

Viticultura protegida: uso de mallas sombreadoras fotoselectivas como una herramienta para enfrentar la crisis climática en uva de mesa en el norte de Chile

Protected viticulture: use of photoselective shade nets as a tool to address climate crisis in table grapes in northern Chile

Nicolás Verdugo-Vásquez¹, Emilio Villalobos-Soublett², Bruno Defilippi³, Gastón Gutiérrez-Gamboa⁴ y Marco Garrido⁵

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, INIA Intihuasi, La Serena, Chile.

² Programa de Doctorado en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias, Campus Sur, Universidad de Chile, Santiago, Chile

³ Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, INIA La Platina, Santiago, Chile.

⁴ Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, INIA Carillanca, Temuco, Chile.

⁵ Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Ovalle, Chile.

Resumen. La producción de uva de mesa en Chile, que abarca más de 43,000 hectáreas, es un sector agrícola clave, siendo uno de los principales exportadores. Sin embargo, la crisis climática, caracterizada por la reducción de lluvias, las olas de calor y la desertificación, plantea importantes desafíos. Para enfrentar estos problemas, un proyecto de innovación introdujo mallas sombreadoras fotoselectivas para modificar los microambientes de los viñedos y reducir las necesidades de agua. Se realizaron ensayos durante tres temporadas (2020-2023) en cinco variedades de uvas en el Valle del Elqui. El estudio comparó plantas cultivadas al aire libre con aquellas bajo mallas sombreadoras de diferentes colores y niveles de sombreamiento. Los resultados mostraron mejoras en las condiciones microclimáticas, como una menor radiación solar, reducción de la velocidad del viento y mayor humedad del suelo. Las necesidades de agua disminuyeron entre un 10-24%, lo que se tradujo en un aumento de la productividad del 15% en comparación con la producción al aire libre. No hubo diferencias significativas en las etapas previas a la cosecha ni en la incidencia de plagas o enfermedades. Los resultados de poscosecha indicaron que no hubo efectos significativos en la calidad de la fruta, aunque los racimos presentaron menos deshidratación y la firmeza de las bayas mejoró bajo las mallas. El estudio concluyó que las mallas sombreadoras fotoselectivas son una herramienta efectiva para mejorar la producción de uva de mesa en el norte de Chile, enfrentando los desafíos climáticos. Sin embargo, es crucial reciclar estas mallas al final de su vida útil para garantizar la sostenibilidad.

Abstract. The production of table grapes in Chile, covering over 43,000 hectares, is a key agricultural sector, being a leading exporter. However, the climate crisis, characterized by reduced rainfall, heatwaves, and desertification, poses significant challenges. To combat these issues, an innovation project introduced photoselective shade nets to modify vineyard microenvironments and reduce water needs. Trials were conducted over three seasons (2020-2023) on five grape varieties in the Elqui Valley. The study compared plants grown outdoors with those under shade nets of varying colors and shading levels. Results showed improved microclimatic conditions, such as lower solar radiation, reduced wind speeds, and increased soil moisture. Water requirements decreased by 10-24%, translating into a 15% productivity boost compared to outdoor production. There were no significant differences in pre-harvest stages or pest/disease incidence. Postharvest results indicated no significant effects on fruit quality, although rachises were less dehydrated, and berry firmness improved under the nets. The study concluded that photoselective shade nets are an effective tool to enhance table grape production in northern Chile, addressing climate challenges. However, recycling these nets at the end of their lifespan is crucial for sustainability.

1. Introducción

La producción de uva de mesa en Chile es de gran relevancia, siendo uno de los principales frutales establecidos con más de 43.000 ha, distribuidas en una diversidad climática, desde el límite sur del desierto de Atacama hasta la zona mediterránea. Por otro lado, Chile es uno de los principales exportadores de uva de mesa. Los productores deben enfrentar los desafíos que impone la crisis climática, como la disminución de la pluviometría, aumento de las olas de calor y eventos de temperaturas extremas durante la temporada de crecimiento, asociado principalmente al proceso de desertificación en el norte de Chile (1). Dentro del desarrollo de estrategias de manejo para hacer frente a la crisis climática, la viticultura protegida, concepto que engloba los distintos sistemas de protección que se utilizan para el cultivo de la vid bajo condiciones controladas, surge como una alternativa. En este sentido, en zonas de alta radiación solar, temperaturas altas extremas y alta demanda atmosférica, el uso de mallas sombreadoras, podrían ser de utilidad, mejorando el confort ambiental de las vides (2 y 3). Dentro del desarrollo de mallas sombreadoras, elaboradas a partir de monofilamentos de polietileno de alta densidad (HDPE), en el mercado existe una amplia gama de productos, diferenciándose principalmente por el porcentaje de sombreamiento, siendo de color cristal sus hilos. Sin embargo, en los últimos años, se han desarrollado mallas sombreadoras fotoselectivas, con diferentes colores, que permiten modificar la cantidad, calidad y distribución de luz en los cultivos (4). En el norte de Chile, donde se distribuye el 30% de la producción de uva de mesa del país, se utilizan mallas sombreadoras genéricas (color cristal), sin existir experiencias sobre el uso de mallas sombreadoras fotoselectivas y sus efectos en características climáticas, hídricas, productivas, entre otras. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es dar a conocer los principales resultados de la evaluación de mallas sombreadoras fotoselectivas en la producción de uva de mesa, considerando aspectos climáticos, hídricos, fisiológicos, productivos y de postcosecha.

2. Materiales y método

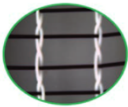
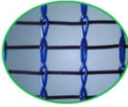
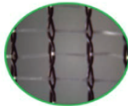
2.1. Sitios experimentales

En la región de Coquimbo, Chile, provincia del Elqui, en 3 localidades (Vicuña, Diaguitas y Paihuano) se establecieron ensayos, durante 3 temporadas agrícolas consecutivas (desde el año 2020 al año 2023), considerando en total 8 variedades de uva de mesa (variedades blancas, rojas y negras).

2.2. Tratamientos

Los tratamientos consistieron en la evaluación de 3 mallas sombreadoras fotoselectivas versus plantas al aire libre (control). Características de las mallas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Mallas sombreadoras fotoselectivas evaluadas.

Malla (color)	Nº hilos por cm ²	Porcentaje de sombra según fabricante (%)	Fotografía
Blanco/Negro	2,6 x 3,0	16	
Azul/Gris	4,0 x 4,0	23	
Perla/Gris	4,0 x 4,0	22	

Las mallas fueron montadas durante el invierno 2020, dejadas de forma permanente durante y entre las temporadas. Se colocaron en forma de “techo”, paralelo al follaje, a 1,5 m sobre éste y los bordes abiertos. En cada localidad y variedades, se establecieron los 4 tratamientos (3 mallas y control), con un diseño completamente al azar, con 3 repeticiones, donde cada repetición abarcaba una superficie de 240 m². Detalle de un ensayo (Diaguitas, variedad Timco®) se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Ensayo de mallas sombreadoras fotoselectivas establecido en Diaguitas, región de Coquimbo, Chile. Uva de mesa, variedad Timco®.

2.3. Evaluaciones

Se realizaron evaluaciones tanto del ambiente como en la planta. Del ambiente, se evaluó la temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, déficit de presión de vapor e índices de estrés (número de días con temperaturas sobre 30°C), para lo anterior, se establecieron sensores en las diferentes condiciones. Con todo los datos, se estimó la evapotranspiración de referencia. Adicionalmente se evaluó el contenido de humedad del suelo a 2 profundidades (0,2 y 0,4 m de profundidad). En la planta, se realizaron evaluaciones del estado hídrico (potencial hídrico de xilema, fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática), fertilidad de yemas, peso de poda, fenología, estado nutricional (contenido de macro y micro elementos), productividad y condición de la fruta en pre y postcosecha. Adicionalmente se calculó la productividad del agua, mediante el cociente

entre la producción total y el agua aplicada durante la temporada.

2.4. Análisis estadísticos

Se realizaron análisis estadísticos por separada, para cada localidad-variedad-temporada, usando un análisis de varianza de una vía. De igual forma, se analizó toda la información disponible en conjunto, considerando un modelo lineal mixto, considerando los factores “tratamientos” (mallas), temporada y localidad. Al haber diferencias significativas, la separación de medias se hizo con el test de LSD al nivel de significancia del 5%.

3. Resultados

En la Tabla 2, se muestran los resultados del índice de estrés térmico obtenido durante la temporada 2020-21 en las localidades de Paihuano y Diaguitas, para los diferentes tratamientos (mallas y plantas al aire libre). Se observa que en ambas localidades, las condiciones ambientales bajo malla fueron menos estresantes, respecto a las plantas al aire libre, con diferencias en el índice de estrés entre las mallas y plantas al aire libre cercano al 15%. Respecto a las temperaturas diarias, las mayores diferencias se observaron para las temperaturas máximas, siendo menores bajo mallas (1°C aproximadamente), mientras que las temperaturas mínimas fueron 0,1°C superiores bajo malla (datos no mostrados).

Tabla 2. Índice de estrés térmico (N° días temperatura máxima es superior a 30°C)* obtenido en las distintas localidades, durante la temporada 2020-21.

Localidad	Tratamiento	T>30°C
Diaguitas	Aire libre	80
	Malla blanco/negro	78
	Malla azul/gris	65
	Malla perla/gris	68
Paihuano	Aire libre	143
	Malla blanco/negro	138
	Malla azul/gris	141
	Malla perla/gris	129

*Calculados durante la temporada de crecimiento (septiembre a mayo).

Las otras variables ambientales que se modificaron por el uso de las mallas fue la radiación solar y velocidad del viento, donde bajo mallas se presentaron valores más bajos respecto a las plantas al aire libre. Esto generó que las plantas bajo malla tuvieran una menor evapotranspiración de cultivo (estimada con el método FAO-56), como se observa en la Figura 2.

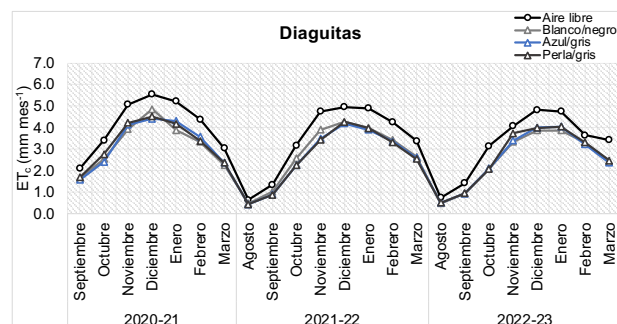


Figura 2. Evolución mensual promedio de la Evapotranspiración (ETc) en plantas al aire libre y bajo malla blanco/negro, azul/gris, y perla/gris en Diaguitas, Región de Coquimbo, a lo largo de tres temporadas.

La diferencia en los requerimientos hídricos varió entre 10 y 24% durante las tres temporadas evaluadas, respecto a las mallas y plantas al aire libre. Estos resultados fueron estables durante las 3 temporadas evaluadas y de importancia para la realidad productiva del norte de Chile, donde la disponibilidad hídrica es limitada. Por otro lado, el comportamiento fotosintético (fotosíntesis, An) de las plantas bajo malla presentó algunas mejoras respecto a las plantas al aire libre (Figura 3).

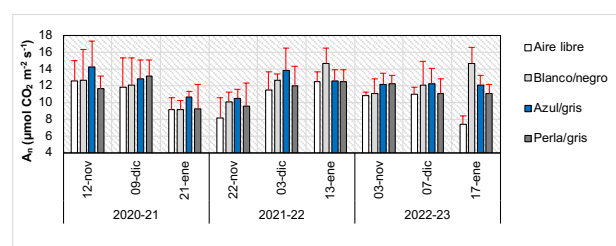


Figura 3. Evolución estacional de la fotosíntesis en plantas bajo mallas y al aire libre a lo largo de tres temporadas en la variedad Timco® ubicado en Diaguitas, Región de Coquimbo.

Se presentan valores de fotosíntesis medidos bajo los diferentes tratamientos, para la variedad Timco® durante 3 temporadas, y en cada temporada 3 fechas, abarcando los estados fenológicos de cuaja, envero y cosecha. En alguna de las fechas se observa un aumento de la fotosíntesis de las plantas bajo malla, especialmente de la malla azul/gris.

Respecto a la productividad, en la Figura 4 se muestran características del racimo, específicamente peso del racimo (g) obtenido en los diferentes tratamientos, para la localidad de Vicuña, variedad Timco®. Se observa que en 1 de las 3 temporadas evaluadas, hubo diferencias significativas de esta variable. Cabe mencionar, que en la producción de uva de mesa, existe una serie de manejos en los racimos (eliminación de racimos y de bayas) lo cual podría dificultar encontrar diferencias entre los tratamientos.

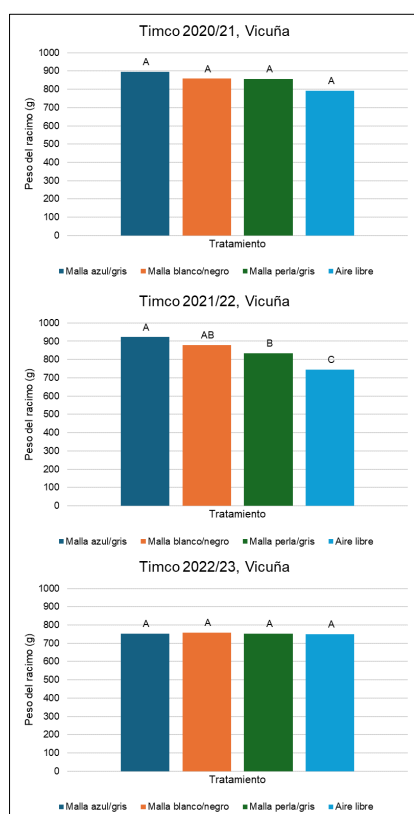


Figura 4. Peso de racimo evaluado bajo las diferentes mallas y por temporada en la variedad Timco® ubicada en Vicuña.

Respecto a la productividad del agua (kg fruta/m^3 agua aplicada), calculado como el cociente entre la producción obtenida y el agua aplicada durante la temporada, los principales resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Productividad del agua (P.A) de los distintos tratamientos evaluados en las diferentes localidades, considerando las 3 temporadas evaluadas y variedades.

Localidad	Tratamiento	P.A (Kg/m ³)
Vicuña	Malla blanco/negro	6.7 a
	Malla azul/gris	6.6 a
	Malla perla/gris	6.8 a
	Aire libre	5.1 b
Diaguitas	Malla blanco/negro	4.1 a
	Malla perla/gris	3.9 a
	Malla azul/gris	4.1 a
	Aire libre	3.1 b
Paihuano	Malla blanco/negro	3.8 b
	Malla azul/gris	4.3 a
	Malla perla/gris	3.6 b
	Aire libre	2.7 c

Las letras indican diferencias estadísticas, donde tratamientos con la misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la prueba estadística LSD (5%).

Se observa que hubo diferencias significativas para la productividad del agua (Table 3), en donde en todas las localidades, el uso de mallas mejoró este indicador respecto a las plantas al aire libre. Este aumento en productividad del agua varió entre el 23% y el 30% según la localidad.

Respecto a la condición de la fruta en postcosecha, una variable de interés comercial es la firmeza de las bayas (expresado en g/mm), medida como la fuerza necesaria para deformar la baya 1 mm. Se evaluó esta variable durante 3 momentos, que corresponde al momento de la cosecha (Llegada), luego de 30 días de almacenaje en frío, simulando condiciones de traslado de fruta (Salida de frío) y condición de venta de fruta (Shelf life) que corresponde a fruta de “salida de frío” expuesta por 48 horas a temperatura ambiente (20°C). Los resultados obtenidos para la variable firmeza se presentan en la Figura 5. Se observa que el uso de las mallas sombreadoras fotoselectivas que no modifican esta variable, presentando valores de firmeza similar a la fruta obtenida de las plantas al aire libre. Cabe mencionar que en todas las situaciones, el valor de firmeza se mantuvo por sobre 250 g/mm , valor que es considerado como mínimo (línea roja, Figura 5) para obtener fruta de exportación.

Las otras variables medidas en el proyecto, como fenología, madurez de fruta, vigor, fertilidad de yemas, estado nutricional y fitosanitario mostraron diferencias puntuales y en la mayoría de los casos no significativas, por lo cual, si los productores utilizan la tecnología de mallas fotoselectivas en sus sistemas productivos, el principal manejo que deben modificar corresponde a la gestión del riego, de tal forma de hacer un uso eficiente del recurso hídrico y aprovechar las mejores condiciones ambientales en las cuales las plantas se desarrollan. Futuras investigaciones podrían evaluar si el uso de esta tecnología modifica metabolitos secundarios de la fruta, que podrían ser beneficiosos para la salud de las personas. Por otra parte, esta tecnología considera el uso de plástico en la agricultura, por lo cual se deben evaluar alternativas de uso una vez finalizada la vida útil de las mallas fotoselectivas, como el reciclaje de este material.

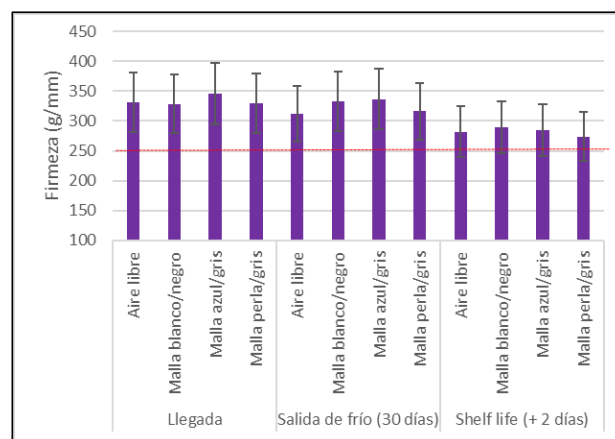


Figura 5. Firmeza de bayas en tres momentos de postcosecha para la variedad Timco®, Diaguitas, Región de Coquimbo. Valores promedios de tres temporadas consecutivas.

4. Conclusiones

Para las condiciones hiper áridas del Norte de Chile, se validó el uso de mallas sombreadoras fotoselectivas como una herramienta de manejo en la producción de uva de mesa, para hacer frente a la crisis climática. Los ajustes de manejo que se deben realizar en las vides bajo mallas se relacionan principalmente con la gestión del riego, debido a las modificaciones ambientales que genera su uso, permitiendo aumentar la productividad del agua, sin afectar cantidad ni calidad de fruta producida.

Aspectos relacionados sobre el reciclaje de las mallas sombreadoras fotoselectivas una vez finalizado su vida útil se deben considerar para aportar a la sustentabilidad de la industria.

5. Referencias

1. Verdugo-Vásquez, N., Orrego, R., Gutiérrez-Gamboa, G., Reyes, M., Zurita-Silva, A., Balbontín, C., Gaete, N., Salazar-Parra, C. *Oeno One*, 57-1, 2023.
2. Gutiérrez-Gamboa, G., Villalobos-Soublett, E., Garrido-Salinas, M., Verdugo-Vásquez, N. *Horticulturae*, 10(176) (2024).
3. Villalobos-Soublett, E., Gutiérrez-Gamboa, G., Balbontín, C., Zurita-Silva, A., Ibacache, A., Verdugo-Vásquez, N. *Horticulturae*, 7(445) 2021.
4. Bastías, R., Manfrini, L., Grappadelli, C. *ChileanJar*, 72(2) 2012.