

Mallas fotoselectivas sobre el rendimiento y la calidad del fruto de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en condiciones subtropicales

Photoselective nets on yield and fruit quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) in subtropical conditions

Francisco Peñuelas-Montoya¹ , Fortunato Ruiz-Martínez¹ , Everardo López-Bautista^{1*} ,
Ramiro Maldonado-Peralta² , Jaime Antonio Miranda-Valdez¹ 

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte; Calle 16 S/N esq., Japaraqui, Juan José Ríos, 81110, El Estero, Sinaloa, México.

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave, Carretera a La Brecha S/N, 81149, Burriónito, Guasave, Sinaloa, México.

*Autor para correspondencia: everardolob@uas.edu.mx

Fecha de recepción:

25 de noviembre de 2025

Fecha de aceptación:

19 de diciembre de 2025

Disponible en línea:

6 de febrero de 2026

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-
NoComercial-
CompartirIgual 4.0
Internacional
(CC BY-NC-SA 4.0)

Cómo citar:

Peñuelas-Montoya, F., Ruiz-Martínez, F., López-Bautista, E., Maldonado-Peralta, R., & Miranda-Valdez, J. A. (2026). Mallas fotoselectivas sobre el rendimiento y la calidad del fruto de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en condiciones subtropicales. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 12, e0121008. <https://doi.org/10.30973/aap/2026.12.0121008>

RESUMEN

La producción mundial de arándano crece rápidamente; sin embargo, la radiación solar y las temperaturas extremas pueden limitar el rendimiento y la calidad del fruto. Este estudio evaluó mallas fotoselectivas gris-perla (T1) y azul-gris (T2) frente a un testigo con malla antipájaros (T3) en arándano cv. Biloxi, cultivado en Sinaloa, México. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones (octubre-junio). Se observaron efectos significativos ($p < 0.05$) en producción y calidad. T1 incrementó 68 % el número de bayas por planta y alcanzó $591.44 \text{ kg ha}^{-1}$ (+ 75 % respecto al testigo), mientras T2 presentó valores intermedios ($434.22 \text{ kg ha}^{-1}$). Bajo T1, el diámetro del fruto aumentó 8.5-9.2 % y la firmeza 15 % (75.35-82.70 Shore). Los sólidos solubles en T1 (14.00-15.75 °Bx) fueron comparables al testigo, mientras T2 registró los valores más bajos. En conjunto, la malla gris-perla optimiza el rendimiento y la calidad comercial del arándano.

PALABRAS CLAVE

Estrategias agronómicas, optimización productiva, postcosecha, radiación solar.

ABSTRACT

Global blueberry production is rapidly increasing; however, solar radiation and extreme temperatures can limit yield and fruit quality. This study evaluated gray-pearl (T1) and blue-gray (T2) photoselective nets compared with a bird-net control (T3) in blueberry cv. Biloxi grown in Sinaloa, Mexico. The experiment was established under a completely randomized design with four replicates (October-June). Significant effects ($p \leq 0.05$) were observed on yield and fruit quality. T1 increased berry number per plant by 68 % and reached $591.44 \text{ kg ha}^{-1}$ (+ 75 % relative to the control), whereas T2 showed intermediate values ($434.22 \text{ kg ha}^{-1}$). Under T1, fruit diameter increased by 8.5-9.2 % and firmness by 15 % (75.35-82.70 Shore). Total soluble solids under T1 (14.00-15.75 °Bx) were comparable to the control, while T2 showed the lowest values. Overall, the gray-pearl net optimizes yield and commercial fruit quality in blueberry.

KEYWORDS

Agronomic strategies, postharvest, production optimization, solar radiation.

INTRODUCCIÓN

El arándano (Ericaceae) se posiciona entre las cuatro frutas más relevantes a nivel mundial, tanto por su alto valor comercial como por sus reconocidos beneficios nutricionales. Su popularidad deriva principalmente del abundante contenido de compuestos antioxidantes presentes en sus bayas, los cuales favorecen la salud humana al fortalecer el sistema inmunológico y ayudar en la prevención de diversas enfermedades (Salgado Vargas et al., 2018; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2024). En 2022, la producción mundial de arándanos superó los 1.2 millones de toneladas. Estados Unidos, Canadá, Chile y Perú destacaron como los principales países productores y exportadores (International Blueberry Organization, 2022). México ocupa el sexto lugar en la clasificación global y, según proyecciones, alcanzará las 73,500 toneladas de producción en 2025 (United States Department of Agriculture, 2025). A nivel nacional, Jalisco encabeza la producción con 49.7 % y experimenta un aumento anual de 15.5 %, respaldado por las condiciones edafoclimáticas favorables para el cultivo, además de contar con la tecnología y personal capacitado. Por otro lado, Michoacán se ubicó como el segundo mayor productor a nivel nacional, al alcanzar 18.8 % de participación y crecimiento medio del 16.5 %, seguido por Sinaloa en el tercer lugar de producción (SIAP, 2023).

El arándano se cultiva en regiones con altitudes de 600 msnm a 2,000 msnm (Paredes, 2010). Entre las variedades de mayor interés destaca Biloxi que pertenece al grupo de los arándanos altos del sur, desarrollada por el Servicio Agrícola de Estados Unidos, y caracterizada por su crecimiento erguido, robusto y altamente productiva; sus frutos son de un tono azul pálido, maduran temprano y presentan un tamaño que varía de pequeño a mediano, son sólidos y tienen un excelente sabor (Retamales & Hancock, 2018). Esta variedad tiene un requerimiento bajo de horas frío (HF) y se ajusta bien a la mayoría de los microclimas tropicales y subtropicales en México (García et al., 2023).

A pesar del alto potencial del cultivo de arándano en Sinaloa, este enfrenta desafíos significativos asociados a las condiciones climáticas de la región. Al ser sensible a las temperaturas entre los 28 °C y 30 °C, se pueden producir quemaduras en hojas, reducción en el sabor y la firmeza del fruto. Esto afecta negativa-

mente el rendimiento y calidad de la cosecha (García Rubio et al., 2010; Undurraga et al., 2013). Además, la intensa radiación solar puede provocar fotoinhibición, un fenómeno que ocurre cuando la radiación excede el punto de saturación lumínica de la planta, que van de $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y así dañar los centros de reacción del fotosistema II, además de reducir la eficiencia fotosintética (Blanke, 2000; Moon et al., 1987).

Ante estos desafíos, el uso de mallas fotoselectivas ha emergido como una estrategia prometedora para mejorar el rendimiento y la calidad del fruto en condiciones climáticas adversas. Estas mallas modifican el microclima al filtrar selectivamente ciertas longitudes de onda de la luz solar, lo que influye en procesos fisiológicos clave como la fotosíntesis, el crecimiento vegetativo y la calidad del fruto (Pérez, 2017). Además, las mallas fotoselectivas pueden reducir la incidencia de radiación ultravioleta (UV) y la temperatura bajo su cobertura, protegiendo a las plantas del estrés lumínico y térmico (Shahak et al., 2004).

Estudios previos han demostrado que las mallas fotoselectivas pueden mejorar el rendimiento y la calidad de los frutos en diversos cultivos, como manzanas y uvas (Shahak et al., 2008). No obstante, su aplicación en arándano, particularmente en la variedad Biloxi bajo condiciones como las de Sinaloa, ha sido escasamente documentada.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de mallas fotoselectivas (azul-gris y gris-perla) en el rendimiento y la calidad del fruto de arándano Biloxi en Sinaloa. Se planteó la hipótesis que la reducción de la radiación solar mediante estas mallas mejorará la clasificación y el rendimiento del fruto al mitigar los efectos negativos del estrés lumínico y térmico. Los resultados obtenidos aportan información técnica relevante para optimizar el manejo agronómico del cultivo en regiones con climas extremos, y contribuyen a fortalecer la sostenibilidad y la competitividad del sector productor de arándanos en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó de octubre de 2022 a junio de 2023 en el campo experimental de la empresa ALGACELL, situado en la carretera internacional México 15, en el tramo que conecta las ciudades de Culiacán y Los

Mochis, km 194, en el estado de Sinaloa, México ($25^{\circ} 47' 06''$ N, $108^{\circ} 52' 45''$ O). Se utilizaron plantas de un año de edad de arándano de la variedad Biloxi, irrigadas mediante un sistema de goteo, dispuestas en una sola fila con una separación de 0.50 m entre ellas. El experimento consistió en dos estructuras cubiertas con mallas fotoselectivas de colores, fabricadas con material PEHD virgen al 100 %, que utilizan hilo monofilamento cilíndrico tejido en gasa con una densidad de 4 hilos por cm^2 ($\pm 5\%$). El diseño experimental contempló tres tratamientos: el primero (T1) consistió en una malla con urdimbre color perla y trama gris, que proporciona un 22 % ($\pm 5\%$) de sombra. El segundo (T2) fue una malla con hilos azules en la urdimbre y grises en la trama, con un nivel de sombra del 23 % ($\pm 5\%$), cuyas propiedades fueron especificadas por el fabricante (CampoMallas, Michoacán, México). Para el testigo (T3) se instaló una tercera estructura con malla antipájaros, la cual no modifica la radiación solar incidente, funcionando como referencia a cielo abierto. Se colocaron las mallas a una altura de 2.5 m; y cada una tenía dimensiones de 12 m de largo y 48 m de ancho, formando así una estructura tipo casa sombra con un techo plano de 48 m^2 .

Análisis estadístico

El diseño experimental se estableció bajo un esquema completamente al azar. En cada tratamiento se dispusieron 24 plantas en una única fila, de las cuales se seleccionaron 16 para evitar interferencias en los resultados entre los diferentes tratamientos, lo que permitió establecer cuatro repeticiones de cuatro plantas cada una. Para el análisis de los datos estadísticos, se utilizó el software InfoStat® 2019 (Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina). La comparación de medias entre tratamientos se realizó mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

Medidas de referencia de radiación fotosintéticamente activa (PAR), radiación crítica de luz ultravioleta (uv) y temperatura

Este estudio retoma los datos publicados previamente por Peñuelas Montoya et al. (2024), donde utilizaron, para medir radiación PAR, el sensor LIGHTSCOUT Light Meter Quantum, modelo 3415F (Spectrum Technologies

Inc., Aurora, Illinois, Estados Unidos), la radiación uv con el sensor LIGHTSCOUT Ultraviolet Meter, modelo 3414F (Spectrum Technologies Inc., Aurora, Illinois, Estados Unidos) y la temperatura ambiental con un higrómetro de la marca Extech modelo 445702 (Extech® México, Santiago de Querétaro, México), con rango de -10°C a 60°C . Las lecturas de radiación las obtuvieron en cada malla y la de temperatura se tomó a campo abierto, el horario de las mediciones fue desde las 8:00 hasta las 16:00 horas, con intervalos de una hora y un total de siete repeticiones entre los meses de abril a junio. Se registraron las siguientes reducciones relativas a malla antipájaros: PAR: 19.2 % (malla azul-gris) y 15.1 % (malla gris-perla). uv: 16.0-20.1 % (azul-gris) y 13.0-18.6 % (gris-perla).

Cosecha

La recolección de los frutos fue manual. Se realizó semanalmente desde el 19 de mayo hasta el 9 de junio (4 cosechas) a partir de la aparición de los primeros frutos maduros y como indicador de cosecha fue utilizado el color de cubrimiento de la baya el cual es completamente azul, la muestra se conformaba de los frutos cosechados de las cuatro plantas que constituyeron cada repetición, estas se recogían por cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento. Las bayas se sometieron a diferentes mediciones para evaluar rendimiento y calidad.

Rendimiento y calidad de fruto

Cantidad. El número de frutos se obtuvo mediante el conteo total de bayas maduras cosechadas de las cuatro plantas que conformaban cada repetición de los tres tratamientos.

Peso. Se midió con una balanza digital de precisión UNIWEIGHT P-200 (oem, Guangzhou, China) ($200 \text{ g} \times 0.01 \text{ g}$). El rendimiento final estimado por hectárea se calculó mediante la suma de los promedios del peso de bayas por planta correspondientes a cada tratamiento en las cuatro cosechas; posteriormente, este valor se multiplicó por la densidad de plantación, equivalente a 11,111 plantas por hectárea, obteniéndose el rendimiento expresado en kg ha^{-1} .

Diámetro ecuatorial y polar. A partir de diez frutos seleccionados aleatoriamente por repetición, se determinaron los diámetros ecuatorial y polar utilizando un vernier digital marca Truper (Tlalnepantla, Estado de México, México), con longitud total de medición de 230 mm y precisión de 0.05 mm. La medición de estas dimensiones es un procedimiento estándar en la evaluación de la calidad de los arándanos (Retamales & Hancock, 2018), ya que proporciona información relevante para la clasificación de la fruta y la determinación de su valor comercial. Los criterios de clasificación del calibre de la fruta de arándano se basaron en los valores de referencia utilizados en la evaluación del Complejo Agroindustrial Beta S.A., los cuales se establecen en función del diámetro ecuatorial expresado en milímetros (Cuadro 1). La evaluación de las dimensiones físicas, como el diámetro, es un aspecto fundamental para caracterizar la calidad general de los arándanos y su relación con el crecimiento y desarrollo (Buitrago et al., 2015).

Cuadro 1. Criterios de clasificación de calibre de fruta de arándano con respecto al diámetro ecuatorial considerado en la evaluación, Sinaloa, México.

Clasificación	Calibre (mm)
Jumbo	≥ 21
Grande	17 a 21
Mediano	12 a 17
Pequeño	10 a 12
Fuera de calibre	< 10

Sólidos solubles totales (sst). Expresada en grados Brix (°Bx), se determinó a partir de una muestra homogénea obtenida de diez frutos seleccionados aleatoriamente por repetición. Para ello, se utilizó un refractómetro óptico de mano con compensación automática de temperatura ATC (Dezhou Chenyang Optical Technology Co., Dezhou, provincia de Shandong, China), rango de medición 0-32 °Bx y precisión ± 0.2 °Bx. Este método permite una medición rápida y destructiva del contenido de SST, principalmente azúcares, constituyendo un indicador ampliamente aceptado del estado de madurez y de la calidad del fruto (Latimer, 2019). La determinación de los SST es una técnica estandarizada y de uso extensivo en la evaluación de la calidad de frutas, ya que proporciona información relevante sobre la acumulación de azúcares y otros compuestos solubles, estrechamente relacionados con

la aceptación sensorial y la vida útil postcosecha del producto (Joyce et al., 2007).

Evaluación de la firmeza. Se evaluó utilizando un durómetro analógico Baxlo 53505/FO (Baxlo, Barcelona, España), con escala de 0-100 unidades Shore para medir la firmeza del fruto. Se seleccionaron aleatoriamente diez frutos por repetición y tratamiento. En cada fruto se realizaron dos mediciones en lados opuestos, aplicando una fuerza constante de 113 g durante 5 s. El promedio de ambas mediciones se registró como el valor representativo de la firmeza del fruto. Este procedimiento se basó en los protocolos de monitoreo de calidad establecidos por el Complejo Agroindustrial Beta y adoptados por empresas como Hortifrut (Cuadro 2), los cuales consideran la firmeza como un indicador clave de la calidad y vida útil del arándano. La escala Shore se eligió debido a su sensibilidad para medir la firmeza de frutas blandas sin causar daños, lo cual es esencial para preservar la integridad de los arándanos durante el análisis. La precisión del durómetro es de ± 1 unidad Shore (Lee & Wrolstad, 2004). La firmeza del fruto constituye un parámetro fundamental para la evaluación de la calidad del arándano durante el almacenamiento y la comercialización, ya que está estrechamente relacionada con la vida útil postcosecha y la aceptación del consumidor (Kalt et al., 1999; Song et al., 2003).

Cuadro 2. Criterios de referencia comercial para la interpretación de la firmeza del fruto de arándano utilizados por la industria exportadora (Hortifrut).

Clasificación	Baxlo (Shore)
Suave	≤ 49
Sensible	50 a 64
Firme	≥ 65

Los rangos presentados corresponden a criterios técnicos internos utilizados con fines comerciales y de manejo postcosecha por la industria exportadora, y no representan una norma oficial estandarizada de calidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cantidad de bayas por planta

El número de frutos retenidos por planta (carga frutal) fue significativamente influenciado por los tratamientos de cobertura a lo largo de todo el periodo de cosecha (Cuadro 3). El tratamiento T1 (malla gris-perla) presentó una superioridad estadística consistente respecto

a los demás tratamientos, manteniendo la mayor carga frutal en los cuatro eventos de cosecha evaluados.

Al inicio de la temporada (cosecha 1), las plantas en la malla gris-perla presentaron un promedio de 18.25 bayas, lo cual supera significativamente al testigo (10.87 bayas), mientras que la malla azul-gris (T2) mostró un comportamiento intermedio (16.18 bayas). Sin embargo, en la segunda fecha de cosecha, se observó una diferenciación clara: mientras el tratamiento T1 sostuvo una alta producción (14.56 bayas), el tratamiento T2 descendió a niveles estadísticamente similares al testigo (8.81 y 6.75 bayas, respectivamente). Hacia el final de la temporada (cosechas 3 y 4), el tratamiento con malla gris-perla mantuvo un número de frutos por planta significativamente mayor en comparación con el testigo (cielo abierto) y el tratamiento con malla azul-gris. Este comportamiento sugiere que el espectro lumínico modificado por la malla gris-perla favorece una mayor inducción y/o retención de frutos, mientras que en condiciones de cielo abierto la carga frutal se mantuvo consistentemente inferior.

Estos resultados coinciden con los hallazgos de Contreras (2023), quien observó que la reducción de la radiación reflejada en plantas de arándano de la variedad Biloxi mediante el uso de cubiertas y mallas, condujo a un incremento significativo en el número de frutos por planta, con una diferencia reportada de hasta 700 bayas. Una tendencia similar se registró en plantas de la variedad Sophia. De igual manera,

Rodríguez Beraud y Morales Ulloa (2015) reportaron un mayor número de bayas en plantas de arándano cultivadas bajo malla roja al 18 %, en comparación con tratamientos con mayor nivel de sombreo (roja 40 %, aluminizada 40 %, negra 35 %) y con el control sin malla. Asimismo, Retamales et al. (2008) afirman que las plantas bajo mallas de color blanco, gris y rojo presentan un mayor número de frutos en comparación con el uso de malla color negro.

Peso del fruto

Respecto al calibre de la fruta, el análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos de mallas fotoselectivas y el testigo en ninguna de las fechas de evaluación (Cuadro 4). Aunque numéricamente se observó una tendencia superior en el tratamiento T1 (malla gris-perla) durante la primera cosecha, con un peso medio de 0.86 g frente a 0.52 g del testigo, la dispersión de los datos impidió establecer una separación estadística entre las medias.

No obstante, se observó un efecto marcado del momento de recolección sobre el peso del fruto. Independientemente del tipo de cobertura, el peso fresco unitario presentó un incremento progresivo y sostenido a lo largo de la temporada productiva. Los frutos evolucionaron desde un rango promedio de 0.52 a 0.86 g al inicio de la cosecha hasta alcanzar valores máximos entre 1.20 g y 1.51 g en la cuarta fecha de

Cuadro 3. Dinámica de la carga frutal por planta en arándano (*Vaccinium corymbosum*) en diferentes coberturas fotoselectivas durante cuatro eventos de cosecha.

Tratamientos	Número de bayas por planta			
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Cosecha 4
T1 gris-perla	18.25 ^a	14.56 ^a	11.43 ^a	11.12 ^a
T2 azul-gris	16.18 ^{ab}	8.81 ^b	8.5 ^{ab}	9.31 ^{ab}
T3 testigo	10.87 ^b	6.75 ^b	7.18 ^b	7.37 ^b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$).

Cuadro 4. Dinámica temporal del peso fresco del fruto de arándano (*Vaccinium corymbosum*) en diferentes condiciones de manipulación del espectro lumínico.

Tratamiento	Peso fresco del fruto (g)			
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Cosecha 4
T1 gris-perla	0.86 ^a	0.92 ^a	0.97 ^a	1.20 ^a
T2 azul-gris	0.56 ^a	0.97 ^a	1.07 ^a	1.45 ^a
T3 testigo	0.52 ^a	0.98 ^a	0.98 ^a	1.51 ^a

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$).

recolección, lo que sugiere que la acumulación de biomasa del fruto estuvo determinada principalmente por la ontogenia del cultivo más que por la calidad de la luz recibida.

Peso total de bayas por planta y rendimiento total por hectárea

El uso de mallas fotoselectivas alteró significativamente el patrón de producción de la planta (Cuadro 5). La malla gris-perla no solo incrementó el rendimiento total, sino que adelantó la entrada en producción.

Durante las primeras dos fechas de cosecha las plantas en malla gris-perla presentaron una carga frutal significativamente superior respecto al testigo y a la malla azul-gris, alcanzando 15.64 g planta en el primer corte, frente a solo 5.65 g del testigo. Esta diferencia se disipó hacia el final de la temporada (cosechas 3 y 4), donde no se registraron diferencias estadísticas entre tratamientos, sugiriendo que la malla gris-perla favorece una precocidad productiva sin penalizar el rendimiento tardío.

Al calcular los rendimientos acumulados en kilogramos por hectárea para las cuatro cosechas, estos muestran diferencias altamente significativas. Los arbustos en la malla gris-perla presentan el mejor rendimiento con un total de 591.34 kg ha⁻¹, seguido de la

malla azul-gris con 434.22 kg ha⁻¹ y menor rendimiento en la malla testigo con 338.55 kg ha⁻¹.

Con relación al peso de la fruta, tanto individual como total, estos resultados coinciden con Vuković et al. (2022), quienes realizaron una evaluación fundamentada en la literatura asociada con las redes en el ámbito agrícola, centrándose en el cultivo de frutas, y señalan que el impacto del uso de mallas en el tamaño y peso de los frutos de diversas especies ha sido objeto de un extenso análisis; no obstante, los hallazgos presentan variaciones, probablemente a causa de las diferencias en los factores agroecológicos, características de las mallas, tipos de frutos, variedades, entre otros. En términos generales, el uso de mallas se asoció, total o parcialmente (dependiendo de la variedad del fruto y del tipo de malla), con incrementos en el tamaño y/o peso del fruto. Solo un estudio reportó un efecto completamente negativo, mientras que en otros análisis dicho efecto no fue observado, presentó respuestas variables (positivas o negativas) o no pudo ser determinado debido a la ausencia de un grupo de control bajo condiciones de campo abierto.

La utilización de mallas de sombra en diversas tonalidades ha sido una práctica ampliamente empleada para regular el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que contribuye al incremento de la producción comercial, a la reducción de problemas fisiológicos y a la mejora de atributos del fruto como

Cuadro 5. Dinámica de la producción por planta y rendimiento total estimado en arándano (*Vaccinium corymbosum*) en distintas condiciones de manejo fotoselectivo.

Tratamiento	Producción por planta (g)				Rendimiento kg ha ⁻¹
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Cosecha 4	
T1 gris-perla	15.64 ^a	13.30 ^a	11.02 ^a	13.27 ^a	591.44 ^a
T2 azul-gris	8.23 ^b	8.53 ^b	9.16 ^a	13.16 ^a	434.22 ^b
T3 testigo	5.65 ^b	6.62 ^b	7.04 ^a	11.16 ^a	338.55 ^c

kg ha⁻¹: Kilogramos por hectárea. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$).

Cuadro 6. Evolución estacional de los parámetros morfométricos (diámetro ecuatorial y polar) del fruto de arándano (*Vaccinium corymbosum*) en condiciones de protección fotoselectiva.

Tratamiento	Diámetro de bayas (mm)							
	Cosecha 1		Cosecha 2		Cosecha 3		Cosecha 4	
	Ø Ecu	Ø Pol	Ø Ecu	Ø Pol	Ø Ecu	Ø Pol	Ø Ecu	Ø Pol
T1 gris-perla	13.14 ^a	10.39 ^a	13.21 ^{ab}	10.44 ^a	13.40 ^a	10.89 ^a	12.82 ^a	10.17 ^a
T2 azul-gris	13.18 ^a	10.45 ^a	13.32 ^a	10.58 ^a	13.82 ^a	11.09 ^a	12.68 ^a	10.12 ^a
T3 testigo	12.09 ^b	09.63 ^b	12.56 ^b	09.91 ^b	12.31 ^b	10.01 ^b	11.36 ^b	08.98 ^b

Ø Ecu: diámetro ecuatorial; Ø Pol: diámetro polar. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$).

el tamaño, el peso, el color, el estado de madurez y el momento de cosecha (Barrera, 2020).

Diámetro polar y ecuatorial del fruto

A diferencia de lo observado en el peso unitario, los parámetros morfométricos del fruto evidenciaron una respuesta significativa a la calidad de luz transmitida por las mallas (Cuadro 6). Tanto el diámetro ecuatorial como el polar se vieron favorecidos por el uso de cubiertas fotoselectivas en comparación con el testigo.

Los tratamientos T1 (malla gris-perla) y T2 (malla azul-gris) presentaron de manera consistente los mayores calibres del fruto a lo largo de la temporada productiva. En la primera cosecha, el diámetro ecuatorial registrado en los tratamientos con mallas fotoselectivas osciló entre 13.14 mm y 13.18 mm, valores significativamente superiores a los observados en el tratamiento control (12.09 mm). Este patrón se mantuvo para el diámetro polar, en el cual el tratamiento control mostró valores consistentemente inferiores, particularmente durante las primeras fechas de cosecha, con registros cercanos o inferiores a 10 mm. Cabe destacar el comportamiento del tratamiento T2 (azul-gris), el cual sostuvo el máximo desempeño estadístico en el diámetro ecuatorial durante todas las fechas evaluadas, lo que sugiere una mayor estabilidad en la promoción del calibre bajo este espectro lumínico.

Resultados concordantes fueron reportados por Rodríguez Beraud y Morales Ulloa (2015) en arándano cv. *Brigitta*, donde los tratamientos con mayor porcentaje de sombreo promovieron un incremento en el calibre de las bayas en comparación con el tratamiento control sin malla. Sin embargo, Álvarez (2022) no encuentra diferencias en calibre de bayas de arándano variedad Legacy a campo abierto y tratamiento de mallas, donde reporta tamaños de 14.8 mm y 15 mm respectivamente.

Cuadro 7. Dinámica del contenido de sólidos solubles totales en frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum*) desarrollados en diferentes ambientes lumínicos.

Tratamiento	Sólidos solubles totales (°Bx)			
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Cosecha 4
T1 gris-perla	15.50 ^a	15.75 ^a	14.00 ^{ab}	14.25 ^a
T2 azul-gris	13.25 ^b	12.75 ^b	12.00 ^b	12.00 ^b
T3 testigo	14.25 ^{ab}	14.75 ^a	14.50 ^a	14.50 ^a

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$).

Cabe destacar el comportamiento del tratamiento T2 (malla azul-gris), el cual mantuvo de manera consistente los mayores valores estadísticos en los diámetros del fruto a lo largo de todas las fechas evaluadas. En contraste, el tratamiento control con malla antipájaros presentó los frutos de menor diámetro. Estas diferencias se asocian con los niveles reducidos de radiación transmitida por la malla azul-gris, condición que se relaciona con una disminución de la temperatura del microclima del cultivo, favoreciendo un proceso de maduración más lento y una mayor duración de la fase de crecimiento del fruto. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Dovjik et al. (2021), quienes documentaron temperaturas significativamente menores en sistemas con mallas de mayor porcentaje de sombreo (30-50 %) en comparación con sistemas sin cobertura. La reducción térmica generada por este tipo de mallas modula el microclima del fruto, retrasa su maduración y prolonga el periodo de crecimiento, lo que puede contribuir a una mejora en la calidad en especies sensibles al estrés térmico.

Es importante mencionar que los frutos provenientes del tratamiento testigo, al presentar diámetros polares menores, podrían enfrentar problemas al momento de la selección comercial, ya que el vínculo que existe entre diámetros polar y ecuatorial es considerado en dicho proceso, por consiguiente, frutos con morfología aplanada podrían ser rechazados en la línea de empaque.

Sólidos solubles totales en fruto

El análisis de los SST evidenció una influencia significativa del espectro lumínico sobre la acumulación de azúcares en el fruto (Cuadro 7). Se observó un comportamiento contrastante entre las mallas fotoselectivas: el tratamiento T1 (malla gris-perla) mantuvo concentraciones de SST estadísticamente comparables a las del

tratamiento control, mientras que el tratamiento T2 (malla azul-gris) presentó de manera consistente los valores más bajos a lo largo de la temporada.

En la primera cosecha, el tratamiento T1 registró el valor más alto de SST (15.50°Bx), el cual fue estadísticamente superior al observado en el tratamiento T2 (13.25°Bx). Esta disminución en la concentración de SST en el tratamiento con malla azul-gris se intensificó en las cosechas subsecuentes. En la cuarta fecha de recolección, tanto el tratamiento T1 como el testigo presentaron valores promedio superiores a 14.0°Bx , mientras que el tratamiento T2 mostró una reducción significativa, alcanzando 12.00°Bx . En conjunto, estos resultados indican que, en las condiciones del presente estudio, la malla azul-gris limitó la acumulación de fotoasimilados en el fruto en comparación con la malla gris-perla y el tratamiento control.

Este comportamiento puede atribuirse a la diferencia de radiación que permiten pasar las mallas. La malla control, según Peñuelas Montoya et al. (2024), demostró los registros de radiación más altos y, en este ensayo, sus bayas contienen altos $^{\circ}\text{Bx}$. Dado que los SST están expuestos a factores ambientales como la temperatura principalmente, radiación solar y sombreado, los cuales pueden modificar la dinámica de maduración del fruto (Lado et al., 2010). Mayor radiación también aumenta la temperatura en las bayas de arándano y, con esto, también se eleva la liberación de azúcares, auxiliado por la hidrólisis de antocianinas (Islam et al., 2005).

Diversos estudios respaldan los resultados observados en el presente trabajo. Contreras (2023) reportó que en tratamientos con malla sombra asociados a mayores niveles de radiación UV, la concentración de $^{\circ}\text{Bx}$ en frutos de arándano se incrementó significativamente en variedades como Biloxi y Sophia. De manera similar, Defilippi et al. (2019) señalaron que el aumento de la temperatura del fruto inducido por el

uso de cubiertas plásticas puede modificar la acumulación de SST y la acidez. En uva de mesa, estos autores observaron un incremento en los $^{\circ}\text{Bx}$ y una reducción de la acidez en la variedad Ralli, mientras que en la variedad Timco se registró un aumento en los $^{\circ}\text{Bx}$ en tratamientos que elevaron la temperatura del fruto.

Tal como se ha señalado previamente en este estudio, diversos autores, entre ellos Kushman y Ballinger (1968) y Lobos (1988), han establecido rangos de concentración de SST considerados adecuados para frutos de arándano, los cuales oscilan entre 10°Bx y 12°Bx . Con base en estos criterios, los dos tratamientos evaluados y el testigo cumplen con los estándares de calidad óptima del fruto en términos de contenido de SST.

Firmeza del fruto

La evaluación de la textura del fruto evidenció un impacto positivo y significativo del uso de mallas fotoselectivas sobre la firmeza de las bayas (Cuadro 8). A diferencia del comportamiento observado en otras variables, el efecto de los tratamientos se mantuvo consistente durante las cuatro fechas de cosecha: tanto la malla gris-perla (T1) como la azul-gris (T2) produjeron frutos significativamente más firmes que el testigo.

Los valores de firmeza en los frutos en cubierta fotoselectivas oscilaron consistentemente entre 75 y 82 unidades Shore, mostraron una superioridad marcada frente a las plantas en tratamiento control (T3), cuyos frutos no superaron las 69 unidades en ninguna medición. Es relevante destacar que no se detectaron diferencias significativas entre los dos tipos de malla (T1 y T2), lo que sugiere que el principal factor asociado a la mejora de la integridad estructural del fruto fue la protección física y la atenuación del estrés radiativo generada por la cobertura, independientemente de las diferencias específicas en el espectro lumínico entre las mallas gris-perla y azul-gris.

Cuadro 8. Evolución de la firmeza del fruto (unidades Shore) en arándanos (*Vaccinium corymbosum*) cultivados en distintas coberturas fotoselectivas.

Tratamiento	Dureza (unidad Shore)			
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Cosecha 4
T1 gris-perla	75.35 ^a	82.65 ^a	78.38 ^a	76.48 ^a
T2 azul-gris	77.80 ^a	82.70 ^a	77.03 ^a	76.05 ^a
T3 testigo	65.25 ^b	67.08 ^b	65.95 ^b	69.08 ^b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$).

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Álvarez (2022), quien observó una mayor firmeza del fruto de arándano en tratamientos con mallas de cobertura y señaló que, en aquellos tratamientos asociados a temperaturas ambientales más elevadas, la firmeza del fruto disminuyó hasta en un 75 % en algunos casos.

No obstante, los resultados del presente estudio contrastan con lo reportado por Verdugo-Vásquez et al. (2024), quienes señalaron que el uso de mallas fotoselectivas no modificó la firmeza del fruto en uva de mesa cultivada en el norte de Chile. En dicho estudio, los valores de firmeza se mantuvieron por encima de 250 g mm⁻¹ en todos los tratamientos, umbral considerado como mínimo para la exportación del fruto.

De acuerdo con los parámetros de calidad establecidos por algunas empresas comerciales (Cuadro 2), en el presente estudio los frutos del tratamiento control se ubicaron en el umbral mínimo aceptable de firmeza, mientras que los frutos provenientes de los tratamientos con mallas fotoselectivas registraron valores superiores a los requeridos.

CONCLUSIONES

La implementación de cubiertas fotoselectivas en el cultivo de arándano de la variedad Biloxi, en las condiciones agroclimáticas de Sinaloa, México, demostró ser una herramienta eficaz para influir en la productividad y en atributos clave de calidad asociados a la postcosecha, particularmente la firmeza del fruto y la concentración de sólidos solubles totales. No obstante, la magnitud y dirección de la respuesta dependieron del tipo espectral de la malla utilizada. En términos productivos, la malla gris-perla se destacó por adelantar y concentrar la carga frutal en las primeras fechas de cosecha, incrementando significativamente el rendimiento por planta respecto al testigo y a la malla azul-gris. Este comportamiento sugiere una mayor eficiencia en el uso de la luz difusa para la inducción floral o el cuajado temprano, lo cual representa una ventaja competitiva comercial. Respecto a la calidad física, ambas mallas rompieron el paradigma de “a mayor tamaño, menor firmeza”. Los frutos bajo cubierta desarrollaron mayores calibres (diámetros) y mantuvieron una firmeza superior en comparación con el testigo. Esto indica que la protección contra la

radiación directa reduce el estrés abiótico, permite un llenado de fruto superior sin acelerar el ablandamiento celular, extendiendo así el potencial de vida útil. No obstante, se observó una compensación metabólica asociada al uso de la malla azul-gris, la cual se tradujo en una menor acumulación de azúcares, posiblemente como consecuencia de una mayor atenuación de la radiación fotosintéticamente activa requerida para la síntesis de carbohidratos. En conjunto, los resultados indican que la malla gris-perla presentó un desempeño agronómico superior, al combinar una mayor productividad en las primeras cosechas con frutos de mayor calibre y elevada firmeza, sin comprometer la calidad interna. Bajo las condiciones del presente estudio, este tratamiento se ajustó a los requerimientos de calidad establecidos para el mercado de exportación. En este contexto, el uso de mallas fotoselectivas representa una alternativa técnica viable para sistemas de producción de arándano en México.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por su apoyo financiero en la ejecución de este proyecto (número de beca 757191). También expresamos gratitud al Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa por aceptar al estudiante Francisco Peñuelas Montoya y formar parte de su programa académico. Asimismo, reconocemos a la empresa ALGACELL por su valiosa colaboración al facilitar las instalaciones necesarias para llevar a cabo esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, R. E. (2022). *Efecto del uso de coberturas de malla, plástico y rafia sobre la calidad de exportación y concentración de polifenoles de arándano (Vaccinium Corymbosum) var. 'Legacy'* [Tesis de maestría inédita]. Universidad De Chile.
- Barrera, A. C. (2020). *Evaluación del efecto de la intensidad de mallas fotoselectivas en cultivo sin suelo* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad de Almería.
- Blanke, M. M. (2000). Photoinhibition in citrus. *Proceedings of the International Society of Citriculture*, 619-622.

- Buitrago, G., Rincón, C., Balaguera, H. & Ligarreto M.G. 2015. Tipificación de diferentes estados de madurez del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(1), 7521-7531. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47840>
- Contreras, T. D. (2023). *Comportamiento reproductivo de dos variedades de arándano (Vaccinium corymbosum L.) bajo diferentes cubiertas plásticas* [Tesis de maestría inédita]. Universidad de Guadalajara.
- Defilippi, B. B., Álvarez, R. E., & Rivera, S. S. (2019). Efecto del uso de coberturas en la calidad y condición de uva de mesa en postcosecha. En C. Salazar, G. Sellés & G. Marfán (Eds.), *Cubiertas plásticas en uva de mesa* (pp. 71-86). Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Dovjik, I., Nemera, D. B., Cohen, S., Shahak, Y., Shlizerman, L., Kamara, I., Florentin, A., Ratner, K., McWilliam, S. C., Puddephat, I. J., FitzSimons, T. R., Charuvi, D., & Sadka, A. (2021). Top photoselective netting in combination with reduced fertigation results in multi-annual yield increase in Valencia oranges (*Citrus sinensis*). *Agronomy*, 11(10), 2034. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102034>
- García Rubio, J. C., García, González de Lena, G., & Ciordia A., M. (2010). Situación actual del cultivo del arándano en el mundo. *Tecnología Agroalimentaria*, 12, 5-8.
- García, V. I., Calderón, Z. G., & Arévalo, G. M. (2023). Biorreguladores y bioestimulantes en el desarrollo, crecimiento y rendimiento de fruto de arándano Biloxi. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4), 383-388. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.383>
- International Blueberry Organization. (2022). *Global state of the blueberry industry report 2022*. <https://www.internationalblueberry.org/2022-report>
- Islam, M. S., Jalaluddin, M., Garner, J. O., Yoshimoto, M., & Yamakawa, O. (2005). Artificial shading and temperature influence on anthocyanin compositions in sweet-potato leaves. *HortScience*, 40(1), 176-180. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.1.176>
- Kalt, W., Forney, C. F., Martin, A. & Prior, R. L. (1999). Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(11), 4638-4644. <https://doi.org/10.1021/jf990266t>
- Kushman, L., & Ballinger, W. (1968). Acid and sugar changes during ripening in Wolcott Blueberries. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 92, 290-295.
- Lado, J., Vicente, E., Manzzoni, A., & Ares, G. (2010). Application of a check-all-that-apply question for the evaluation of strawberry cultivars from a breeding program. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(13), 2268-2275. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4081>
- Latimer, G. W. (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. AOAC Publications.
- Lee, J., & Wrolstad, R. E. (2004). Extraction of anthocyanins and polyphenolics from blueberry-processing waste. *Journal of Food Science*, 69(7), 564-573.
- Lobos, W. (1988). El arándano en Chile. En Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Ed.), *El cultivo del Arándano* (pp. 191-202). Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Moon Jr, J. W., Flore, J. A., & Hancock Jr, J. F. (1987). A comparison of carbon and water vapor gas exchange characteristics between a diploid and highbush blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(1), 134-138. <https://doi.org/10.21273/JASHS.112.1.134>
- Paredes, J. I. (2010). *Los frutos del bosque o pequeños frutos en la cornisa cantábrica: el arándano*. Gobierno de Cantabria.
- Peñuelas Montoya, F., Sánchez Portillo, J. F., Ruiz Martínez, F., & Fuentes Verduzco, C. (2024). Morfología de la planta de arándano *Vaccinium corymbosum* L. cv. "Biloxi" bajo mallas fotoselectivas en Sinaloa, México. *Temas Agrarios*, 29(2), 151-170. <https://doi.org/10.21897/ynpsv266>
- Pérez, A. L. (2017). *Evaluación de una malla agrícola anti-insectos con propiedades antitérmicas en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum)* [Tesis de maestría inédita]. Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Retamales, J., & Hancock, J. (2018). Arándanos. Acribia.
- Retamales, J. B., Montecino, J. M., Lobos, G. A., & Rojas, L. A. (2008). Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. *Acta Horticultae*, 770, 193-197. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.22>
- Rodríguez Beraud, M., & Morales Ulloa, D. (2015). Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Scientia Agropecuaria*, 6(1), 41-50. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.01.04>
- Salgado Vargas, C., Sánchez-García, P., Volke-Haller, V. H., & Colinas León, M. T. B. (2018). Respuesta agronómica de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) al estrés osmótico. *Agrociencia*, 52(2), 231-239.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Panorama agroalimentario 2023*. SIAP.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024, 19 de mayo). *Domingo de frutos rojos: un festival de sabores y beneficios: agricultura*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/domingo-de-frutos-rojos-un-festival-de-sabores-y-beneficios>
- Shahak, Y., Gussakovsky, E. E., Gal, E., & Ganelevin, R. (2004). Colornets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Horticulturae*, 659, 143-151. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.659.17>
- Shahak, Y., Ratner, K., Giller, Y. E., Zur, N., Or, E., Gussakovsky, E. E., Stern, R., Sarig, P., Raban, E., Harcavi, E., Doron, I., & Greenblat-Avron, Y. (2008). Improving solar energy utilization, productivity and fruit quality in orchards and vineyards by photoselective netting. *Acta Horticulturae*, 772(7), 65-72. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.772.7>
- Song, J., Fan, L., Forney, C. F., Jordan, M. A., Hildebrand, P. D., Kalt, W., & Ryan, D. A. J. (2003). Effect of ozone treatment and controlled atmosphere storage on quality and phytochemicals in highbush blueberries. *Acta Horticulturae*, 600, 417-423. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.600.62>
- Undurraga, P., & Vargas, S. (2013). *Manual del arándano*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- United States Department of Agriculture. (2025, 3 de febrero). *Mexico: Blueberry Annual Voluntary-2025*. usda. <https://www.fas.usda.gov/data/mexico-blueberry-annual-voluntary-0>
- Verdugo-Vásquez, N., Villalobos-Soublett, E., Defilippi, B., Gutiérrez-Gamboa, G., & Garrido-Salinas, M. (2024). Viticultura protegida: uso de mallas sombreadoras fotoselectivas como una herramienta para enfrentar la crisis climática en uva de mesa en el norte de Chile. *IVES Conference Series, OIV 2024*. <https://doi.org/10.58233/8DWAFZiy>
- Vuković, M., Jurić, S., Maslov Bandić, L., Levaj, B., Fu, D.-Q., & Jemrić, T. (2022). Sustainable food production: Innovative netting concepts and their mode of action on fruit crops. *Sustainability*, 14(15), 9264. <https://doi.org/10.3390/su14159264>
- Wills, R. B. H., McGlasson, W. B., Graham, D., & Joyce, D. C. (2007). *Postharvest. An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals*. University of New South Wales Press.