

Morfología de la planta de arándano *Vaccinium corymbosum* L. cv. “Biloxi” bajo mallas fotoselectivas en Sinaloa, México

Morphology of the blueberry plant *Vaccinium corymbosum* L. cv. “Biloxi” under photoselective nets in Sinaloa, Mexico

Peñuelas Montoya, F.^{1*}; Sánchez Portillo, J. F.¹; Ruiz Martínez, F.¹; Fuentes Verduzco, C.¹

Recibido para publicación: 24 de octubre de 2024 - Aceptado para publicación: 28 de noviembre de 2024

RESUMEN

Es evidente el incremento de la superficie cultivada con arándanos en el estado de Sinaloa, México, sin embargo, con la introducción del cultivo y requerimientos edafoclimáticos propios de la especie, se requieren implementar tecnologías que favorezcan crecimiento y desarrollo de plantas. Como es el uso de mallas fotoselectivas, que reducen intensidad de radiación solar, aumentan cantidad de luz difusa, reducen estrés y garantizan mejor desempeño de plantas. Esta investigación evaluó fotoselectividad de mallas gris-perla, azul-gris y antipájaros (22, 23 y 0% sombreado respectivamente), por conducto de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y radiación ultravioleta (UV) que emitieron; asimismo el impacto que provocaron en el funcionamiento de plantas de arándano. Se realizó con un diseño completamente al azar, cuatro repeticiones, en plantas nuevas variedad Biloxi. Los resultados demostraron significativa reducción de PAR, el mejor promedio lo obtuvo la malla azul-gris, seguida de malla gris-perla con 19,2% y 15,1% respectivamente; en UV los porcentajes variaban en malla azul-gris de 16,0 a 20,1% y malla gris-perla 13,0 a 18,6%, todo esto comparado con malla antipájaros. Los arbustos bajo malla gris-perla mostraron cantidades mayores de biomasa en hoja y planta, malla antipájaros desarrollo tallos de mayor grosor, pero con menor altura. En hoja el nivel nutricional del elemento boro aumenta en promedio 20% al estar las plantas bajo malla gris-perla. Las mallas fotoselectivas disminuyen la radiación solar, esto trae una respuesta favorable para las plantas cultivadas bajo la malla gris-perla que tienen un mejor funcionamiento y crean una opción en mejorar el cultivo de arándano.

Palabras clave: Evaluación; incremento; mejor funcionamiento; radiación fotosintéticamente activa; radiación ultravioleta; tecnologías.

ABSTRACT

Increase in blueberry cultivated area in Sinaloa state, Mexico, is evident; however, with introduction of the crop and edaphoclimatic requirements of the species, it is necessary to implement technologies to favor plant growth and development, such as use of photoselective nets, which reduce intensity of solar radiation, increase the amount of diffuse light, reduce stress and guarantee better plant performance. This research evaluated the photoselectivity of pearl-gray, blue-gray and anti-bird nets (22, 23 and 0% shading respectively), through photosynthetically active radiation (PAR) and ultraviolet radiation (UV) they emitted. Likewise, the impact nets caused on the functioning of blueberry plants was evaluated. The experiment consisted of a completely randomized design with four replicates in new plants of Biloxi variety. The results showed a significant reduction in PAR. The highest PAR average was obtained with blue-gray netting, followed by pearl-gray netting, with 19,2% and 15,1%, respectively. With respect to UV, the percentages varied in blue-gray netting from 16,0 to 20,1% and gray-pearl netting from 13,0 to 18,6%, compared to anti-bird netting. Plants under gray-pearl netting showed higher amounts of biomass in leaf and plants, anti-bird netting developed thicker stems with less height. In leaf, the nutritional level of boron increased on average 20% when plants were grown under gray-pearl netting. The photoselective nets reduce solar radiation, producing a favorable response for plants grown under gray-pearl netting showing a better performance and creating an option to improve the blueberry crop.

Key words: Better performance; evaluation; increase; photosynthetically active radiation; ultraviolet radiation; technologies.

Cómo citar

Peñuelas Montoya, F., Sánchez Portillo, J. F., Ruiz Martínez, F., y 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>

¹Universidad Autónoma de Sinaloa

Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, México.

*Autor para correspondencia: Francisco Peñuelas Montoya

E-mail: franciscopenuelas2003@gmail.com



INTRODUCCIÓN

La producción de arándano en el mundo para el año 2022 es de 1,228,595.98 toneladas (t) en una superficie de 173,924 hectáreas (h), de las cuales Estados Unidos de América produjo 317,150 t, Perú 292,584 t, Canadá 180,117 t, Chile 122,515 t, España 70,420 y México 67,304 t, este último se ubica como el sexto mayor productor (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2024).

En nuestro país México presenta poco consumo, pero su plantación presenta un incremento debido a su cercanía con el mercado de mayor demanda (USA), de tal manera que en el año 2010 la superficie era de tan solo 106 ha y para el 2022 fue de 5,887 ha (FAO, 2024).

Para el 2022 el estado de Sinaloa se posiciona como el segundo mayor productor con 13,241 t y sobrepasa a Michoacán que produjo 11,966, este último mantuvo el segundo lugar en producción por mucho tiempo (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023).

La alta demanda del fruto de arándano se debe a que es conocido por sus bajos niveles de calorías y sus altas concentraciones de antocianinas, flavonoles y antioxidantes (Salgado *et al.* 2018), así también por su contenido de compuestos bioactivos que favorecen la prevención de enfermedades degenerativas y cardiovasculares (Kalt *et al.* 2020). Son una fuente rica en fitonutrientes, entre los que se encuentran compuestos fenólicos, con mayor abundancia de antocianinas, que tienen propiedades antioxidantes (Vrhovsek *et al.* 2012) y se les atribuye la capacidad de prevenir algunas enfermedades cardiovasculares, neuronales, cáncer y diabetes, entre otras (Castañeda *et al.* 2009).

El arándano puede cultivarse de arbustos silvestres que se desarrollaron a la sombra, siendo nativo de Norteamérica, donde crecen a lo largo de los bosques y regiones montañosas de los Estados Unidos y Canadá, su hábitat es principalmente de áreas frías del hemisferio norte, actualmente son cultivadas en el hemisferio sur como Australia, Nueva Zelanda y países del sur como Chile, Argentina y México (Oficina Comercial de Perú en Miami, 2017). Cruzamientos y mejoras genéticas han permitido que los arándanos cultivados se establezcan en climas fríos, cálidos y mediterráneos, y su oferta se extienda todo el año. En el mundo se cultivan muchas variedades, la de mayor importancia es la alto (highbush), al representar el 80 % de las especies cultivadas y le sigue la especie ojo de conejo (rabbiteye) con el 14 % de proporción, pueden alcanzar alturas de 2.5 m y es el que presenta la fruta de mejor calidad en cuanto a tamaño y sabor (González *et al.* 2017).

Aunque es una especie adaptada a climas templados y fríos, el cultivar en México es factible porque algunas variedades como Biloxi, Victoria, Kester, Roció y Corona entre otras, por el bajo requerimiento de horas frío (HF) y se adaptan a la mayoría de los climas tropicales y subtropicales presentes (Salgado *et al.* 2018).

Biloxi fue liberada en 1998 desde Mississippi, impresiona por su crecimiento vigoroso y estructura arbustiva (Retamales y Hancock, 2011), procede del cruce entre *V. corymbosum* y *V. darrowii*, por su origen se desarrolla en zonas templadas, con veranos calurosos e inviernos fríos y necesita un entorno especial para su mejor desarrollo como temperatura, luminosidad, humedad relativa y en especial 150 a 250 horas frío requeridas aproximadamente, presenta frutos de gran calidad, con buen tamaño, excelente sabor, con diámetro aproximado a los 11 mm y por lo común de color azul claro (Mesa, 2015).

En Sinaloa el clima de la región es una limitante para la producción del cultivo, ya que es una especie cuyo origen es de zonas templadas y frías, mientras que en la entidad presenta condiciones climáticas extremas, como temperaturas y porcentajes de humedad altos, principalmente en verano, predomina el clima cálido seco apenas modificado por precipitaciones pluviales, presenta una temperatura media anual de 33 °C y en los últimos 28 años se han registrado temperaturas mínimas de 5 °C y máximas de 43 °C, siendo los meses más calurosos de julio a octubre y las temperaturas más bajas de noviembre a febrero, con humedad relativa promedio del 65 al 75 % (Briceño, 2018). Algunas limitaciones se mitigan con el uso de variedades adaptadas a los microclimas tropicales y subtropicales de México, entre estas se encuentra Biloxi, cultivar con bajo requerimiento de horas frío (Spiers *et al.* 2002). También con el fin de favorecer el desarrollo y producción de la planta es posible mediante el uso de mallas fotoselectivas, que es una técnica de control cada vez más extendida en Agroplasticultura, han sido diseñadas con el fin de beneficiar la producción de especies frutales como arándanos, granadas y manzanos (Meena *et al.* 2016).

Las mallas fotoselectivas se empezaron a utilizar para optimizar la producción, ya que ofrecen una protección física al cultivo y permiten una filtración selectiva de la radiación solar. Esto modifica las condiciones microclimáticas, al afectar aspectos como la intensidad y calidad de la luz, la temperatura del suelo, la velocidad del viento y la humedad relativa. Esto se realiza para fomentar respuestas fisiológicas específicas en las plantas, las cuales utilizan la luz para regular procesos esenciales en su crecimiento y desarrollo (Mupambi *et al.* 2018).

Están configuradas para alterar la luz en el espectro del ultravioleta (UV), visible o

infrarrojo lejano (Ilić *et al.* 2017). Filtran diferentes componentes de la radiación solar y convierten la luz directa en luz difusa (Antignus, 2014). Esto se logra mediante la inclusión de aditivos cromáticos o elementos que reflejan la luz o absorben radiación UV en el material de polietileno (Ilić *et al.* 2017).

Las mallas azules presentan un pico de transmitancia en la región azul-verde de 400 a 540 nanómetros (nm), absorbiendo radiación UV, amarilla, roja y roja lejana; mientras que las amarillas permiten el paso de luz desde 500 nm en adelante. Las de color perla no favorecen ninguna longitud de onda específica, pero reducen la cantidad de luz UV y están diseñadas para dispersar más luz que otras mallas coloreadas (Ilić *et al.* 2017). Gracias a estas modificaciones espectrales, el uso de mallas color perla incrementa el tamaño y firmeza de los frutos, mejora el rendimiento total y disminuye la pérdida de peso postalmacenamiento (Selahle *et al.* 2015). Este tipo de malla puede potenciar la fotosíntesis y aumentar la biomasa de la planta, así como el peso promedio de los frutos, lo que puede resultar en una producción mejorada (Ayala *et al.* 2018).

Las mallas fotoselectivas representan una innovación significativa en los cultivos, demuestran que la elección del material y color puede influir en la radiación solar recibida y en consecuencia, en la calidad y productividad del fruto. A pesar de la reducción de radiación que ciertos tipos de mallas pueden ocasionar, sus propiedades específicas han demostrado ser efectivas en la mejora de la calidad, queda claro que el manejo adecuado de las mallas puede ser clave para optimizar el rendimiento agrícola (Marín *et al.* 2022).

El uso de mallas protectoras no solo transforma la calidad y producción de cultivos, sino que también ha demostrado tener un impacto significativo en los aspectos fisiológicos y de

comportamiento de los enemigos naturales de las plagas. Influyen en la búsqueda de presas por parte de depredadores, resaltando la importancia de los estímulos visuales en su eficacia. Esto subraya la necesidad de llevar a cabo investigaciones más amplias en campo para comprender a fondo los efectos de estos sistemas, contribuyendo así a prácticas agrícolas más sostenibles (Díaz, 2022).

Todas las mallas elaboradas con polietileno de alta densidad son reciclables, lo que representa un aspecto muy importante en la actualidad debido a los problemas globales relacionados con el uso de plásticos. Este factor debe tenerse en cuenta al utilizar estas mallas en actividades agrícolas (Cascone *et al.* 2020).

Bajo la hipótesis de que el sombreado de las mallas influirá en la estructura de las plantas de arándano variedad Biloxi, la investigación es dirigida a obtener información sobre el comportamiento de la planta bajo condiciones de cultivo, al cambiar el ambiente controlado con realce en la radiación en el norte de Sinaloa, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el campo experimental de ALGACELL, que se ubica en la carretera internacional México 15 en el tramo entre las ciudades de Culiacán a Los Mochis Km 194 en el estado de Sinaloa, México, con coordenadas 25° 47' 06" latitud norte y 108° 52' 45" longitud oeste. Se hizo entre los meses que comprenden octubre del 2019 y junio del 2020. Se utilizaron plantas nuevas de arándanos de la variedad Biloxi, propagadas en el sitio a partir de plantas madre que provienen de viveros de la empresa Fruits-Giddings S.A. de C.V. Se contó con un sistema de riego hidropónico en sustrato con 4 goteros por maceta de plástico con capacidad de 40 L, cada una se rellenó con 27.5 L de sustrato el cual estuvo compuesto de 75 % con turba de

coco y 25 % de perlita. Se le aplicó micorrizas de la marca Rhizomor en dosis de 10 g por planta. Para modificar la radiación se usaron 2 estructuras, las cuales están cubiertas por mallas fotoselectivas de colores, hechas de material PEHD 100% virgen, con tipo de hilo monofilamentos cilíndrico, el tejido gasa de vuelta, con densidad de 4 hilos cm⁻² (+/-5%). En enero del 2020 se inició el señalamiento y colocación de columnas de hierro con una altura de 2,5 m y cada malla de 12 m de largo y 48 m de ancho, que forman una única cubierta plana de 48x48 m tipo casa sombra.

Análisis estadístico.

Los datos se analizaron con el programa estadístico InfoStat versión 2019 (Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Análisis de varianza y prueba de Tukey-Kramer ($p=0.05$) se realizó la comparación de medias para la mejor interpretación de cada tratamiento.

Diseño experimental y tratamientos.

Se hizo bajo el diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, la primera malla (tratamiento 1) trama color gris y urdimbre perla, cuyo sombreado es del 22 % (+/-5%); la segunda malla (tratamiento 2) urdimbre color azul y trama gris, con sombreado del 23% (+/-5%), dichas características de ambas mallas de acuerdo con las especificaciones del fabricante (CampoMallas, Michoacán, México). Como tratamiento control o testigo se instaló una tercera estructura cubierta con una malla antipájaros (0% sombreado) que no modifica la radiación solar, así que se considera campo abierto.

Bajo cada malla se colocaron 24 plantas de arándanos en una sola hilera a 0.5 m de distancia, de las cuales se escogieron 16, estas fueron seleccionadas conforme a criterios que otro tratamiento no incidiera en ellas. De la cantidad escogida se formaron 4 repeticiones con 4 plantas por cada una.

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

La obtención de lecturas de radiación fue bajo cada malla, el horario de las mediciones va

desde las 8:00 am hasta las 4:00 pm, con intervalos de una hora, con un total de 7 repeticiones entre los meses de abril, mayo y junio del 2020 (Tabla 1).

Tabla 1. Registro de radiación PAR, UV y temperatura en los meses de abril, mayo y junio de 2020.

Hora:	Malla azul-gris		Malla antipájaros		Malla gris-perla		Temperatura a campo abierto (0C)
	Radiación UV ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación UV ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación UV ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
Lunes 13/Abril/2020							
08:00 a.m.	33.5	455	45.6	701	35.9	560	24.6
09:00 a.m.	41.6	642	57.9	902	47.9	734	27.6
10:00 a.m.	71.3	973	89.3	1228	75.1	1095	30.3
11:00 a.m.	98.2	1367	128.3	1702	108.7	1480	32.1
12:00 p.m.	135.2	1646	165.1	≥ 2000	141.5	1824	33.7
01:00 p.m.	148.2	1755	188.1	≥ 2000	155.6	1854	36.6
02:00 p.m.	149.7	1737	180.3	≥ 2000	150.2	1785	34.8
03:00 p.m.	132.4	1614	155.9	1949	133.3	1602	34.8
04:00 p.m.	109.9	1321	127.9	1354	113.6	1375	34.5
Lunes 20/Abril/2020							
08:00 a.m.	27.7	318	32.2	353	28.5	325	22.7
09:00 a.m.	41.6	353	48.2	485	43.3	365	28.2
10:00 a.m.	66.8	667	90.2	995	74.4	887	31.4
11:00 a.m.	148.0	1490	158.2	1792	151.6	1581	38.2
12:00 p.m.	153.8	1741	189.4	≥ 2000	156.2	1836	40.4
01:00 p.m.	164.3	1855	≥ 200	≥ 2000	168.1	≥ 2000	42.2
02:00 p.m.	128.9	1288	146.6	1451	133.8	1303	40.8
03:00 p.m.	98.0	1180	118.7	1290	102.2	1189	38.8
04:00 p.m.	85.5	1090	105.3	1167	89.3	1101	34.3

Continuación Tabla 1. Registro de radiación PAR, UV y temperatura en los meses de abril, mayo y junio de 2020.

Hora:	Malla azul-gris		Malla antipájaros		Malla gris-perla		Temperatura a campo abierto (OC)
	Radiación UV ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación UV ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación UV ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
Lunes 27/Abril/2020							
08:00 a.m.	39,5	543	52,0	712	41,7	565	29,9
09:00 a.m.	48,5	601	64,8	777	50,5	688	30,2
10:00 a.m.	86,5	1008	112,3	1282	89,5	1100	33,2
11:00 a.m.	118,8	1382	152,7	1752	121,7	1472	34,2
12:00 p.m.	148,3	1720	185,6	≥ 2000	147,7	1748	36,7
01:00 p.m.	161,5	1805	≥ 200	≥ 2000	162,4	1895	41,2
02:00 p.m.	153,6	1720	183,8	≥ 2000	154,7	1752	40,5
03:00 p.m.	132,6	1556	161,6	1838	138,6	1664	39,5
04:00 p.m.	127,3	1316	142,4	1690	133,9	1514	37,2
Miércoles 13/Mayo/20							
08:00 a.m.	24,4	260	36,5	409	27,0	312	24,1
09:00 a.m.	54,0	625	68,5	885	55,5	655	32,9
10:00 a.m.	98,8	1163	125,5	1446	98,4	1225	33,4
11:00 a.m.	130,8	1475	165,9	1828	136,5	1701	35,9
12:00 p.m.	149,9	1664	183,0	≥ 2000	150,3	1788	37,0
01:00 p.m.	160,6	1793	194,8	≥ 2000	162,4	1848	39,1
02:00 p.m.	155,6	1726	189,6	≥ 2000	156,6	1768	39,8
03:00 p.m.	131,2	1530	170,1	1901	142,1	1692	37,3
04:00 p.m.	125,1	1297	150,2	1798	138,1	1570	34,4
Martes 09/Junio/20							
08:00 a.m.	28,6	370	38,6	499	29,6	370	24,5
09:00 a.m.	34,8	336	44,9	421	35,0	344	28,3
10:00 a.m.	83,9	841	94,4	1050	84,5	813	30,1
11:00 a.m.	139,9	1720	175,5	≥ 2000	138,4	1730	32,7
12:00 p.m.	146,5	1650	171,1	≥ 2000	148,0	1690	34,7

Continuación Tabla 1. Registro de radiación PAR, UV y temperatura en los meses de abril, mayo y junio de 2020.

Hora:	Malla azul-gris		Malla antipájaros		Malla gris-perla		Temperatura a campo abierto (0C)
	Radiación UV ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación UV ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación UV ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
01:00 p.m.	156,6	1747	195,1	≥ 2000	158,0	1812	36,8
02:00 p.m.	148,2	1778	185,0	≥ 2000	148,5	1773	37,1
03:00 p.m.	135,3	1570	171,9	1930	135,1	1616	36,2
04:00 p.m.	119,9	1400	151,3	1750	138,0	1445	33,2
Martes 16/Junio 20							
08:00 a.m.	32,6	370	46,0	510	33,5	400	25,5
09:00 a.m.	60,6	716	79,0	960	64,0	784	27,5
10:00 a.m.	119,5	1424	152,8	1661	117,7	1450	33,2
11:00 a.m.	139,9	1720	175,5	≥ 2000	138,4	1730	37,5
12:00 p.m.	146,5	1650	171,1	≥ 2000	148,0	1690	38,6
01:00 p.m.	156,6	1747	195,1	≥ 2000	158,0	1812	40,3
02:00 p.m.	148,2	1778	185,0	≥ 2000	148,5	1773	41,1
03:00 p.m.	135,3	1570	171,9	1930	135,1	1616	40,2
04:00 p.m.	119,9	1400	151,3	1750	1380	1445	38,5
Martes 30/Junio/20							
08:00 a.m.	8,0	7,3	14,8	16,3	9,9	10,6	24,1
09:00 a.m.	27,2	23,9	51,0	46,3	41,2	34,5	24,5
10:00 a.m.	25,9	23,5	43,5	40,7	33,5	30,7	25,0
11:00 a.m.	17,7	16,7	30,8	29,6	22,8	21,4	26,3
12:00 p.m.	20,7	19,2	34,4	32,7	26,5	24,7	31,8
01:00 p.m.	55,6	35,7	93,1	72,1	44,8	49,2	35,1
02:00 p.m.	33,3	30,0	59,5	55,4	46,0	41,9	32,3
03:00 p.m.	28,6	26,0	47,8	44,8	36,5	33,2	27,2
04:00 p.m.	26,1	25,8	42,0	40,1	31,8	29,5	25,1

Hora: a.m.= antes del meridiano; p.m. pasado el meridiano; UV: Radiación Ultravioleta; PAR: Radiación Fotosintéticamente activa; 0C: Grados centígrados; $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$: micromoles de fotones por metro cuadrado por segundo; \geq : mayor o igual que.

Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR). La fotosíntesis es un proceso vital para la existencia de la vida en la Tierra, ya que permite a las plantas convertir la radiación solar en energía química. Este proceso depende en gran medida de la PAR, que abarca el espectro de luz entre 400 nm y 700 nm, y es fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Escobedo *et al.* 2020; Torres, 2022). En plano horizontal, puede realizarse de manera directa o indirecta. Para las mediciones directas, se utilizan sensores cuánticos que registran el flujo de fotones por unidad de área, expresado en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Proyectada según su orientación normal (García *et al.* 2021). En este contexto, el uso de mallas fotoselectivas ha emergido como una estrategia innovadora para optimizar la captación de luz y, por ende, mejorar la fotosíntesis.

Se utilizó el sensor LIGHTSCOUT Light Meter Quantum, modelo 3415F (Spectrum Technologies Inc., USA), el cual mide la densidad del flujo de fotones fotosintéticos (PPFD, por sus siglas en inglés) en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (micromoles de fotones por metro cuadrado por segundo) en el rango desde cero hasta 2,000 con precisión de $\pm 5.0 \%$, dentro de la longitud de onda de 400 a 700 nm.

Radiación Ultravioleta (UV). La UV representa entre el 8% y el 9% de la radiación solar total y se clasifica en tres rangos según la longitud de onda: UV-C (200-280 nm), UV-B (280-320 nm) y UV-A (320-400 nm) (Ramírez, 2016).

Se midió con el sensor LIGHTSCOUT Ultraviolet Meter, modelo 3414F (Spectrum Technologies Inc., USA), con la medición del flujo de fotones en el UV en un rango de 0 a 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, dentro de la longitud de onda de 250 a 400 nm con precisión de $\pm 5.0 \%$.

Temperatura ambiental. Se hizo mediante un higrómetro de la marca Extech modelo 445702, con rango de -10 a 60 °C.

Desarrollo de planta. Altura y diámetro basal del tallo se midieron cuando la planta se encontraba en la etapa de fructificación a los 235 días después del trasplante. La evaluación de la respuesta fisiológica de las plantas se realizó en un solo muestreo. Para esta actividad se tomaron medidas a todas las plantas de cada tratamiento, esto fue manual, la altura se obtuvo en centímetros con el uso de una cinta métrica y se consideró desde la base de la corona hasta la punta del tallo más lignificado. El diámetro basal se obtuvo con vernier digital marca Truper, con longitud de medición de 230 mm (precisión de 0.05 mm).

Masa seca de hojas y plantas.

Se realizó un muestreo al recolectar hojas maduras en la parte media de la planta, la muestra se conformó de 32 láminas en cada repetición, la selección de las hojas fue con preferencia en los puntos cardinales este y oeste, para obtener una muestra representativa y descartar un posible efecto de la orientación del recorrido del sol. Se colocaron en bolsas de papel y puestas en estufa a 60 °C, durante 72 hr. El peso seco se registró con una balanza analítica de precisión digital marca OHAUS con capacidad de 0.0001 g a 220 g.

La poda final se aprovechó para obtener biomasa de la planta, la muestra se obtuvo del total de plantas completas de cada repetición por tratamiento (4 plantas por muestra), con presencia de hojas, flores, tallos y frutos rezagados; colocadas en bolsas de papel y colocadas en estufa a 60 °C, durante 72 hr. Los pesos se obtuvieron con una báscula

digital de la marca OHAUS, modelo V11P15 con capacidad desde 1 g hasta 15 kg.

Los nutrientes analizados y los métodos utilizados fueron:

- Nitrógeno total (N): Kjeldah / Digestión y destilación (Kjedah, 1883).
- Fósforo (P): Metavanadato de amonio / espectrofotómetro uv-vis (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 1997).
- Official Analytical Chemists [AOAC], 1997).
- Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Hierro (Fe), Manganeso (Mn),

Cobre (Cu), Zinc (Zn): Espectrofotometría de absorción atómica (AOAC, 1990).

- Boro (Bo): Azometina / Espectrofotómetro uv-vis (Basson *et al.* 1969).
- Cloro (Cl): Nitrato de plata / Titulometría (Mohr, 1855)
- Azufre (S): Cloruro de bario / Espectrofotometría (Lachica, 1973).

Undurraga *et al.*, 2013 publican los niveles nutricionales de referencia adecuados en hojas en un cultivo de arándanos (Tabla 2), dichos datos se usaron como referencia para la comparación con los resultados obtenidos de laboratorio y así la definición de los niveles óptimos.

Tabla 2. Niveles nutricionales adecuados en las hojas de arándanos publicados por Undurraga *et al.*, 2013

Nutriente	Udm	Nivel deficiente	Nivel adecuado	Nivel excesivo
Nitrógeno (N)	%	<1,5	1,6 - 2,0	>2,5
Fósforo (P)	%	<0,1	0,12 - 0,4	>0,8
Potasio (k)	%	<0,3	0,35 - 0-65	>1,0
Calcio (Ca)	%	<0,13	0,4 - 0,8	>1,0
Magnesio (Mg)	%	<0,08	0,12 - 0,25	>0,45
Hierro (Fe)	mg/Kg	<60	60 - 120	>400
Manganeso (Mn)	mg/Kg	<23	50 - 350	>450
Zinc (Zn)	mg/Kg	<8	8,0 - 30	>50
Cobre (Cu)	mg/Kg	<4	4,0 - 20	>80
Boro (B)	mg/Kg	<20	30 - 70	>200

< = menor que; > = mayor que; *Unidad de medida: Udm; porcentaje: %; miligramos por kilogramo: mg/kg.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Radiación fotosintéticamente activa

En este estudio, en los muestreos realizados se observan los valores más altos en la Malla antipájaros (T3) al alcanzar promedios de 1645.67 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, seguido de la malla gris-perla (T1) 1411,11 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y con

valores más bajos la malla azul-gris (T2) 1375 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Estos resultados indican una clara variabilidad en la transmisión de luz según el tipo de malla utilizada. La caída en los registros del 30 de junio, atribuida a condiciones nubladas, subraya la importancia de considerar factores climáticos en las mediciones de PAR (Figura 1).

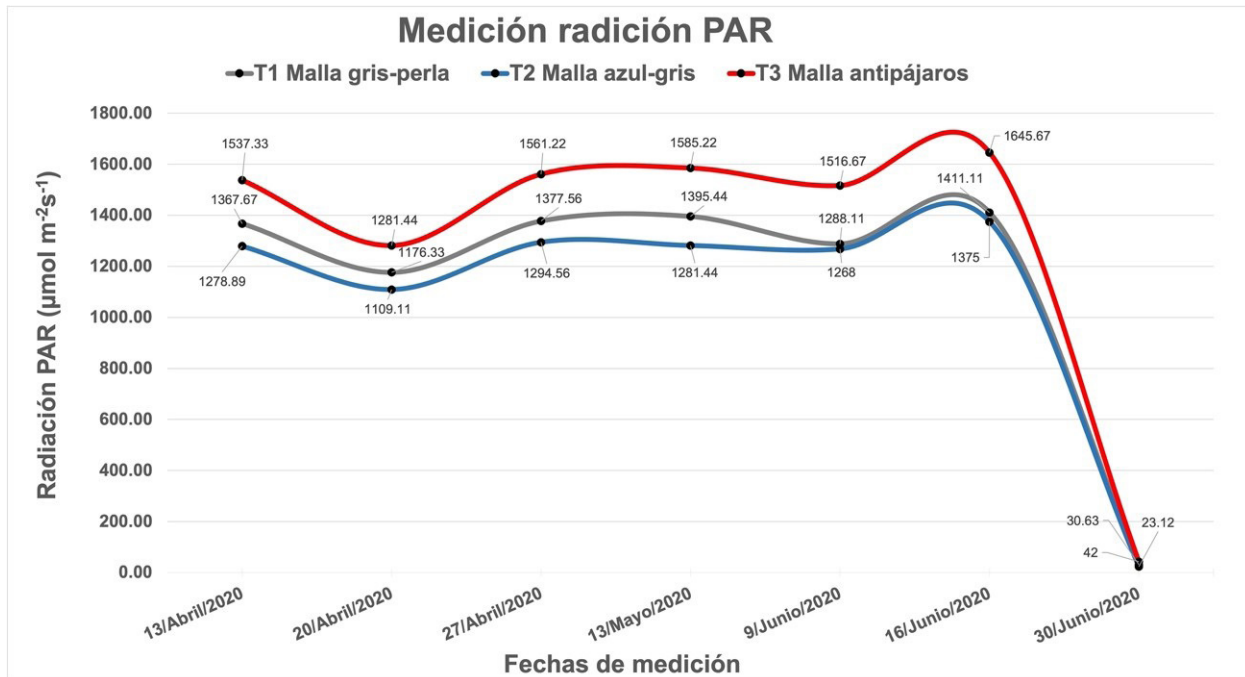


Figura 1. Promedios diarios acumulados de radiación PAR bajo mallas foselectivas gris-perla, azul-gris y malla antipájaros.

La reducción de PAR observada bajo las mallas gris-perla (12,2%) y azul-gris (16,7%) en comparación con el tratamiento testigo sugiere que el color y el porcentaje de sombreo de las mallas influyen significativamente en la cantidad de luz disponible para las plantas. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Gutiérrez (2022), quien documenta reducciones mucho más pronunciadas sobre la reducción de PAR bajo mallas de colores. Durante períodos de alta radiación, las mallas azules reducen la PAR entre 68,5% y 73,7%, y las mallas perla entre 54,5% y 59,7%. En condiciones de menor radiación, las reducciones son también notables, con valores para la malla azul que oscilan entre 64,7% y 66,5%, y para la malla perla entre 42,5% y 52,8%. Todos estos resultados se comparan con el tratamiento a campo abierto.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio reflejan una reducción moderada en la transmisión de luz que puede tener implicaciones significativas para el crecimiento vegetal. Aunque nuestras reducciones son menores que las reportadas por Gutiérrez,

esto podría deberse a diferencias en el diseño experimental, como el tipo específico de cultivos, condiciones ambientales o características ópticas de las mallas utilizadas. La capacidad de las mallas foselectivas para manipular el espectro luminoso puede ser crucial para maximizar la fotosíntesis y, por ende, mejorar la producción agrícola.

Investigaciones previas han demostrado que el uso de mallas foselectivas puede alterar no solo la cantidad sino también la calidad de luz recibida por las plantas, lo que influye en procesos fisiológicos como la asimilación del carbono y el crecimiento del fruto (Escobedo *et al.* 2020). Por ejemplo, se ha observado que las mallas azules pueden aumentar las relaciones B:R (Blue:Red) y R:FR (Red:Far Red) y mejorar así el crecimiento del fruto en manzanos (Bastías *et al.* 2012). Esto sugiere que no solo se debe considerar la reducción cuantitativa de PAR, sino también cómo los diferentes espectros afectan los procesos fisiológicos subyacentes.

Además, el uso estratégico de diferentes colores de mallas podría permitir a los agricultores personalizar las condiciones óptimas para sus cultivos específicos, maximizando así tanto el rendimiento como la calidad del producto final. La implementación efectiva de esta tecnología podría ser una herramienta valiosa frente a los desafíos climáticos actuales, donde el manejo adecuado de la luz se vuelve esencial para mantener altos niveles de productividad agrícola.

Radiación crítica de luz ultravioleta

En este estudio, se observó que las plantas cultivadas bajo mallas fotoselectivas gris-perla y azul-gris presentaron lecturas promedio de

radiación UV muy similares, con diferencias de solo 2 a 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Sin embargo, bajo la malla control, los registros promedio aumentaron significativamente, alcanzaron hasta 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en comparación con las otras dos mallas. Este aumento es especialmente notable durante las horas de mayor temperatura del día, entre las 12 p.m. y las 2 p.m., cuando la malla testigo superó los 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ incluso rebasando el límite de medición del sensor. La tendencia a la baja en las lecturas de radiación UV crítica observada el 30 de junio puede atribuirse a la presencia de nublados durante la mayor parte del día, lo que resalta la influencia de las condiciones climáticas en la medición de la radiación solar (Figura 2).

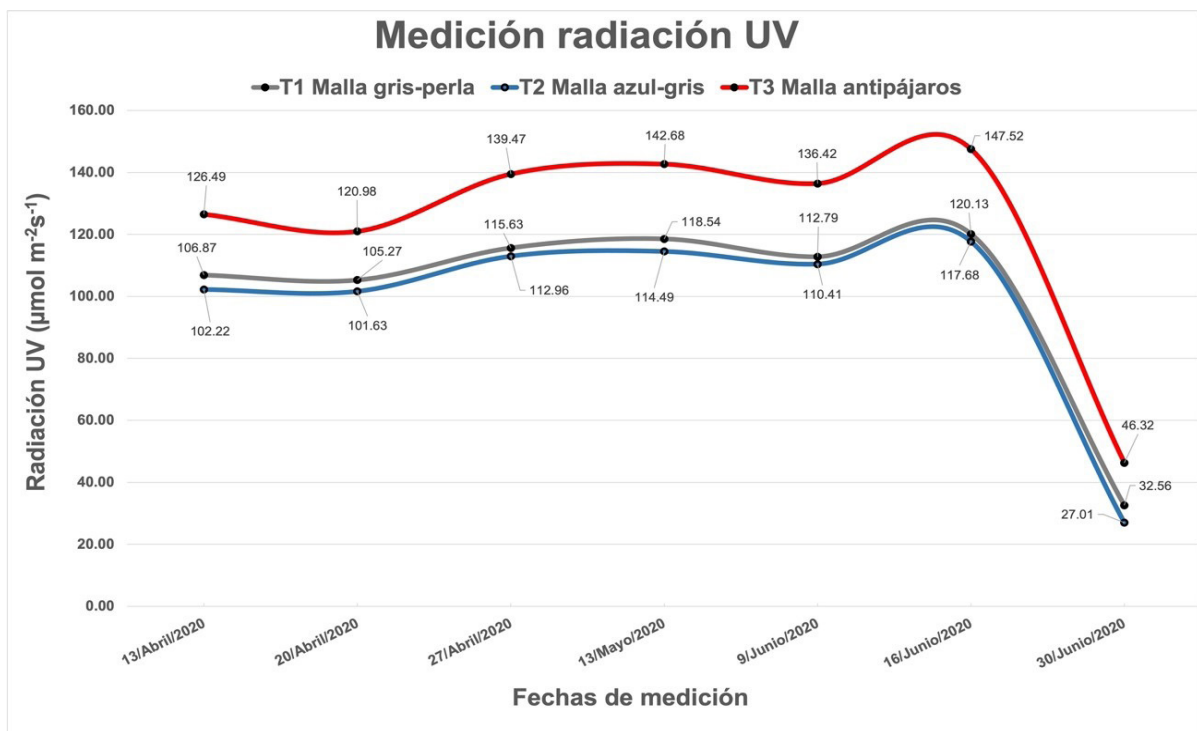


Figura 2. Promedios diarios acumulados de radiación UV bajo mallas fotoselectivas gris-perla, azul-gris y malla antipájaros.

Pardo *et al.* (2021) encontraron que las mallas fotoselectivas disminuyen la transmitancia en el rango UV-A (350-400 nm) en aproximadamente un 20%. En el rango de 400 a 565 nm, se registraron reducciones del

40% para mallas color perla (30% sombra), del 30% para mallas perla (40% sombra) y cerca del 20% para mallas rojas (30 y 40% sombra). En el rango de 565 a 800 nm, la malla roja (30% sombra) redujo la transmitancia

en aproximadamente un 10%, mientras que las mallas rojas (40% sombra), perla (40% sombra) y perla (30% sombra) presentaron reducciones cercanas al 20%.

Estos resultados son consistentes con estudios previos que indican que las mallas fotoselectivas pueden alterar significativamente el espectro luminoso disponible para las plantas. Por ejemplo, Shahak *et al.* (2014) destacan cómo estas mallas no solo afectan la cantidad de luz recibida, sino también su calidad, lo que puede influir en procesos fisiológicos como la fotosíntesis y el crecimiento. La capacidad de estas mallas para filtrar selectivamente diferentes longitudes de onda puede ser crucial para optimizar el rendimiento agrícola al promover respuestas fisiológicas deseadas.

Además, investigaciones recientes han demostrado que el uso de mallas fotoselectivas puede mejorar no solo la calidad del crecimiento vegetal, sino también proteger los cultivos contra plagas y enfermedades al bloquear ciertas radiaciones ultravioletas (Tecnología Hortícola, 2021). Esto es relevante dado que una adecuada regulación del ambiente lumínico puede contribuir a una mayor vitalidad del dosel y una mejor producción general en cultivos hortícolas.

Altura de planta y diámetro de tallo basal.

Los resultados obtenidos en el estudio sobre el crecimiento de plantas de arándano bajo diferentes tipos de mallas fotoselectivas revelan tendencias interesantes (Tabla 3). Aunque no se encontraron diferencias significativas en la altura de las plantas, se observó que aquellas cultivadas bajo malla azul-gris presentaron incrementos del 4.1% y 7.0% en comparación con las mallas gris-perla y el control, respectivamente. Este hallazgo sugiere que la malla azul-gris tiene un efecto positivo en la elongación del crecimiento de las plantas, debido a la calidad y cantidad de luz que filtra. En cuanto al diámetro del tallo basal, los arbustos bajo la malla testigo mostraron el mayor engrosamiento, lo cual es relevante para la estabilidad estructural y la capacidad de soporte de la planta. Este fenómeno puede atribuirse a una mayor exposición a condiciones ambientales favorables sin interferencias adicionales, como las que podrían causar las mallas fotoselectivas, las cuales presentaron diámetros similares entre sí, lo que sugiere que estas condiciones podrían no ser tan favorables para el engrosamiento del tallo como se esperaría.

Tabla 3. Altura y diámetro de tallos en un cultivo de arándanos bajo diferentes mallas fotoselectivas y malla antipájaros

Medidas de tallo en etapa de fructificación		
Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1(gris-perla)	106,75a	11,83b
T2 (azul-gris)	111,31a	11,65b
T3 (testigo)	103,50a	13,73a

*Letras diferentes señalan diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Centímetros: cm, milímetros: mm.

El uso de mallas fotoselectivas ha sido documentado como un método efectivo para modificar las condiciones microclimáticas en cultivos, al apoyar el crecimiento y desarrollo

de las plantas, a menor transmisión de radiación total y fotosintética promueven alargamiento de planta. (Ayala *et al.* 2018). En este contexto, la malla azul-gris de esta

investigación optimizó la transmisión de longitudes de onda específicas que favorecen el crecimiento vertical.

La cantidad y distribución de la radiación incidente afecta significativamente la altura de las plantas. Plantas expuestas bajo túneles con techos de policarbonato rojo reciben menos radiación PAR durante el día y durante todo el ciclo de crecimiento y, por lo tanto, desarrollan más altura, en comparación con plantas a campo abierto que reciben menos radiación y muestran un menor porte (Zermeño y Martínez, 2022).

Páez *et al.* (2021), coinciden parcialmente con los resultados de este trabajo al reportar, que la malla roja al 30% de sombrero mostró mayor número de tallos por planta y aumentar la longitud, sin embargo, contrastan al afirmar que obtuvieron mayor potencial al incrementar el diámetro y la masa seca del tallo floral. Su tratamiento de malla roja al 40% de sombra resultó en una disminución significativa del número de tallos, diámetro y cantidad de hojas, lo que sugiere que un exceso de sombra puede inducir estrés en las plantas, limitando su capacidad fotosintética y otros procesos fisiológicos esenciales

También los resultados de esta investigación difieren con lo reportado por Nomura *et al.* (2020) en tomate cherry en ambientes protegidos compuestos por diferentes mallas fotoselectivas: malla negra (30% sombra); tela blanca (20% sombra); malla azul (20%

sombra) y malla roja (20% sombra), que las mallas no influyeron en el número de hojas, diámetro de tallo, altura de brote, largo de raíz, materia fresca total, materia fresca de brote, materia seca de brote aéreo, materia seca de raíz, clorofila a y clorofila b, en comparación con el tratamiento a cielo abierto.

Estos resultados son coherentes con investigaciones previas que destacan la importancia del uso de mallas fotoselectivas, las cuales indican que un sombreado moderado puede optimizar las condiciones microclimáticas, facilitando así el crecimiento vegetativo y reproductivo.

Masa seca de hojas y plantas

Los hallazgos de nuestro estudio indican que las plantas cultivadas bajo la malla gris-perla lograron un rendimiento notable en términos de biomasa, al superar en un 13,01% a las plantas bajo la malla azul-gris y en un 11,71% al grupo de control. Este incremento sugiere que la malla gris-perla no solo proporciona una mejor calidad de luz, sino que también favorece el crecimiento general de las plantas. En particular, se observó un aumento del 23,50% en la biomasa de las hojas en comparación con la malla azul-gris y un 22,06% respecto a la malla testigo. Estos resaltan la importancia de elegir adecuadamente el tipo de malla, ya que puede tener un impacto considerable en la biomasa y el desarrollo foliar, lo cual es crucial para optimizar el rendimiento en cultivos (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados encontrados para el peso seco de 16 hojas, de la planta completa, en un cultivo de arándanos bajo diferentes mallas fotoselectivas y malla antipájaros

Tratamiento	Peso seco	
	Hoja (gr)	planta (gr)
T1 (gris-perla)	4,85a	672,50a
T2 (azul-gris)	3,71b	585,00b
T3 (testigo)	3,78b	593,75b

*Letras diferentes señalan diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Tratamiento: T, gramos: gr.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Bejarano *et al.* (2021), quienes encontraron que un mayor porcentaje de sombra en PAR está asociado con un incremento en el número de tallos de mejor calidad. Esto implica que la regulación adecuada de la luz es esencial para maximizar tanto la longitud como la masa de los tallos, lo que subraya la relevancia del manejo del sombreado en cultivos como el arándano. Un balance adecuado entre luz y sombra puede favorecer significativamente la producción general del cultivo.

Asimismo, Yamika *et al.* (2023) también destacan el uso de mallas fotoselectivas, al evidenciar que el ajuste de la luz y el suministro de macronutrientes, especialmente potasio, influyen en el crecimiento y rendimiento del cerezo cultivado bajo diferentes condiciones de sombra (0%, 25%, 50% y 75%) y dosis de potasio (0, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹). Los resultados mostraron que la interacción entre el sombreado y las dosis de potasio afectó variables clave de crecimiento, así como el peso seco de los brotes.

Estos estudios refuerzan nuestra conclusión sobre la importancia del manejo adecuado del sombreado para maximizar el rendimiento agrícola. La elección correcta de las mallas no solo influye en la cantidad de luz disponible para las plantas, sino también en su capacidad para aprovechar nutrientes esenciales como el potasio, lo que a su vez puede mejorar significativamente su crecimiento y producción. La implementación estratégica de mallas fotoselectivas podría ser una herramienta valiosa para los agricultores que buscan optimizar sus cultivos en un entorno cambiante y desafiante.

Nuestros resultados y los hallazgos previos destacan cómo las mallas fotoselectivas

pueden ser utilizadas eficazmente para mejorar el rendimiento agrícola al manipular las condiciones lumínicas y nutricionales. A medida que avanzamos hacia prácticas agrícolas más sostenibles, es fundamental seguir con investigaciones sobre cómo estas tecnologías pueden integrarse en sistemas agrícolas para maximizar tanto la productividad como la calidad del producto final.

Análisis foliar

Los análisis foliares realizados en este estudio revelan que las plantas cultivadas bajo las tres mallas fotoselectivas presentan tendencias similares en la concentración de nutrientes, al destacar niveles excesivos de potasio (K), hierro (Fe) y zinc (Zn). A su vez, se observó que los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y cobre (Cu) se mantuvieron dentro de rangos adecuados. Sin embargo, el boro (B) mostró un aumento en su contenido específicamente en las hojas de las plantas bajo la malla gris-perla, aunque este nutriente también se mantuvo en niveles adecuados en todos los tratamientos (Tabla 4).

La presencia de niveles elevados de K, Fe y Zn puede indicar un fenómeno de acumulación relacionado con la capacidad de las plantas para absorber estos nutrientes bajo condiciones específicas de luz y sombra proporcionadas por las mallas. Investigaciones anteriores han demostrado que el uso de mallas fotoselectivas puede influir en la absorción y disponibilidad de nutrientes al modificar el microclima y la radiación solar que reciben las plantas. Por ejemplo, Song *et al.* (2021) encontraron que el uso de mallas fotoselectivas puede aumentar la productividad y mejorar la calidad nutricional de los cultivos al optimizar la luz disponible para la fotosíntesis.

Tabla 4. Niveles nutricionales encontrados en las hojas de arándanos, clasificados los niveles óptimos según Undurraga et al. 2013 y también sometido a comparación de medias, en un cultivo de arándanos bajo diferentes mallas fotoselectivas y malla antipájaros.

Nutriente	Udm	T1 (gris-perla)			T2 (azul-gris)			T3 (testigo)		
		Def	Ade	Exc	Def	Ade	Exc	Def	Ade	Exc
Nitrógeno (N)	%		1,85a			1,90a			1,77a	
Fósforo (P)	%		0,17a			0,12a			0,16a	
Potasio (k)	%			1,04a			0,90a			0,85a
Calcio (Ca)	%		0,77a			0,62a			0,48a	
Magnesio (Mg)	%		0,17a			0,12a			0,11a	
Fierro (Fe)	mg/Kg			698,33a			574,67a			616,00a
Manganeso (Mn)	mg/Kg		154,00a			144,33a			154,00a	
Zinc (Zn)	mg/Kg			52,67a			61,33a			58,00a
Cobre (Cu)	mg/Kg		12,67a			13,33a			12,67a	
Boro (B)	mg/Kg		59,67a			46,00b			49,67b	

*Letras diferentes señalan diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $p=0.05$). Tratamiento: T, unidad de medida: Udm, nivel deficiente: Def, nivel adecuado: Ade, nivel excesivo: Exc, porcentaje: %, miligramos por kilogramo: mg/kg.

El hecho de que el boro aumente su concentración bajo la malla gris-perla sugiere que esta malla podría favorecer condiciones que mejoran la asimilación o movilidad del boro en las plantas. El boro desempeña diversas funciones esenciales en las plantas, siendo crucial para varios procesos metabólicos, incluidos los relacionados con carbohidratos, ácido ribonucleico, compuestos fenólicos y derivados del ácido indol acético. Además, es fundamental para la estructura de la pared celular y la integridad de la membrana plasmática, así como para la división celular, la diferenciación y elongación en los tejidos meristemáticos. (Mogoşanu *et al.* 2024). Su incremento en las hojas podría estar relacionado con el empleo de malla sombras que pueden aumentar notablemente la resistencia de los cultivos ante las tensiones

ambientales. Estas mallas no solo resguardan a las plantas de la exposición directa al sol, sino que también disminuyen la evaporación del agua, lo que favorece la conservación de la humedad del suelo en épocas secas. De hecho, investigaciones han evidenciado que las mallas de sombra pueden disminuir las tasas de evaporación en hasta un 30%, lo que contribuye a una gestión más eficiente del agua y nutrientes (EyouAgro, 2024).

Además, es importante considerar que las variaciones en los niveles de nutrientes pueden estar influenciadas por factores externos como el tipo de suelo, el riego y la fertilización. En este sentido, Xiaolan *et al.* (2021) destacan que comprender el impacto del riego y la fertilización en la fisiología de la planta de arándano es crucial para

maximizar el rendimiento y calidad del cultivo, especialmente cuando se utilizan tecnologías para su plantación de precisión.

Por otro lado, los resultados también indican que, a pesar de los niveles excesivos de ciertos nutrientes, los cultivos mantienen un equilibrio nutricional adecuado, lo cual es fundamental para su crecimiento saludable. Esto resalta la importancia del monitoreo continuo de los nutrientes foliares para ajustar las prácticas agronómicas según sea necesario.

CONCLUSIONES

La investigación sobre la morfología de la planta de arándano variedad 'Biloxi' bajo mallas fotoselectivas en Sinaloa revela la importancia crucial de la manipulación de la radiación solar en condiciones de cultivo específicas. Los resultados demuestran que las mallas fotoselectivas son una técnica eficaz para controlar la intensidad de la radiación solar, mostraron reducciones significativas en la radiación PAR y UV, especialmente la gris-perla que optimiza el crecimiento y desarrollo de estas plantas, aporta un aumento significativo en la biomasa y un balance adecuado de nutrientes, particularmente en lo que respecta al boro. Este estudio no solo resalta la viabilidad del uso de tecnologías innovadoras en el cultivo de arándanos en climas adversos, sino que también sugiere un camino hacia la mejora de la producción agrícola en Sinaloa, apunta hacia prácticas de manejo que integren sostenibilidad y eficacia. Por lo tanto, la implementación de mallas fotoselectivas puede ser la clave para propiciar un cultivo exitoso en el contexto actual de la agricultura mexicana.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por el apoyo financiero para la realización

de este proyecto. Al Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa por aceptarme en su programa de estudios. Así también a la compañía ALGACELL por su valiosa colaboración al proporcionar las instalaciones para desarrollar la investigación.

Conflicto de interés

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito.

REFERENCIAS

- Antignus, Y. 2014.** Management of Air-Borne Viruses by "Optical Barriers" in Protected Agriculture and Open-Field Crops. In: Maramorosch K, Mettenleiter TC, Murphy FA, et al. (eds) *Advances in Virus Research*. pp 1–33
- Association of Official Analytical Chemists. 1997.** *Official Methods of Analysis of the A.O.A.C 15th Ed.* Washington, D.C. US Government Printing Office, 1990. *Metals in plants: Atomic Absorption Spectrophotometric method.* (975.03).
- Ayala, F., Yañez, J. M. y López, O. C. 2018.** Sunlight transmitted by colored shade nets on photosynthesis and yield of cucumber. *Cienc Rural* 48:1–9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170829>
- Basson, W. D., Boehmer, R. G. y Stanton, D. A. 1969.** An automated procedure for the determination of boron in plant tissue. *Analyst*, 94(1125), 1135-1141. <https://doi.org/10.1039/AN9699401135>

- Bejarano, W. J. C., Pardo, A. M. P. y Julio, V. Bogotá. 2021.** Manipulación del ambiente lumínico en cultivos en invernadero. Caso mallas fotoselectivas de colores en alstroemeria en la sabana de Bogotá. En: Flórez R., V.J (ed.). Productos relevantes del proyecto Fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de ciencia, tecnología e innovación aplicadas en Cundinamarca. Bogotá: Ediciones Unisalle, Ceniflores. pp. 218-252. https://www.researchgate.net/profile/William-Cuervo-Bejarano/publication/355955125_Manipulacion_del_ambiente_luminico_en_cultivos_en_invernadero_Caso_mallas_fotoselectivas_de_colores_en_alstroemeria_en_la_Sabana_de_Bogota/links/6185ff6e07be5f31b74c1318/Manipulacion-del-ambiente-luminico-en-cultivos-en-invernadero-Caso-mallas-fotoselectivas-de-colores-en-alstroemeria-en-la-Sabana-de-Bogota.pdf
- Briceño, B. I. 2018.** Prototipo de sistema de torre de viento para enfriamiento habitacional híbrido en clima cálido. Caso de estudio vivienda urbana en Sinaloa, México. Pp: 23-25. Trabajo de obtención de grado, Maestría en Proyectos y Edificación Sustentable. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO. <http://hdl.handle.net/11117/5437>
- Cascone, S., Ingrao, C., Valenti, F. y Porto, S. 2020.** Energy and environmental assessment of plastic granule production from recycled greenhouse covering films in a circular economy perspective. *J Environ Manage* 254:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109796>
- Castañeda, O. A., Pacheco M. D., Páez, H. M., Rodríguez, J. A. y Galán, V. C. 2009.** Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4): 859-871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>.
- Díaz, M. J. 2022.** Impacto del uso de mallas foto-selectivas (mps) sobre la actividad de enemigos naturales de insectos plaga. Dirección de Postgrado, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas Programa de Magíster en Ciencias con mención en Zoología. Tesis Doctoral. Université du Québec à Montréal, Canadá. <https://www.laboluttebio.uqam.ca/wp-content/uploads/2023/03/Yanez-Diaz-2020-Impacto-del-uso-de-mallas-foto-selectivas-MPS-sobre-la-actividad-de-enemigos-naturales-de-insectos-plaga.pdf>
- Escobedo, S. M., Conejo, F. R., Durón T. S. y García, J. 2020.** Radiación fotosintéticamente activa evaluada en la ciudad de Zacatecas. *Rev. Energ. Quím. Fís*, 7, 1-11. https://www.researchgate.net/publication/351553092_Radiacion_fotosinteticamente_activa_evaluada_en_la_ciudad_de_Zacatecas
- EyouAgro. 2024.** Proteger los cultivos de la luz solar: la importancia de las mallas de sombra en África. <https://es.eyouagro.com/blog/Proteger-los-cultivos-de-la-luz-solar:-la-importancia-de-las-mallas-de-sombra-en-%C3%81fric>
- García, R. A., Granados, L. D., García, R. S., Díez, M. M. y Alonso, T. C. 2021.** Modelling Photosynthetic Active radiation (PAR) through meteorological indices under all sky conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 310:108627.
- González, A., Riquelme, J., France, A., Uribe, H., Morales, A. y Becerra, C. 2017.** Manual de manejo agronómico del arándano. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. 98 pp. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/f5e8c8a0-8bc7-4759-891a-4115523d82a4/content>

- Gutiérrez, R. T. 2022.** Efecto de tres mallas agrícolas fotoselectivas sobre los cultivos de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) y kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica* L.) hidropónicos durante dos periodos con distinta radiación. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Escuela de Agronomía. Tesis licenciatura en ingeniería. Universidad de Costa Rica. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/19726>
- Ilić, Z.S. y Fallik, E. 2017.** Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. *Environ Exp Bot* 139:79– 90. Doi: [10.1016/j.envexpbot.2017.04.006](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006)
- Kalt, W., Cassidy, A., Howard, K. R., Stull, A. F. y Zamora, R. R. 2020.** Investigaciones recientes sobre los beneficios para la salud de los arándanos y sus antocianinas. *Adv. Nutr.* 2020; 11 :224–236. Doi: [10.1093/advances/nmz065](https://doi.org/10.1093/advances/nmz065).
- Lachica, M., Aguilar, A. y Yáñez J. 1973.** Análisis foliar. Métodos utilizados en la Estación Experimental Zaidín. *Anales de Edafología y Agrobiología* 32:1033- 1047.
- Marín, J. L., Martínez, J. M. B., López, A. G., Alcon, G. O. y del Amor Saavedra, F. M. 2022.** Influencia de las mallas fotoselectivas en la calidad de los frutos de pimiento en el sudeste español. In XLVIII Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura: Muriedas (Cantabria), 11-14 junio 2018 (pp. 200-208). Centro de Publicaciones.
- Meena, V. S., Kashyap, P., Nangare, D. D. y Singh, J. 2016.** Effect of coloured shade nets on yield and quality of pomegranate (*Punica granatum*) cv. Mridula in semi-arid region of Punjab. *Indian J Agric Sci* 86:500–505
- Mesa, T. P. 2015.** Algunos aspectos de la fenología, el crecimiento y la producción de dos cultivares de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Darowii plantados en Guasca en Cundinamarca, Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas Programa de Biología Aplicada, Colombia. Tesis licenciatura, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá. <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/ade1274-78fa-4037-8a6c-b8bc87243f55/content>
- Mogoşanu, G. D., Biţă, A., Bejenaru, C., Rau, G., Ciocilteu, M. V. y Scorei, I. R. 2024.** Evaluación cromatográfica y fitobiológica de algunos compuestos naturales que contienen boro. *Anales de la Universidad de Craiova - Serie Agricultura, Montanología, Catastro*, <https://doi.org/10.52846/aamc.v53i2.1511>
- Mohr, K. F. 1855.** Lehrbuch der chemisch-analytischen Titrimethode: nach eigenen Versuchen und systematisch dargestellt ; für Chemiker, Ärzte und Pharmaceuten, Berg- und Hüttenmänner, Fabrikanten, Agronomen, Metallurgen, Münzbeamte etc. ; in zwei Abtheilungen. 1. XII, 395 S. [urn:nbn:de:bvb:12-bsb10073429-2](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:12-bsb10073429-2)
- Mupambi, G., Anthony, B. M., Layne, D. R., Musacchi, S., Serra, S., Schmidt, T. y Kalcsits, L. A. 2018.** The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: A review. *Sci. Hortic.* (Amsterdam). 236, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>
- Nomura, M., Da Silva, L., Ventura, M., Costa, E., Vilarinho, M., Pereira, L., Evangelista, R. y Machado, L. 2020.** PRODUCCIÓN DE CHIPS DE TOMATE CHERRY EN DISTINTOS TIPOS DE AMBIENTE PROTEGIDO., 4, 1-6 . <https://doi.org/10.37951/2595-6906.2020v4i1.5478>.

- Officials, M. A. A. I. (AOAC). 1997.** Fertilizers 16th Ed. 3rd revision. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA., Vol 1, chapter 2, method 957.02 (e). p.5.
- Oficina, C. P. M. 2017.** Perfil de mercado de arándanos en los Estados Unidos de Norteamérica. Línea Estados Unidos. ser Consultado, 5. <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/679039529rad01938.pdf>
- Organización, M. N. U. A. A. (FAO). 2024.** Producción. Cultivos y productos de ganadería.
- Páez, O. M., Flórez, R. V. y Ramírez, G. J. 2021.** Fundamentos de la floración mediada por luz y potencialidades de las mallas fotoselectivas y huellas espectrales en floricultura. En: Flórez R., V.J. (ed.). Productos relevantes del proyecto Fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de ciencia, tecnología e innovación aplicadas en Cundinamarca. Bogotá: Ediciones Unisalle, Ceniflores. pp. 254-295. https://www.researchgate.net/publication/354157318_Fundamentos_de_la_floracion_mediada_por_luz_y_potencialidades_de_las_mallas_fotoselectivas_y_huellas_espectrales_en_floricultura
- Selahle, K. M., Sivakumar, D., Jifon, J. y Soundy, P. 2015.** Postharvest responses of red and yellow sweet peppers grown under photo-selective nets. Food Chem 173:951–956. Doi: [10.1016/j.foodchem.2014.10.034](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.034)
- Shahak, Y. 2014.** Photo-selective netting: An overview of the concept, research and development and practical implementation in agriculture. Acta Horticulturae, The Hague, v.1015, p.155- 162, 2014. https://www.ishs.org/ishs-article/1015_17
- Sistema. I. A. P. 2023.** Panorama agroalimentario 2023. Agricultura regenerativa, la vía para un futuro sustentable. Pag. 32.
- Song, G., Xuena, L., Ying, L., Bili, C., Zijing, C. y Kun, X. 2021.** The Spectral Irradiance, Growth, Photosynthetic Characteristics, Antioxidant System, and Nutritional Status of Green Onion (*Allium fistulosum* L.) Grown Under Different Photo-Selective Nets. Frontiers in Plant Science, 12:650471-650471. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.650471>
- Spiers, J. M., Stringer, S. J., Draper, A. D. y Gupton C. L. 2002.** 'Biloxy' southern highbush blueberry. In: VII International Symposium on Vaccinium Culture 574: 153-155. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.574.21>
- Tecnología, H. 2021.** Ensayos de mallas fotoselectivas en el campo de Cartagena. Recuperado de <https://www.tecnologiahorticola.com/ensayos-mallas-fotoselectivas-campo-cartagena/>
- Torres, J. M. 2022.** Relación de la radiación solar con la producción de plantas: agroproductivas: Julio Montero Torres. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 9(1), 52-66. <https://doi.org/10.53287/oqym7033yy88k>
- Undurraga, P. y Vargas, S. 2013.** Manual del arándano. Boletín INIA N° 263. 120 p. Instituto de investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillan, Chile. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/31909>

- Vrhovsek U., Masuero D., Palmieri L. y Mattivi F. 2012.** Identification and quantification of flavonol glyco-sides in cultivated blueberry cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(1); 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.04.015>.
- Vuković, M., Jurić, S., Bandić, L., Levaj, B., Fu, D. y Jemrić, T. 2022.** Producción alimentaria sostenible: conceptos innovadores de redes y su modo de acción en cultivos frutales. *Sustentabilidad*. <https://doi.org/10.3390/su14159264>
- Xiaolan, G., Li, S., Delu, W., Zongsheng, H., Naeem, S., Khuram, M., Muhammad, S. y Mubshar, H. 2021.** Efectos de la combinación de agua y fertilizantes en las características fisiológicas y el crecimiento del arándano de ojo de conejo. *PLOS ONE*, 16(7) <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254013>
- Yamika, W. S., Aini, N., Waluyo, B. y Kurniawan, A. P. 2023.** Effect of Shading Percentage and Potassium Dosages on Growth and Yield of Cutleaf Groundcherry (*Physalis angulata* L.). *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 38(2), 260-272. <http://dx.doi.org/10.20961/carakatani.v38i2.72687>
- Zermeño, G. J. y Martínez, C. J. 2022.** Efecto de la radiación fotosintéticamente activa en el crecimiento de plantas bajo diferentes condiciones de sombra. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(5), 123-135. doi:10.33885/rmca.v13n5.123