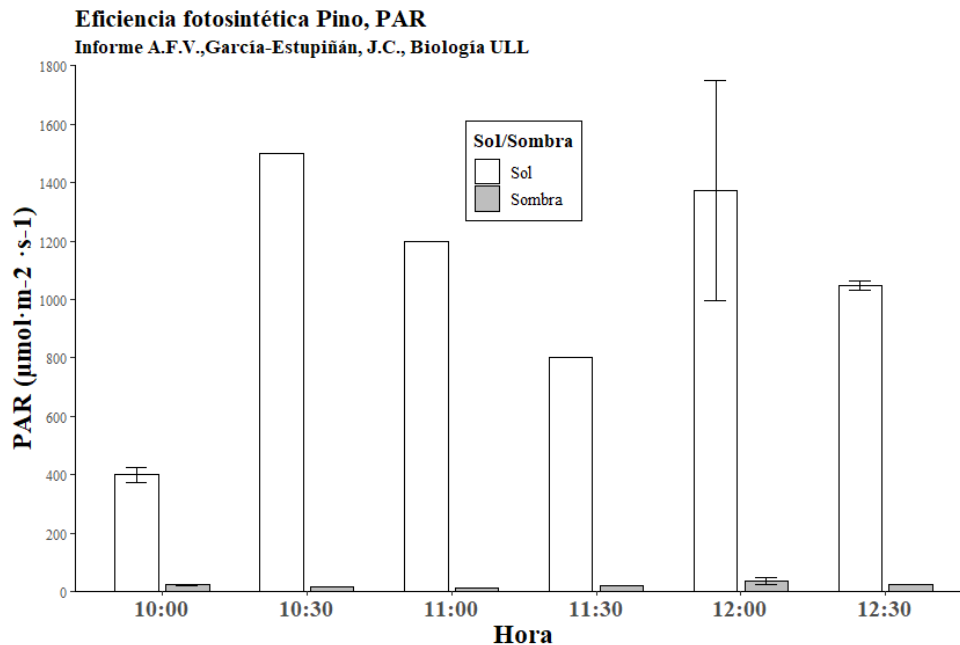


Figura 23. Gráfico que muestra el PAR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de fotones) de las hojas de sol/sombra de Pino a lo largo de la mañana.

Llegamos a la Figura 23, donde podemos ver los valores de la radiación fotosintéticamente activa que le llega al pino durante la mañana. Como podemos observar, los resultados son poco fiables, ya que en algunas horas sólo tenemos los resultados de un valor (a las 10:30, 11:00, 11:30 y las de sombra de las 12:30). Lo que podemos sacar en claro es la a las hojas de sol en pino les llega un PAR mayor. Lo lógico es que el PAR fuera mayor a horas más tardías de la mañana, pero como hemos dicho, muchas de las horas están formadas por una sola medición, dando resultados que pueden no asemejarse a la realidad, como el de las 10:30, el valor está inflado y es más alto que el de las 12:00 de la mañana, cosa que no debería ser así.

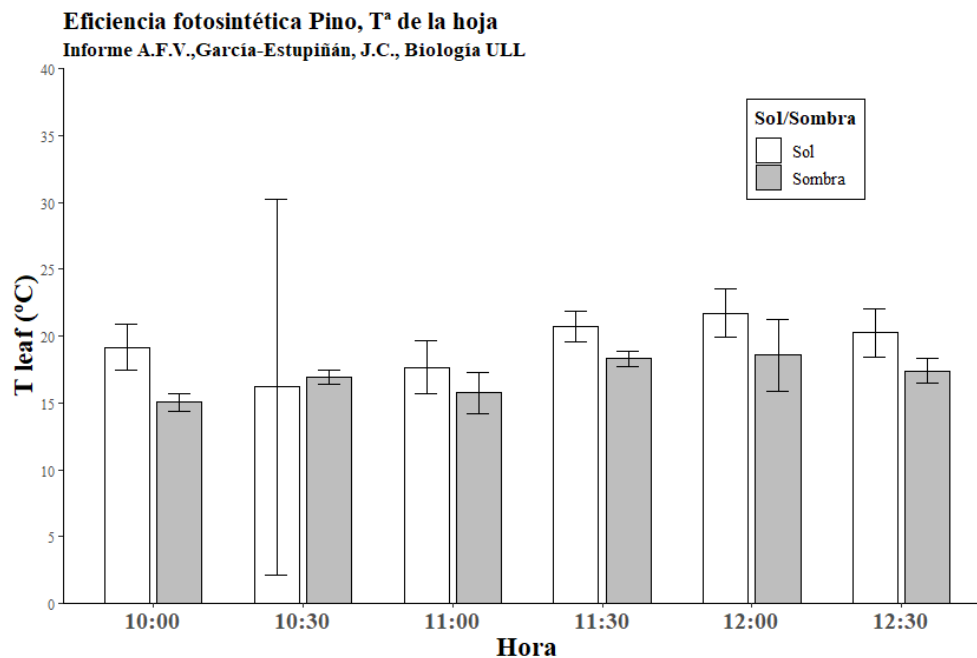


Figura 24. Gráfico que muestra la T^a de las hojas de sol/sombra de Pino a lo largo de la mañana.

Como podemos ver los resultados en la temperatura de las hojas de Pino (Figura 24), son esperables, se pueden ver una mayor temperatura en las hojas de sol que en las de sombra. El único resultado extraño es el de las 10:30 de la mañana donde las hojas de sombra tienen un valor promedio que aquellas de sol, sin embargo, vemos que la dispersión de las hojas de sol es muy grande, con lo que seguramente se trate de un error de muestreo.

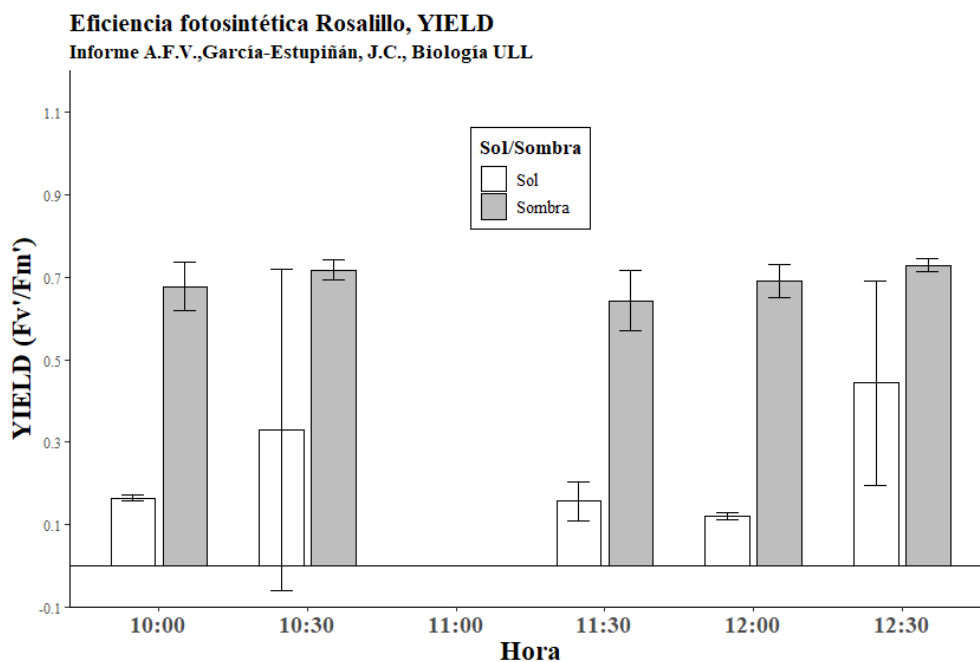


Figura 25. Gráfico que muestra la eficiencia fotosintética in situ de las hojas de sol/sombra de Rosalillo a lo largo de la mañana

Volviendo a hablar de la eficiencia fotoquímica actual, pero esta vez del Rosalillo (Figura 25), podemos ver una vez más que las hojas de sombra presentan valores más altos que las expuestas a la luz del sol. Los valores medios de las hojas de sombra no parecen variar mucho a lo largo de la mañana, mientras que las de sol, curiosamente, además de como ocurrió con las hojas de sol de Pino, a las 10:30 presentan una extraña y excesiva dispersión de los valores, pero también parece variar a las 13:00 de la tarde. Cabe destacar que los datos de las 11:00 hay valores perdidos.

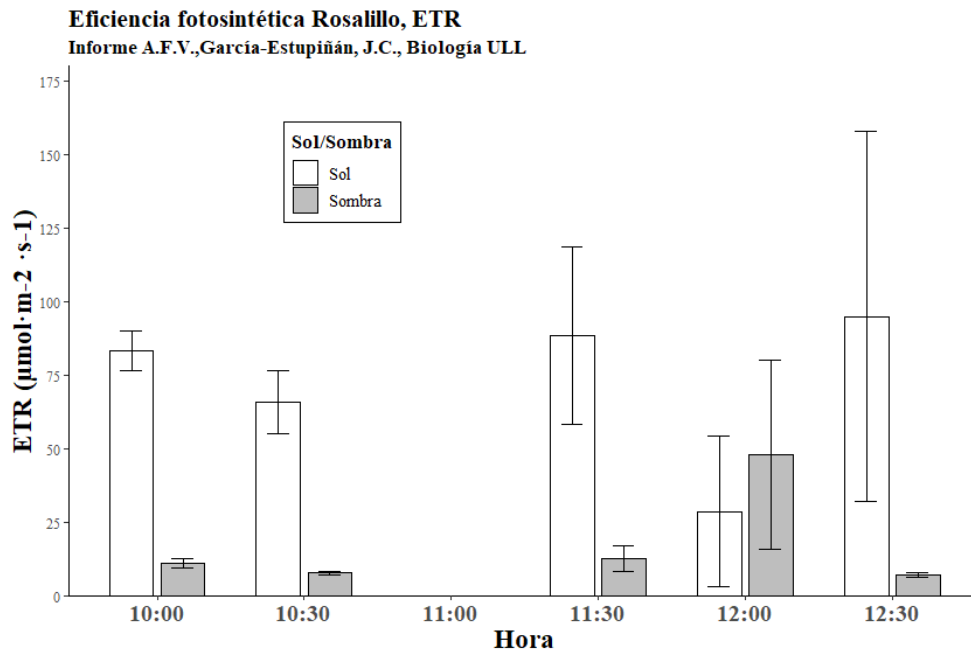


Figura 26. Gráfica que muestra el ETR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de electrones) de las hojas de sol/sombra de Rosalillo a lo largo de la mañana.

En cuanto al ETR del Rosalillo (Figura 26), podemos ver una vez más, que las hojas de sol, al estar en contacto con más radiación solar, tienen una ratio fotosintético mayor, con lo que la cadena de transporte de electrones se encuentra muy activa, como ocurría en el pino. Sin embargo, hay un valor fuera de lo común, a las 12:00 de la mañana se puede ver que las hojas de sombra tuvieron un ETR mayor que las de sol, esto podría deberse a un cambio en la disposición de la luz, que pudiera estar afectando más ahora la radiación a las de sombra que a las de sol, sin embargo, a las 12:30 vuelve a unos valores esperables. Una vez más los valores de las 11:00 de la mañana a las 11:30 se han perdido, así se procederá a los siguientes resultados.

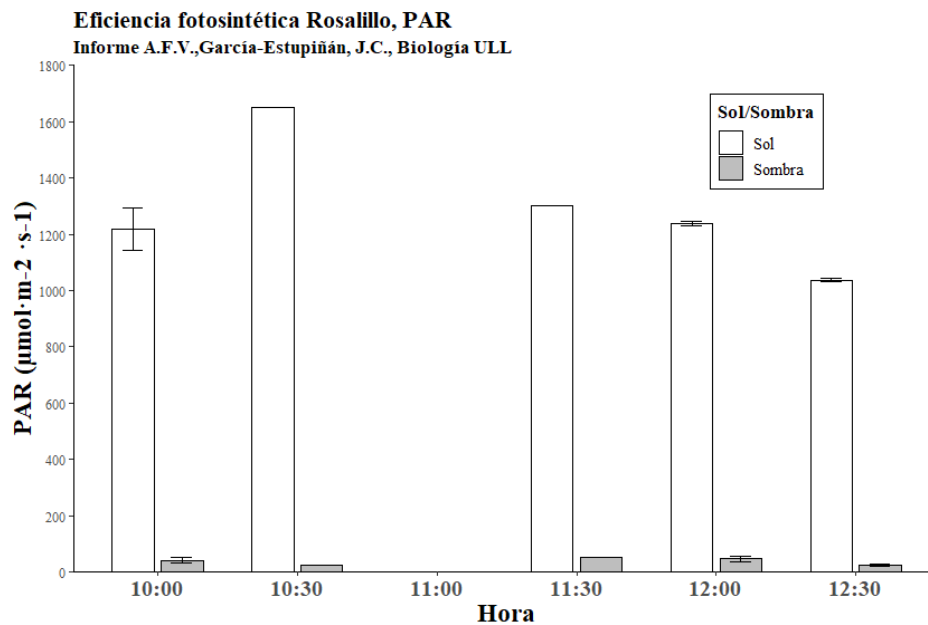


Figura 27. Gráfica que muestra el PAR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de fotones) de las hojas de sol/sombra de Rosalillo a lo largo de la mañana.

En cuanto al PAR del rosalillo (Figura 27), tenemos algunos problemas similares como pasó con el Pino en cuanto a valores perdidos, vemos valores que podrían no estar reflejando la realidad de las cosas, tampoco se puede sacar un patrón claro, obviamente lo lógico sería pensar que el valor fuera más elevado a medida que pasan las horas de la mañana hasta el mediodía. Sin embargo, podemos sacar en claro que la radiación fotosintéticamente activa en hojas expuestas al sol, es como es lógico, mucho mayor a aquellas que de sombra.

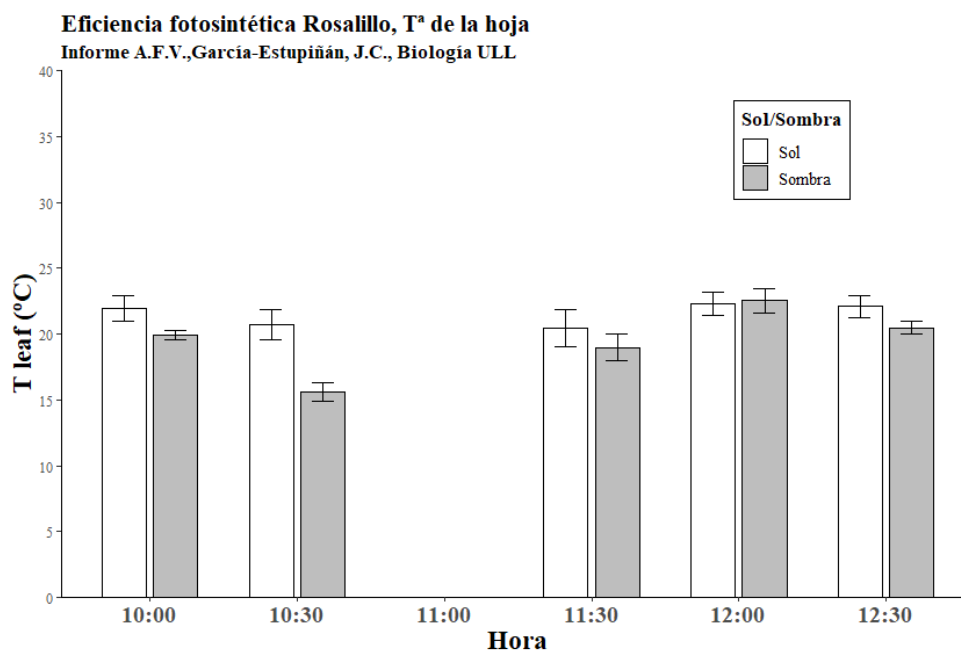


Figura 28. Gráfica que muestra la Tª de las hojas de sol/sombra de Rosalillo a lo largo de la mañana.

Como era esperado (Figura 28), parece que existen diferencias significativas en las hojas de rosalillo que se encuentran expuestas al sol, que aquellas que son de sombra. Aun así, esto no se da en el procedimiento de 12:00 a 12:30, donde no se encuentran diferencias significativas entre las plantas de sol y sombra, en concreto la temperatura que parece aumentar es la de las hojas de sombra, puede ser un cambio en la disposición de la luz que afectara a las plantas de estudio seleccionadas, sin embargo, a las 12:30 se vuelven a los valores normales.

Discusión de los resultados

1. Podemos sacar en claro unas series de conclusiones, las hojas de sol de plantas residentes de alta montaña sufren una mayor radiación, con lo cual era esperable que tuvieran una alta tasa fotosintética, por otro lado, las hojas de sombra, que apenas reciben de esta radiación realizan poca fotosíntesis, viéndose que en muchos casos incluso están respirando. Por otra parte, era de esperar, que debido a su exposición las hojas de sol tengan una mayor temperatura y transpiración en comparación con las de sombra, cosa que no se vio reflejado en los resultados, esto pudo deberse a fallos en el uso del IRGA por parte de nosotros los alumnos.
2. Los resultados de los datos biométricos dan a entender que la parcela presenta sobre todo pinos que han entrado en cierto estado de madurez, debido a la falta de juveniles con DBH menores al intervalo de (20-25]. En principio cabría esperar en este sentido, que hubiera una tendencia positiva en cuanto al DBH frente a la altura, y parece haberlo, en los intervalos de 40-60 cm de DBH, pero luego hay otros valores que parecen ser errores de muestreo. Posiblemente se haya fallado en la elección al azar de especímenes de Pino, ya que distintos grupos escogieron seguramente pinos ya medidos, y teniendo en cuenta que la aplicación móvil que se usó como improvisación para la toma de la medida de la altura, daban lugar a errores grandes debido a su poca precisión, identificar a los pinos por separado se complicó.
3. En cuanto a los cambios de la eficiencia máxima fotosintética, sólo se pudo sacar en claro los datos de Pino y Rosalillo a las 10:30, debido a fallos en la planificación de nosotros el alumnado a la hora de realizar el ejercicio, sin embargo, se pueden sacar algunas cosas en claras, como que el Rosalillo presenta una mayor capacidad de soportar el estrés del ambiente en esta hora del día comparándolo con el Pino, que parece estar emitiendo fluorescencia debido a que su valor de F_v/F_m está por debajo del estándar. Sin embargo, cabría esperar que este valor promedio fuera mayor en hojas de sol que en sombra, debido a que al llegar más radiación les es más fácil aprovecharla, lo cual no se dio, pudo deberse a que durante la mañana las plantas con hojas de sol/sombra se intercambiaron los papeles por el ángulo de sol, con lo que esas hojas de sombra podrían ser, “falsas” hojas de sombra.

En cuanto a la parte de transpiración del Rosalillo, los resultados no fueron exactamente los esperados, al tapar las hojas con vaselina como ya hemos dicho, evitaríamos a la planta transpirar, y ello conlleva el aumento de la temperatura de la

planta cosa que ocurrió en algunas ocasiones pero no en todas, a tal nivel de que los datos no parecen del todo fiables ya que no se sigue un patrón claro, lo cual parece ser debido a errores de muestreo o del mal uso del aparataje de medida. Por otro lado, se puede ver la evidencia que aquellas hojas que se encontraban al sol tenían una temperatura mayor que las de sombra, tanto las marcadas con vaselina como las que no, sin embargo hay excepciones en dos horas de la mañana, a las 11:00, y a las 12:00, que son valores atípicos donde la temperatura de las hojas de sombra, este error puede deberse a la selección de los 2 especímenes, a lo largo de la mañana las plantas con hojas de sol pasaron a ser de sombra y viceversa, como ya se había dicho en el caso anterior.

4. En el estudio del PAR en cada uno de los estratos se pudo ver, que en cierto modo, la estructura del caméfito si le proporciona una protección a la planta frente a la radiación solar, siendo las hojas apicales y en menor medida las medias, una especie de escudo que sirve para proteger a este arbusto de este tipo de estrés, si es verdad, que hubo ciertos valores atípicos, pero seguramente fueran debidos a algún factor ambiental que no se tuvo en cuenta, o lo más probable un error de muestreo, pero en general parece que se da lo esperado. No obstante, debido a estos resultados cabría esperar que la temperatura de las hojas fueran mayor de fuera a dentro de la estructura, sin embargo, exceptuando los resultados de las 10:30, no pareció seguir ningún patrón esperado, esto pudo ser, lo más probable, debido al mal uso del termopar, en ocasiones era complicado encontrar la temperatura correcta porque costaba mantenerlo en un punto fijo de la hoja para que se calibrase, y en ocasiones daba valores inflados.
5. En cuanto a los resultados de las hojas de Pino esperamos que los valores de NBI sean similares a los de la concentración de clorofila, ya que la estructura de esta necesita este nutriente para su formación, por otro lado las hojas más jóvenes son las más activas fotosintéticamente, debido a que presentaban un nivel mayor de clorofilas (y por ello un nivel mayor de NBI), mientras que las adultas y senescentes estaban por detrás de estas en este sentido, habiéndose acumulado hasta tal punto un nivel alto de antocianinas en las hojas senescentes, debido a que como el N es un elemento móvil que se mueve a las hojas más jóvenes, sin embargo el nivel de este polifenol fue similar en las jóvenes y adultas, con lo que estas últimas a pesar de ya no tener tanto N, no ha habido tiempo para la acumulación. El nivel de clorofilas fue mayor en las hojas de sol que en sombra, lo cual es muy extraño ya que estas últimas deberían sintetizar más para aprovechar toda la luz posible, que les es escasa. Finalmente, el nivel de flavonoides fue similar tanto en hojas de sol y sombra, lo que es extraño ya que es un polifenol que protege a las hojas de la radiación solar con lo que se esperaba encontrarlos en las hojas de sol, pero no ha sido así.

En el estudio de las hojas adultas del Rosalillo, vimos una vez más que los valores de las gráficas mostrando el NBI y clorofila eran muy parecidos, esto es debido que, a lo ya dicho en el punto anterior, se pudo observar que tanto en hojas de sol como sombra no había diferencias en el haz y envés en los niveles de NBI y clorofila, esto puede deberse a la posición vertical que adoptan las hojas de esta planta. En cuanto al nivel de flavonoides de las hojas, las de sol tenían valores mayores, lo que es esperable ya que este polifenol protege a las plantas de la radiación UV, por otro lado no pareció

haber diferencias significativas en las antocianinas en un tipo de hoja y otra, excepto en el envés de las plantas de sol, como se trata de un antioxidante, puede deberse a que la planta estaba siendo sometidas a una radiación que afectaba sobre todo al envés de la hoja.

6. Antes que nada, como era obvio, el PAR era mayor en aquellas plantas de sol que en las de sombra, con lo que la temperatura era por lo general, salvo excepciones, mayor en las plantas de sol que las de sombra. En cuanto al Yield tanto en Pino como en Rosalillo fue mayor en hojas a la sombra que las de sol, lo cual es lo esperable ya que debido a la falta de radicación en las de sombra, la eficiencia fotosintética tiene que ser mayor en estas, ya que no les da de sobra, y tienen que ser más meticulosas. Por otro lado, en cuanto a la tasa de transporte de electrones, fue mayor en las plantas de sol, ya que son fotosintéticamente más activas debidas a la radiación que están sometidas, con lo que la cadena de transporte de electrones de la fotosíntesis está en pleno rendimiento, lo cual es lo que se esperaba.

Conclusión

Podemos acabar concluyendo que algunos de los experimentos arrojaron resultados que seguían cierto sentido, mientras que otros son muy difíciles por donde cogerlos. Como bien es sabido, es muy diferente estudiar las plantas en el laboratorio que en el campo, en este último, pueden haber factores exógenos que hagan a las plantas comportarse fisiológicamente de una forma completamente distinta de como lo haría en condiciones más controladas, pero no únicamente esta característica difiere, también el hecho de trabajar en campo requiere un procedimiento experimental riguroso, más que en laboratorio, ya que si ya sabes que vas a contar con errores debido al ambiente, tienes que reducir el error humano lo máximo posible. Durante la práctica, debido a la falta de experiencia en nosotros el alumnado a trabajar de esta manera en el campo, y además de la falta de cierto equipo especializado, pueden haber influido negativamente en algunos de los experimentos, lo cual ahora es difícil de vislumbrar cuáles de los datos anómalos es por una razón real de la ecofisiología de las especies, o de un fallo humano. Sin embargo, nos quedamos con lo que ha salido bien y se aprende para la próxima vez.

Bibliografía

Información sobre e Dualex Force A:
<http://shop.gabsystem.com/data/descargas/DUALEX%20SCIENTIFIC+.pdf>

Presentaciones de los Alumnos de AFV de Biología ULL

Eder Barón Aldehuelo, Carmen Cobos Fernández, Gemma Coll Fort, Yauci Espinosa Gonzáles: "Cambios a lo largo del día del intercambio gaseoso en *Pinus canariensis*".

Nayara Ma Reyes Gómez, Ángela Redondo Ballesteros, Arantzazu Muxika Urtzelai, Yanira Martín Bello: "Cambios en la Eficiencia Fotosintética Máxima y Efecto Térmico de la Transpiración".

Marta Hernández Pérez, Irene Gonzalez Rossi, Borja Morales Baños, Juan Hernández Barreto, Cristina María Rodríguez Hernández: "Estudio microclimático del rosalillo de cumbre".

Albert Sañé Codony, Fernando Trujillo Guerra, Julian Weller Pérez y Nadya Yanes Alonso: "Estudio de clorofilas totales y polifenoles en especies de alta montaña".