



---

ARTÍCULO

## Aplicación de fluorescencia de clorofila para evaluar desempeño de plantas de hualo en ensayos de terreno.

Iván Quiroz Marchant<sup>1</sup> & Braulio Gutiérrez Caro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Forestal, sede Biobío. [bgutierr@infor.cl](mailto:bgutierr@infor.cl); [iquiroz@infor.cl](mailto:iquiroz@infor.cl)

\*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.603>

Recibido: 02.03.2024; Aceptado 22.04.2024

---

### RESUMEN

Se evalúa dos experiencias de plantación de hualo (*Nothofagus glauca*), una donde se contrasta plantas establecida con y sin cobertura de dosel remanente, y otra en que se evalúa el efecto de subsolado. Ambas experiencias se analizan con el objeto de confirmar la utilidad de las mediciones de fluorescencia de clorofila (expresada en el parámetro Fv/Fm) como indicador de estrés, que contribuya a explicar resultados de crecimiento, vigor y supervivencia de las plantas.

Los resultados mostraron que las plantas sin cobertura presentaron menores niveles de estrés y mayor vigor en comparación con las que estaban bajo cobertura. En cuanto al subsolado, las plantas en suelo subsolado mostraron mejor desempeño en términos de supervivencia, crecimiento en altura y diámetro de cuello, y menores niveles de estrés.

La fluorescencia de clorofila, utilizada como indicador de estrés, demostró ser consistente con las observaciones de vigor en terreno y con el desempeño general de las plantas.

**Palabras clave:** *Nothofagus glauca*, plantación, fluorescencia clorofila, estrés, vigor, crecimiento.

### SUMMARY

Two planting experiments of hualo (*Nothofagus glauca*) were evaluated: one comparing plants established with and without remnant canopy cover, and another assessing the effect of subsoiling. Both experiments were analyzed to confirm the utility of chlorophyll fluorescence measurements (expressed as the Fv/Fm parameter) as an indicator of stress, which helps explain the results related to plant growth, vigor, and survival.

The results showed that plants without canopy cover exhibited lower levels of stress and higher vigor compared to those under canopy cover. Regarding subsoiling, plants in subsoiled soil demonstrated better performance in terms of survival, height growth, neck diameter, and lower stress levels.

Chlorophyll fluorescence, used as a stress indicator, proved to be consistent with field observations of plant vigor and overall performance.

**Key words:** *Nothofagus glauca*, plantation, chlorophyll fluorescence, stress, vigor, growth.

---

## INTRODUCCIÓN

La fotosíntesis es el proceso fundamental del metabolismo de las plantas, por lo mismo, analizar su funcionamiento reviste gran importancia en diferentes situaciones de interés práctico. Determinar la emisión de la fluorescencia de la clorofila constituye una forma precisa, confiable y rápida, de obtener información fisiológica que tiene múltiples aplicaciones (Gonzalez *et al.*, 2008; Salazar *et al.*, 2016).

La emisión de fluorescencia de los sistemas fotosintéticos cambia continuamente con el ambiente. Los estreses ambientales como temperaturas extremas, sequía, cambios en la intensidad lumínica, salinidad, y otros afectan la función de los sistemas fotosintéticos de las plantas, modificando la emisión de esta fluorescencia. Por lo mismo, el estudio de estos cambios se reconoce como una adecuada herramienta para obtener información acerca de la influencia del estrés sobre el estado fisiológico de las plantas; para estudiar factores que limitan la fotosíntesis; y los mecanismos de respuesta a estos tipos de estrés (Jimenez, 2015; Salazar *et al.*, 2016; Maxwell & Johnson, 2000; Rohacek *et al.*, 2008). Este método de análisis puede ser aplicable a las plantas o algas intactas *in situ* e *in vivo*, o a cloroplastos aislados, siendo, además, no invasivo, no destructivo, rápido y sensible (González *et al.*, 2008).

En efecto, la fluorescencia de la clorofila se ha utilizado para estudiar el estrés en diversidad de plantas de interés agrícola, y se ha utilizado también para evaluar técnicas de restauración forestal, mediante el análisis del vigor de las plantas establecidas con esa finalidad. El parámetro más estudiado es la razón entre la fluorescencia variable (Fv) y la fluorescencia máxima (Fm), denominado como Fv/Fm, que es proporcional a la máxima eficiencia fotoquímica primaria de las hojas (Demming *et al.*, 1992, cit. por Ceacero *et al.*, 2012) y puede utilizarse como un estimador del grado de estrés que las plantas están enfrentando en una condición determinada.

Particularmente, en ambientes mediterráneos las plantas deben hacer frente a diferentes tipos de estrés ambiental, entre los que destaca el estrés hídrico como el factor más limitante en el descenso de la tasa fotosintética, y que al reflejarse en la fluorescencia de la clorofila ha motivado diversos estudios que centran su interés en la sensibilidad de este parámetro frente a fenómenos de sequía y estrés hídrico.

El presente estudio hace uso del parámetro Fv/Fm para verificar su utilidad como indicador de estrés en plantaciones de hualo, relacionando este parámetro con variables de vigor y crecimiento de las plantas en condiciones contrastantes de cobertura (con y sin cobertura) y de preparación del suelo (con y sin subsolado), las que definen situaciones diferenciadas de estrés. El objetivo es verificar en qué medida las diferencias en el desempeño de las plantas se relaciona con la variación de la fluorescencia de clorofila expresada como el estimador de estrés Fv/Fm.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se evalúa dos experiencias de plantación de hualo, una donde se contrasta plantas establecida con y sin cobertura de dosel remanente y otra en que se evalúa el efecto de subsolado. Ambas plantaciones fueron establecidas en el predio Hualos de Loanco. Este pertenece a Forestal Mininco y se emplaza a aproximadamente 20 Km al Sur de Constitución, en la provincia de Talca, Región del Maule. Se trata de un predio con presencia de remanentes del bosque maulino costero de la cordillera de la costa, insertos en áreas de plantaciones de pino radiata y que resultaron afectados por los incendios forestales del año 2017. Constituyen áreas de bosques mediterráneos de alto valor de conservación, donde la vegetación en los remanentes nativos es dominada por *Nothofagus glauca* (Hualo), pero incluyen también especies siempreverdes y del tipo esclerófilo.

### Efecto Cobertura

La plantación donde se contrasta niveles de cobertura fue establecida en julio de 2020, usando plantas 1:0 producidas en el vivero del Centro Tecnológico de la Planta Forestal en INFOR Concepción, a partir de semillas de la procedencia Empedrado, que resultan locales respecto del área plantada. La plantación propiamente tal se efectuó en casillas de 30x30x30 cm, usando pala plantadora.

La evaluación se realizó entre el segundo y tercer año de crecimiento de las plantas en terreno (28 a 34 meses), repitiéndola en tres temporadas: primavera (noviembre de 2022), verano (enero de 2023) y otoño (abril de 2023). En las tres ocasiones se consideró una situación con presencia de dosel superior de protección arbórea y otra donde las plantas crecían en terreno sin protección superior (**Figura 1**). Cada situación fue representada por tres núcleos de aproximadamente 10 plantas, las cuales fueron medidas en las tres temporadas

### Efecto Subsulado

Se evaluó el efecto de la preparación del sitio (Subsolado vs. Testigo sin subsolar) sobre el vigor y desarrollo inicial de una plantación experimental de hualo establecida el año 2020 en el mismo predio Hualos de Loanco. El suelo del ensayo, pertenece a la serie Constitución, corresponde a una terraza marina que ocupa una posición de lomajes en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, es un suelo profundo, de textura fina a muy fina, formado "in situ", y bien desarrollado. La evaluación se realizó en tres temporadas: primavera (noviembre de 2022), verano (enero de 2023) y otoño (abril de 2023). En las tres ocasiones se evaluó 6 hileras de 10 plantas, 3 de ellas establecidas en la línea de subsulado y las tres hileras restantes en las entrelíneas sin subsolar (**Figura 2**).

### Evaluación

En ambas plantaciones (efecto cobertura y efecto subsulado) la medición de la fluorescencia de clorofila se realizó con un fluorómetro, equipo que permite obtener una serie de parámetros que describen los diferentes fenómenos que ocurren a nivel de los fotosistemas de las plantas. Se efectuó en una hoja por planta, previamente puesta en oscuridad por 30 minutos mediante una pinza específica para tal propósito (**Figura 3**). Se registró los valores de  $F_0$  (nivel mínimo de fluorescencia después que la hoja en oscuridad es expuesta a un rayo específico de luz emitido por el fluorómetro);  $F_m$  (nivel máximo de fluorescencia de la misma hoja, después de ser expuesta a pulsos cortos de luz actínica de alta densidad de flujo fotónico);  $F_v$  (fluorescencia variable, que corresponde la diferencia entre  $F_m$  y  $F_0$ ); y la relación  $F_v/F_m$  que es un buen indicador de plantas expuestas a diversos estreses bióticos y abióticos cuando están en presencia de luz (Salazar *et al.*, 2016). En hojas maduras y sanas los valores normales de  $F_v/F_m$  son cercanos a 0,8, su disminución indica la pérdida de la función fotosintética.

Se registró, además, como variables descriptivas del estado de las plantas, la altura (H), diámetro de cuello (DC) y vigor, este último mediante una apreciación visual que clasifica a las plantas en una escala cualitativa de cuatro categorías, desde 1 (planta sana) hasta 4 (planta muerta), tal como se indica en el **Cuadro 1**.

Los datos obtenidos fueron tabulados, se les efectuó análisis de varianza y Prueba de Tuckey (5%) para determinar diferencias en el efecto de la cobertura y subsulado sobre el vigor y crecimiento de las plantas. Se calculó también correlaciones entre tales variables y las lecturas registrada con fluorómetro ( $F_v/F_m$ ).

**Cuadro 1.** Categorías de vigor de plantas utilizadas en la evaluación

Vigor	Descripción
1	Planta sana, vigorosa, sin indicios de daño, capaz de crecer a la fecha de evaluación.
2	Plantas con ápice o follaje dañado, pero que no compromete su supervivencia.
3	Planta viva, pero débil, dañada, o secándose, con escasas posibilidades de supervivencia
4	Planta muerta.



**Figura 1.** Situaciones con y sin cobertura de dosel arbóreo superior utilizadas durante la evaluación de estrés en parcelas de plantación de hualo.



**Figura 2.** Ensayo de preparación de suelo, mostrando hileras de plantación sobre las líneas de subsolado (amarillo) y en entrelíneas sin subsolar (celeste).



Figura 3. Fluorómetro y pinza para oscurecimiento de hojas (izquierda); medición de plantas en terreno (derecha).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto Cobertura

En una evaluación preliminar, a los tres meses de edad, el ensayo de cobertura presentaba una supervivencia cercana al 100%, con la mayoría de sus plantas en la categoría de vivas y vigorosas, situación esperable debido a las favorables condiciones ambientales que enfrentan las plantas durante el invierno e inicio de primavera. Después de un año, se observó una importante disminución de la supervivencia, la que se reduce hasta el orden del 65%, a la vez, aumenta la proporción de plantas débiles y regulares, y se reduce muy considerablemente la proporción de plantas vigorosas.

Independientemente de la magnitud de las diferencias observadas en las parcelas de plantación entre los 3 meses y un año, es normal que después del primer periodo estival en terreno se manifieste un aumento de mortalidad de plantas. Ello es consecuencia del relativamente alto estrés ambiental (térmico e hídrico) que las plantas deben enfrentar estando aún en un muy incipiente estado de desarrollo.

Los resultados que se presentan en este artículo corresponden a los 29 a 34 meses de edad del ensayo, ocasión en que se evaluó fluorescencia como indicador de estrés, crecimiento y vigor de las plantas. El resumen de esta evaluación, sintetizada en el **Cuadro 2**, destaca que en todas las situaciones las plantas muestran valores de  $F_v/F_m$  inferiores a 0,8, signo de que están experimentando, en distintos grados, el efecto de factores de estrés que reducen su eficiencia fotosintética. En cuanto a crecimiento en altura y diámetro de cuello, no se manifestó diferencias atribuibles al efecto de la cobertura, situación que si fue observada para el parámetro  $F_v/F_m$ .

La variación de los valores de  $F_v/F_m$  entre temporadas de evaluación, y en las distintas condiciones de cobertura del dosel superior, se resume en el **Cuadro 3**. En él se observa que en términos estadísticos existen diferencias significativas en los valores de  $F_v/F_m$  presentados por las plantas con y sin cobertura ( $p$ -value = 0,0014), donde contrariamente a lo esperado, las plantas sin cobertura presentan una mejor condición (valores  $F_v/F_m$  más altos) que las plantas bajo protección (0,74 vs 0,69 respectivamente), indicando que el grado de estrés de las plantas bajo un dosel superior es mayor que en una condición abierta sin cobertura.

Respecto al efecto de la temporada (primavera verano otoño) este no resulta significativo ( $p$ -value = 0,1755). Por su parte la interacción entre cobertura y época de medición resulta significativa ( $p$ -value = 0,0044), observándose que el mayor estrés (menores valores de Fv/Fm) ocurre durante el verano en las plantas que cuentan con dosel arbóreo de protección; el menor estrés ocurre en las plantas sin cobertura también durante el verano, aun cuando no se diferencia del observado en otoño sin cobertura y el de primavera con o sin cobertura (**Cuadro 3**).

**Cuadro 2.** Evaluación de fluorescencia de clorofila (Fv/Fm) y crecimiento de plantas de 29 a 34 meses de edad con y sin cobertura de dosel de protección.

Temporada	Cobertura	n	Fv/Fm	H (cm)	DC (mm)
Primavera (Noviembre, 2022)	Sin cobertura	25	0,726	40,8	5,6
	Con cobertura	27	0,741	38,9	4,9
	<i>Promedio</i>	52	<i>0,734</i>	<i>39,8</i>	<i>5,3</i>
Verano (Enero, 2023)	Sin cobertura	25	0,758	41,4	5,4
	Con cobertura	27	0,654	38,4	5,1
	<i>Promedio</i>	52	<i>0,703</i>	<i>39,8</i>	<i>5,3</i>
Otoño (Abril, 2023)	Sin cobertura	25	0,748	38,5	5,1
	Con cobertura	27	0,680	34,5	4,7
	<i>Promedio</i>	52	<i>0,717</i>	<i>36,7</i>	<i>4,9</i>
Promedio General		156	0,718	38,9	5,2

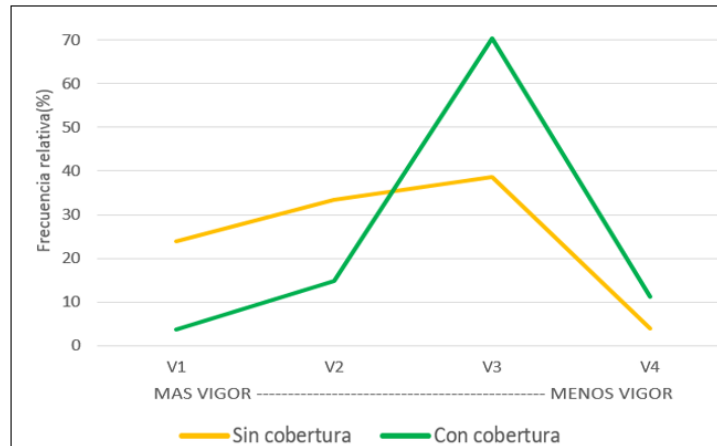
**Cuadro 3.** Variación de los valores de Fv/Fm entre temporadas y condición de cobertura

	Con cobertura	Sin cobertura	Efecto Temporada
Primavera	0,74 <sup>ab</sup>	0,72 <sup>ab</sup>	<b>0,73<sup>a</sup></b>
Verano	0,65 <sup>c</sup>	0,76 <sup>a</sup>	<b>0,71<sup>a</sup></b>
Otoño	0,68 <sup>bc</sup>	0,74 <sup>ab</sup>	<b>0,70<sup>a</sup></b>
<b>Efecto Cobertura</b>	<b>0,69<sup>b</sup></b>	<b>0,74<sup>a</sup></b>	

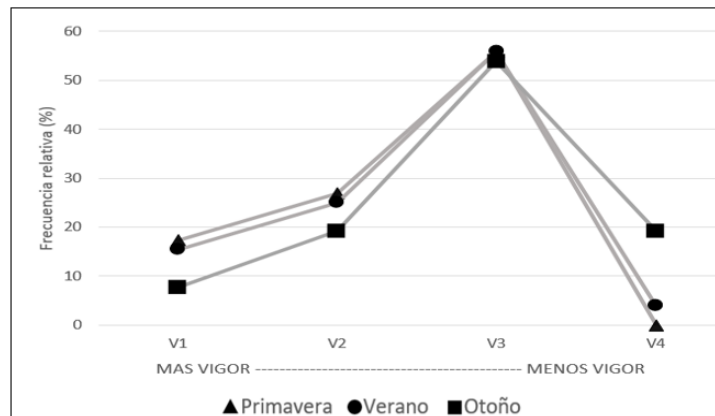
En **negrita** la diferenciación del efecto principal de los factores temporada ( $p$ -value = 0,1755) y cobertura ( $p$ -value= 0,0014); en sombreado diferenciación de la interacción entre los factores temporada y cobertura ( $p$ -value = 0,0044)

Análogamente a lo ocurrido con el estimador de estrés Fv/Fm, la distribución de plantas en categorías de vigor muestra el mismo comportamiento. Existe una diferencia evidente en la distribución de plantas de las condiciones con y sin cobertura, observándose que las plantas bajo dosel arbóreo se concentran en las categorías de bajo vigor (V3) y presentan menos plantas en las categorías vigorosas (V1 y V2), en relación lo observado para las plantas que crecen sin cobertura (**Figura 4**). De la misma forma y tal como ocurre con el parámetro Fv/Fm, las distribuciones de las plantas en categorías de vigor son muy similares entre temporadas (**Figura 5**).

Como efecto principal, independiente de la temporada, las plantas con cobertura presentan mayor estrés (**Cuadro 3**) y mayor concentración de plantas en categorías de bajo vigor (**Figura 4**), que aquellas creciendo en terreno descubierto. Existe una evidente correlación entre la respuesta al estrés exhibida por las plantas y estimada a través de la fluorescencia de clorofila y la apreciación en terreno del vigor de las mismas. Los coeficientes de correlación de la fluorescencia (estrés) con indicadores de vigor, como el vigor medio y la supervivencia, y con parámetros de crecimiento (altura y diámetro de cuello) se presenta en el **Cuadro 4**. En general el indicador de estrés se correlaciona mejor con los indicadores de vigor, que con los parámetros de crecimiento, siendo la mayor correlación la que se presenta entre las categorías de vigor y el valor de Fv/Fm (-0,435). En este caso la correlación es inversa, por cuanto las categorías de vigor son decrecientes, los números bajos son para plantas más vigorosas y los números altos para plantas menos vigorosas



**Figura 4.** Distribución de plantas de hualo en 4 categorías de vigor para distintas condiciones de cobertura.



**Figura 5.** Distribución de plantas de hualo en 4 categorías de vigor para las temporadas de primavera, verano y otoño.

**Cuadro 4.** Coeficientes de correlación entre el estimado de estrés  $F_v/F_m$  y variables indicativas de crecimiento y vigor en plantas de hualo de 28 a 34 meses en ensayo de cobertura.

	H	DC	Vigor medio	Supervivencia
$F_v/F_m$	0,26358566	0,20852818	-0,43543652	0,30792119

Los resultados obtenidos indican que, si bien los factores de estrés como la alta temperatura, insolación y sequía ocurren en forma simultánea durante la estación estival, no sería la temperatura ni la insolación la principal causa del estrés experimentado por las plantas, por cuanto la sombra ofrecida por el dosel de protección, que en teoría reduce la temperatura e insolación, no redujo el nivel de estrés de las plantas plantadas, ni mejoró su concentración en las categorías de mayor vigor.

La causa más relevante del estrés probablemente obedezca a la competencia por el agua disponible en el suelo, la cual sería principalmente utilizada por los individuos que forman el dosel de cobertura superior, los cuales cuentan con un mayor sistema radicular en relación a la de las plantas evaluadas y de tal forma

limitan su desarrollo. Consecuentemente las plantas ajo dosel enfrentan mayor estrés hídrico debido a la competencia ofrecida por la vegetación del estrato superior y por lo mismo exhiben menos vigor.

Esta explicación es coincidente con la expresada por Gajardo *et al.* (2021) quienes tras distintas iniciativas de restauración de bosque maulino costero afectado por incendios, cuestionan la conveniencia de realizar establecimiento de hualo bajo nodrizas, especialmente si existen limitaciones de agua.

### Efecto Subsulado

El ensayo establecido en condición con y sin subsulado fue evaluado inicialmente, después de una temporada de crecimiento en terreno, en esa ocasión la supervivencia de las plantas fue ligeramente superior para el tratamiento de subsulado (85,6%) que para el testigo sin subsolar (81,8%). Sin embargo, no se observó diferencias estadísticamente significativas entre el subsulado y el testigo en lo que respecta a crecimiento en altura y diámetro de cuello ni tampoco en términos del estrés experimentado por las plantas, determinado mediante fluorescencia de clorofila y expresado como la relación Fv/Fm, (Quiroz *et al.*, 2021; 2022). El vigor de las plantas, evaluado en una escala cualitativa de cuatro categorías, tampoco exhibió diferencias significativas atribuibles al subsulado.

Las mediciones posteriores que se evalúan en este artículo fueron realizadas en la primavera 2022, verano 2022/23 y otoño 2023, correspondientes a la tercera temporada de crecimiento (**Cuadro 5**). En esta ocasión se hace más evidente el positivo efecto del subsulado sobre la supervivencia, se hace extensivo al crecimiento en altura ( $p\text{-value} = 0,0017$ ) y diámetro de cuello ( $p\text{-value} = 0,0001$ ) y también a la relación Fv/Fm, aunque en este último caso el efecto es apenas significativo ( $p\text{-value} = 0,0495$ ) (**Cuadro 6**).

**Cuadro 5.** Evaluación de estrés y crecimiento de plantas de hualo de 29 a 34 meses de edad con y sin subsulado.

Medición	Tratamiento	n	Fv/Fm	H (cm)	DC (mm)
Primavera (Noviembre, 2022)	Subsulado	30	0,743	50,0	9,6
	Sin subsolar	30	0,735	40,5	7,4
	Promedio Primavera	60	0,739	45,3	8,5
Verano (Enero, 2023)	Subsulado	30	0,725	57,6	10,2
	Sin subsolar	30	0,692	46,8	8,1
	Promedio Verano	60	0,710	52,7	9,2
Otoño (Abril, 2023)	Subsulado	30	0,740	63,2	11,5
	Sin subsolar	30	0,708	50,5	9,2
	Promedio Otoño	60	0,727	57,9	10,5
Promedio General		180	0,725	51,2	9,3

**Cuadro 6.** Caracterización de plantas de hualo durante su tercera temporada de crecimiento en suelo subsulado y sin subsolar

Tratamiento del suelo	Supervivencia (%)	Altura (cm)	Diámetro de cuello (mm)	Fv/Fm
Subsulado	57,1	56,79 <sup>a</sup>	10,42 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>
Sin subsolar	44,7	46,59 <sup>b</sup>	8,31 <sup>b</sup>	0,71 <sup>b</sup>
<i>p-value</i>		0,0017	0,0001	0,0495

Respecto al parámetro Fv/Fm, este no experimentó variación significativa entre temporadas, tal como ya había sido observado en el ensayo de cobertura del punto anterior; tampoco interacción entre temporada y subsulado; y solo un pequeño efecto, aunque estadísticamente significativo, del factor subsulado. En esta



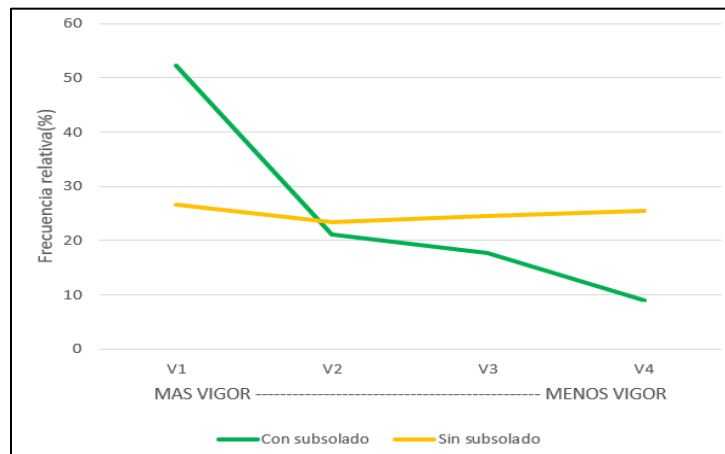
última condición las plantas evidenciaron menos estrés, es decir valores de Fv/Fm más altos que en el suelo sin subsolar (**Cuadro 7**).

**Cuadro 7.** Variación de los valores de Fv/Fm entre temporadas y tratamiento del suelo

	Con subsolado	Sin subsolado	Efecto temporada
Primavera	0,74 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>	<b>0,74<sup>a</sup></b>
Verano	0,73 <sup>a</sup>	0,69 <sup>a</sup>	<b>0,71<sup>a</sup></b>
Otoño	0,74 <sup>a</sup>	0,71 <sup>a</sup>	<b>0,72<sup>a</sup></b>
<b>Efecto subsolado</b>	<b>0,74<sup>a</sup></b>	<b>0,71<sup>b</sup></b>	

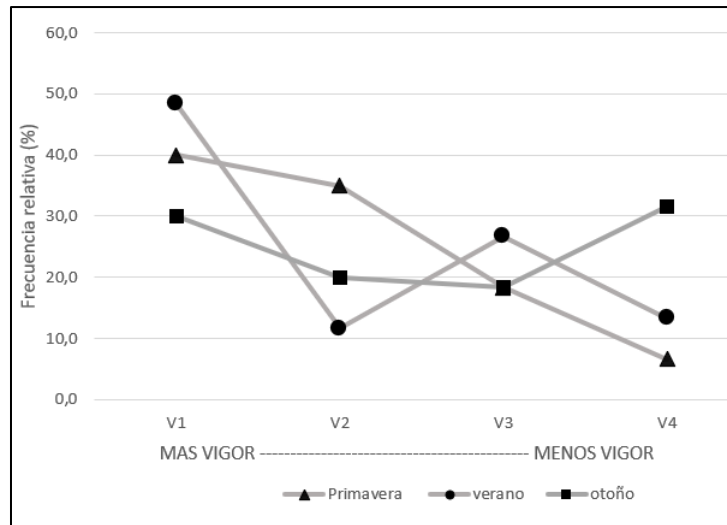
En **negrita** la diferenciación del efecto principal de los factores temporada ( $p$ -value = 0,1039) y subsolado ( $p$ -value= 0,045); en **sombreado** diferenciación de la interacción entre los factores temporada y cobertura ( $p$ -value = 0,6343)

El comportamiento de Fv/Fm es consistente con lo observado en la distribución de plantas en categorías cualitativas de vigor, situación que ya había sido observada en el caso del ensayo de cobertura del punto anterior. En el subsolado, donde las plantas presentan menos estrés de acuerdo a lo indicado por Fv/Fm, existe aproximadamente el doble de individuos en la categoría más vigorosa (categoría 1), y una proporción considerablemente menor de plantas muertas o de menor vigor (categorías 4 y 3, respectivamente) que en el testigo sin subsolar (**Figura 6**). Por su parte la distribución de plantas en categorías de vigor entre temporadas no exhibe tendencias claras, resultando en un comportamiento heterogéneo (**Figura 7**) que contrasta con la regularidad observada en el ensayo anterior (**Figura 5**).



**Figura 6.** Distribución de plantas de hualo en 4 categorías de vigor para distintas condiciones de cobertura.

La correlación entre el estimador de estrés (Fv/Fm) y el vigor cualitativo de las plantas es evidente, y en este caso se extiende también a las variables de crecimiento y a la supervivencia, tal como se detalla en los coeficientes de correlación del **Cuadro 8**.



**Cuadro 8.** Coeficientes de correlación entre el estimado de estrés Fv/Fm y variables indicativas de crecimiento y vigor en plantas de hualo de 28 a 34 meses en ensayo de subsolado.

	H	DC	Vigor Medio	Superv
<b>Fv/Fm</b>	0,447610798	0,311732119	-0,6009811	0,436782402

La preparación del sitio de plantación juega un papel fundamental en la mejora de la disponibilidad de agua y de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del suelo, afectando en gran medida la supervivencia de las plantas (Marzo *et al.*, 2015). Particularmente, los suelos del secano costero presentan cierto grado de compactación, esta compactación limita el crecimiento radicular y la cantidad de aire y agua de que disponen las raíces, influyendo así en la supervivencia y desarrollo de las plantas. Por lo mismo, la práctica del subsolado tiene un indiscutido efecto para mejorar el establecimiento y se ha constituido en una labor habitual en la preparación de suelos para plantaciones forestales.

Lo anterior queda de manifiesto en los resultados del presente estudio, donde conforme a lo esperado, las plantas presentan un mejor desempeño en términos de crecimiento, supervivencia, vigor y estrés cuando están establecidas en suelo subsolado que en el testigo sin subsolar.

Respecto de la ausencia del efecto del subsolado sobre esas variables durante la primera temporada de crecimiento, esta se debería a que en ese periodo las raíces se expandirían solo dentro de la casilla de plantación, de modo que la compactación del suelo no constituiría aún una restricción para el crecimiento radicular de las plantas durante el primer año post plantación. Sin embargo, en las temporadas posteriores, a medida que las plantas crecen y sus raíces requieren explorar niveles más profundos del suelo, comienza a hacerse evidente la ventaja que representa efectuar subsolado para establecer la plantación, tal como se evidenció en este estudio.

## CONCLUSIONES

Durante los primeros años post establecimiento, las plantas de hualo enfrentan condiciones severas que limitan su establecimiento y que se manifiestan en niveles de estrés y pérdidas de vigor que se hacen mayores en las condiciones donde prevalece un dosel superior de cobertura arbórea (o en suelos sin subsolar), respecto del que manifiestan en condiciones sin cobertura (o suelo subsolado).

La fluorescencia de clorofila, usada como un estimador de estrés mediante el parámetro Fv/Fm, confirma un comportamiento consistente con el vigor de las plantas observado en terreno, y en medida variable con parámetros de crecimiento de las mismas.

## REFERENCIAS

- Ceacero, C., Díaz, J., del Campo, A. & Navarro, R. (2012).** Early assessment of forest restoration techniques using chlorophyll fluorescence and diagnosis of oak (*Quercus ilex* sub. *ballota*) seedlings vitality. *Bosque*, 33(2): 191-202.
- Gajardo, J., Ormazábal, Y., Yáñez, M., Gómez, P., Garrido, P., Hahn, S., Mora, M. & Carrasco, M. (2021).** Informe final del proyecto FIBN 10/2017. Datos y técnicas de teledetección para la restauración ecológica de los bosques nativos degradados por incendios forestales. Talca, Chile. 127 p.
- González, S., Perales, H. & Salcedo, M. (2008).** La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica* 27(4): 119-129.
- Jimenez, M., Alvarado, O. & Balaguera, H. (2015).** Fluorescencia como indicador de estrés en *Helianthus annuus* L. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1): 149-160. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3753>
- Marzo, A., Herreros, R. & Zreik, Ch. (Eds). (2015).** Guía de Buenas Prácticas de Restauración en Hábitats Mediterráneos. Ecoplantmed, ENPI, CBC-MED.
- Maxwell, K., & Johnson, G. (2000).** Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345): 659-668. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659>
- Quiroz, I., Espinoza, S., Yáñez, M., Magni, C., Martínez, E., Gutiérrez, B., Faúndez, A. & Vaswani, S. (2022).** Provenance causes variation on early growth and survival and sun protection on physiological responses of the vulnerable *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser in a common garden in Central Chile. *Environmental and Sustainability Indicators*, 15, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100192>
- Quiroz, I., Gutiérrez, B., Magni, C., Faúndez, A., Martínez, E., Espinoza, S. & Yáñez, M. (2021).** Técnicas de Conservación de Hualo en el Secano Costero en Comunidades Boscosas Mediterráneas. Informe Técnico Anual Ensayos Experimentales. Contrato de Desempeño INFOR-Subsecretaría de Agricultura. (Informe interno no publicado). Diciembre 2021. 32 p.
- Roháček, K., Soukupová, J. & Barták, M. (2008).** Chlorophyll fluorescence: a wonderful tool to study plant physiology and plant stress. *Plant Cell Compartments-Selected Topics. Research Signpost, India*, 661(2): 41-104.
- Salazar, C., Pino, MT. & Villagra, P. (2016).** La emisión de fluorescencia de la clorofila a: una herramienta para la detección del efecto del estrés hídrico en el aparato fotosintético de la papa. En: Pino, MT. (Ed). *Estrés hídrico y térmico en papas, avances y protocolos*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Platina. Santiago. Boletín INIA, N° 331. Capítulo 6. Pp: 71-85.