

CAPÍTULO 1

Manejo de riego en el cultivo de pimentón *Capsicum annuum* L.

Richard Alberto Rodríguez Padrón

<http://dx.doi.org/10.4322/mp.2020.001.01>

Resumen

La gestión eficaz de los recursos hídricos es la clave para la sostenibilidad y rentabilidad de los cultivos. Este capítulo tiene como objetivo la revisión bibliográfica de estrategias experimentales empleadas para el uso eficiente de agua en el cultivo de pimentón, plantado bajo malla sombra y en campo. Se presentan resultados de dos ensayos en diferentes localidades, empleando la misma estrategia de riego deficitario. El cultivo del pimentón mostró un mayor rendimiento cultivado en campo abierto en comparación con el de 50% de sombra. Comparando las variables evaluadas, 50% del sombreado resultó en valores más bajos de tasa de crecimiento del diámetro del tallo, el índice de clorofila y el número de frutos por planta. Por otro lado, resultó en valores más altos, en la tasa de crecimiento de la planta y el índice del área foliar, mostrando frutos con mayor longitud y diámetro. En campo abierto los parámetros morfológicos mostraron valores más bajos de tasa de crecimiento de la planta; índice de área foliar y materia seca en plantas. Asimismo, resultó en valores más altos de diámetro del tallo e índice de clorofila. En cuanto a los parámetros del fruto resultaron de mayor número de frutos por planta, con frutos de menor longitud y diámetro. El manejo del riego diario aumentó el uso eficiente del agua. Las láminas de riego que mostraron mayor rendimiento fueron con frecuencia de riego diario con láminas de 60% ETc y frecuencia de riego interdiaria con láminas de 80% ETc.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., riego deficitario, riego por goteo, malla sombra.

1. Introducción

El pimentón (*Capsicum annuum* L.) es miembro de la familia de las solanáceas y son nativas de México, Centroamérica y norte de América del Sur [1, 2]. Es un cultivo importante en muchas partes del mundo por su importancia económica, ocupando el segundo lugar en la producción mundial. Los principales países productores son China, México, Turquía, Indonesia, España y Estados Unidos.

La falta generalizada de agua para la producción agrícola ha llevado frecuentemente a la necesidad de crear estrategias destinadas a optimizar la eficiencia de su uso [3]. La estrategia para asegurar el suministro de alimentos a la población mundial en los próximos 25 años, incluye inevitablemente el aumento paralelo de la producción agrícola. Y gran parte de este esfuerzo lo representa el riego, por lo que el mayor reto es mejorar la eficiencia y el rendimiento de la agricultura, el agua y la energía de los campos de regadío existentes [4, 5].

La escasez de los recursos hídricos requiere la gestión y el uso adecuado para el control de la disponibilidad de agua, dado que el sector agrícola es de las actividades que demandan más agua debido a las exigencias de cada cultivo [6]. Por lo tanto, son

muy necesarias todas las técnicas para ahorrar el agua de riego y aumentar el rendimiento con la eficiencia del uso del agua.

La gestión eficaz de los recursos hídricos es la clave para la sostenibilidad y rentabilidad del cultivo, lo que fomenta el desarrollo de nuevas técnicas para el análisis y la gestión eficiente del agua. Este capítulo tiene como objetivo la revisión bibliográfica de estrategias experimentales empleadas para el uso eficiente de agua en el cultivo de pimentón, plantado bajo malla sombra y en campo abierto.

2. Cultivo de pimentón

El pimentón (*Capsicum annuum* L.) pertenece a la familia *Solanaceae* y el género *Capsicum* [7], es típicamente de origen estadounidense y se presenta en formas silvestres desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Chile [2, 8]. Según [2], los indígenas ya lo cultivaban y consumían siglos antes de la colonización española. Fue introducido en España en 1493, desde donde se expandió a lo largo del siglo XVI a otras naciones de Europa, Asia y África, convirtiéndose en un alimento muy apreciado. Hay registros de que el primer cultivar que llegó a Brasil pertenecía al grupo "Cascadura".

Inicialmente introducido en los municipios de Mogi das Cruzes y Suzano en el estado de São Paulo, este grupo produce el tipo de fruta preferida por la mayoría de los consumidores, con forma aproximadamente cónica, ligeramente alargada y de color verde oscuro [9].

La planta es arbustiva, sus raíces alcanzan hasta un metro de profundidad, con poco desarrollo lateral y el tallo semileñoso puede superar un metro de altura. Soporta una ligera carga de frutas y, por lo tanto, requiere tutorado, debido a la alta productividad de los híbridos actuales, cuyo promedio en campo es de 40 t a 60 t ha⁻¹, mientras que bajo cultivo protegido alcanza 180 t ha⁻¹. Es autógama, aunque la tasa de cruce puede ser alta, según la acción de los insectos polinizadores. Las flores son solitarias, hermafroditas y el pedicelo está pendiente o inclinado en la etapa de antesis. La corola es blanca, sin manchas en la parte basal de los lóbulos, que son erectos [10].

La clasificación de la fruta es de tipo baya, con pericarpio algo carnoso, que constituye la parte utilizable, y el epicarpio verde oscuro se tiñe de color cuando madura. Siempre es hueca, con semillas blancas, planas y reniformes, de 3 mm a 5 mm de largo, conectadas a un cordón que existe dentro del fruto [2, 11]. El cáliz no tiene constricción en la unión con el pedicelo y puede arrugarse principalmente en plantas con frutos anchos.

El pimentón se cultiva en regiones tropicales y templadas. La temperatura tiene influencia directa en algunas funciones vitales para las plantas, tales como: germinación, sudoración, respiración, crecimiento, florecimiento y fructificación. Para cada etapa de desarrollo, presenta un rango de temperatura óptimo [12]. La planta es termofílica, siendo el rango de temperatura ideal para su desarrollo entre 16°C y 28°C. Según [13], la temperatura ideal para la germinación es entre 25°C y 30°C, y para el desarrollo vegetativo entre 25°C y 27°C durante el día y entre 20°C y 21°C durante la noche.

Para cultivos protegidos, se recomiendan temperaturas nocturnas de 20°C y diurnas entre 27°C y 30°C [14, 15]. El ciclo de cultivo desde la siembra hasta el inicio de la cosecha de frutas verdes es de aproximadamente 110 días, siendo el período más largo el de la producción de frutas maduras de color rojo, amarillo u otro color. La

cosecha dura de 3 a 6 meses, dependiendo del estado fitosanitario y nutricional de las plantas [10].

El fotoperiodo no es limitante en el cultivo del pimentón, ya que la floración y fructificación se producen en cualquier momento del día [10]. Sin embargo, se puede decir que es una planta opcional de día corto, es decir, la floración, fructificación y maduración de la fruta son más tempranas en días cortos, lo que favorece la productividad. La combinación de baja humedad relativa y alta temperatura puede causar una transpiración excesiva de la planta y, por consiguiente, caída de los brotes, flores y formación de pequeños frutos [16].

La comercialización de frutas de pimentón dulce puede ocurrir de varias maneras: en forma de frutas frescas, frutas deshidratadas, conservas, hojuelas o en polvo. El pimentón se obtiene al deshidratar o moler los frutos rojos, y se usa principalmente como colorante natural en la industria de procesamiento de alimentos y como ingrediente en conservas y embutidos [17].

La calidad de las frutas y hortalizas se caracteriza en función de atributos como la apariencia, sabor, textura y valor nutricional [18]. Esta caracterización, según [19], es importante, y deben observarse las variables necesarias para mejorar la comercialización en los mercados nacionales y extranjeros, así como para el desarrollo de técnicas de almacenamiento y manipulación post cosecha. Por lo que es de fundamental importancia evaluar el efecto de las prácticas de gestión en la productividad, la calidad química y física del producto, así como la longevidad durante el proceso de comercialización.

Debido a los cambios requeridos por el mercado y demandas de los consumidores, la mejora de este vegetal ha priorizado no solo la productividad, sino también la calidad del producto. En consecuencia, los objetivos principales han sido obtener frutos uniformes y de alta calidad, pulpa gruesa, plantas tempranas y resistentes a patógenos y plagas. Asimismo, el uso de híbridos se ha utilizado cada vez más gracias a sus ventajas, como una mayor resistencia a plagas y enfermedades, mayor uniformidad, vigor de la planta, homeostasis, maduración temprana, mayor calidad, rendimiento y patente natural, que garantizan el retorno de la inversión [20].

3. Necesidades hídricas

En general, puede decirse que la planta de pimentón tiene una necesidad uniforme de agua durante todo su ciclo. Es sensible tanto al exceso de raíz como a la falta de agua. La deficiencia de agua, entre otros factores, hace que las flores se caigan. El riego excesivo puede conducir a la asfixia de la raíz, lo que causa la pudrición de la raíz y el pie. Pero por otro lado, las irregularidades en el suministro de agua pueden favorecer a la aparición de necrosis apicales. En conclusión, el riego debe mantener el suelo húmedo, pero sin exceso [10, 21].

El riego realizado por aspersión, goteo o en surcos, se aplica para mantener el suelo cerca de las raíces con 80% o más de agua útil. Este alto contenido de agua debe mantenerse durante todo el ciclo del cultivo, especialmente durante la fructificación y cosecha. Sin embargo, se debe asegurar el drenaje de las tierras de cultivo, evitando el exceso de agua en el suelo, lo que, entre otros daños, como ya se señaló, causa la pudrición de la raíz. Se observa que los cultivares híbridos, que tienen un mayor potencial productivo, son más exigentes, tanto en fertilización como en disponibilidad de agua [2].

El sistema de riego por goteo es muy eficiente para regar pimentón, ya que ofrece numerosas ventajas, tales como: ahorro de agua; energía y mano de obra; mayor uniformidad de aplicación de agua; aplicación en cualquier tipo de suelo y topografía; menor gravedad de las enfermedades de la parte aérea; facilidad de fertirrigación; automatización, y mayor productividad. El riego por goteo puede y debe realizarse a alta frecuencia, ya que es un sistema fijo, que solo riega parte del suelo y minimiza la aparición de la mayoría de las enfermedades aéreas [22].

Según [23], evaluaron el crecimiento y productividad del cultivo de pimentón bajo la influencia de láminas de riego y dosis de potasio. Las variables de crecimiento y rendimiento fueron influenciadas por estas condiciones (láminas de riego y dosis de potasio). Cuando se fijó la dosis más baja, en el caso de la estimación del mayor número de frutas por planta; el peso promedio de la fruta, así como la productividad, se produjo con el uso de las láminas de riego de máxima eficiencia equivalente, un 96%, 102% y 120% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), respectivamente.

En el cultivo de pimentón, [24] caracterizaron y relacionaron la radiación líquida con el calor latente equivalente, en milímetro de agua, en cultivos protegidos y de campo. El cultivo protegido, a pesar de recibir menos cantidad de radiación solar global, fue más eficiente al convertir la radiación líquida disponible en materia seca total y productividad de la fruta. También presentó menor cantidad de radiación líquida disponible y menos pérdidas de energía, demostrando ser más eficiente en el uso del agua.

Magalhães y Castro [25] observaron la evapotranspiración media máxima (ETm) en pimentón de campo de 524,22 mm. También, [22] indicaron necesidades de agua entre 450 mm y 650 mm, dependiendo esencialmente del ciclo adoptado y los sistemas de riego. [26] declararon que la necesidad de agua con pimentón en campo es del orden de 600 mm a 900 mm, y [27] encontraron 414,40 mm de evapotranspiración.

4. Manejo y disponibilidad del agua

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para la agricultura, pero su disponibilidad está disminuyendo debido al aumento de la población en todo el mundo. El manejo efectivo de este recurso se considera de mucha importancia y el uso eficiente del agua de riego es la clave para la sostenibilidad y la rentabilidad de los cultivos. El alto consumo de agua en las regiones donde el agua es limitada, fomenta el desarrollo de nuevas técnicas para analizar y administrar eficientemente este recurso. El manejo adecuado y la calidad del agua de riego son fundamentales para obtener una alta productividad, calidad, reducción de costos y un uso racional del agua [28].

Se estima que el área bajo riego del mundo ocupa alrededor de 17% de todas las tierras cultivables y representa la producción de más de 40% de todos los alimentos consumidos. El área de riego en todo el mundo es equivalente a casi 2,5 veces la producción de alimentos de las zonas de secano [29].

Existe la tendencia natural a aumentar el uso del agua en el futuro, ya sea por el crecimiento de la población, que se traduce en una mayor necesidad de alimentos, o la disponibilidad de tierras aptas para su uso en la agricultura de riego, estimada en 470 millones de hectáreas. Por lo tanto, surge la expectativa de un aumento en la demanda de agua en el futuro cercano, pero no se pronostica un aumento del agua dulce en el planeta. Por el contrario, la deforestación y el uso inadecuado del suelo

han mantenido una alta escorrentía superficial con baja reposición continua de manantiales y fuentes de agua [30].

Como resultado del impacto del cambio climático para los agricultores, será más difícil predecir el suministro de agua y las sequías e inundaciones serán más frecuentes. Sin embargo, estos impactos variarán ampliamente de un lugar a otro. Los científicos predicen que las altas temperaturas beneficiarán a la agricultura en las latitudes del norte, mientras que en la mayoría de las regiones tropicales áridas y semiáridas se afrontará la disminución de las lluvias y la escorrentía. La tendencia adversa para los países de estas regiones es que experimentarán más inseguridad alimentaria [29]. Las áreas donde se espera que se reduzcan las lluvias tendrán que aumentar el almacenamiento y mejorar la gestión del agua. Los grandes sistemas de riego tienen que adaptarse a los cambios que ocurrirán en los sistemas de suministro de agua y apoyar medidas de control de agua a pequeña escala.

Hay cinco intervenciones políticas fundamentales:

1. Incluir medidas de adaptación y mitigación para la gestión del agua para la agricultura en los planes nacionales de desarrollo.
2. Promover medidas técnicas y de gestión para aumentar la flexibilidad de la agricultura de secano y riego, así como reducir la pérdida de agua en los sistemas de producción bajo riego.
3. Mejorar el conocimiento sobre el cambio climático y el agua, y difundir las buenas prácticas entre países y regiones.
4. Promover políticas nacionales para la gestión de riesgos a través de mejores redes para monitorizar y garantizar productos innovadores.
5. Movilizar fondos de adaptación para abordar los desafíos de la seguridad hídrica y alimentaria causados por el cambio climático.

La agricultura de secano, que comprende 96% del total de la tierra agrícola en África subsahariana, 87% en América del Sur y 61% en Asia, será la más afectada. En áreas marginales semiáridas, con estaciones secas prolongadas, habrá un mayor riesgo de fracaso de los cultivos sin garantizar la estabilidad de la producción, lo que originará la migración de las personas. En 2080, el área no apta para la agricultura de secano en el África subsahariana debido a las condiciones climáticas y a las limitaciones de suelo y tierra, puede aumentar de 30 a 60 millones de hectáreas [29]. Según [31], la gestión del riego es importante no solo para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos, sino también para minimizar los problemas de enfermedades, la lixiviación de nutrientes y el gasto en agua y consumo de energía.

5. Malla sombra

Las mallas sombra se usan cada vez más, lo que reduce la incidencia directa de la luz solar en especies que necesitan menos flujo de energía radiante [32]. Rylski y Spigelman [33] comentan que es una alternativa relativamente económica, que protege a las plantas de la alta radiación solar directa y, en consecuencia, reduce la cantidad de frutas que se dañan por las quemaduras solares. Gruda [34] obtuvo plantas más vigorosas con frutos de mejor calidad y mayor rendimiento, en comparación con la producción en campo abierto. Setubal y Silva [35] señalan que la lechuga, procedente de regiones de clima templado, cuando se cultiva en condiciones de alta temperatura y luz, deja de manifestar todo su potencial genético, con reducción en el ciclo y anticipación de la fase reproductiva.

La temperatura afecta las funciones vitales de las plantas, como la germinación, transpiración, respiración, fotosíntesis, crecimiento y floración [36]. Es así que la

siembra en ambiente protegido puede ser utilizada para reducir los efectos de la temperatura sobre la planta [27]. Y es que en la agricultura se ha incrementado el uso de malla sombra para atenuar el flujo de radiación solar [37]. El exceso de radiación, generalmente acompañado por altas temperaturas, puede causar daños, como el aborto de flores, la reducción de los rendimientos e incidencia de desórdenes fisiológicos frutales, como pudrición apical y quemaduras de sol, que causan una pérdida significativa [38, 39]. Asimismo, la malla sombra reduce las necesidades de agua y aumenta el uso eficiente del agua de riego [40].

Debido a los factores característicos de las regiones tropicales, como la alta luminosidad y altas temperaturas, existe un uso cada vez mayor de malla sombra [41, 42]. La malla sombra reduce la incidencia directa de la luz solar, favorable a las especies que necesitan menor flujo de energía radiante, lo que reduce la temperatura. Esta menor incidencia de energía solar puede contribuir a disminuir los efectos extremos de la radiación, principalmente la fotorrespiración, y proporcionar mejores condiciones ambientales, aumentando la productividad y calidad de las hojas para el consumo de lechuga [43].

Whatley y Whatley [44] encontraron que las plantas que se mantienen a la sombra tienden a ser más altas y tienen un área foliar más grande que las que crecen a plena luz del sol, ya que la luz brillante favorece el desarrollo de células largas, mientras que las que crecen en ambientes cubiertos muestran mayor formación de parénquima lacustre, confirmando lo que observaron [45], al afirmar que las plantas que crecen en ambiente cubierto tienen mayor masa foliar que las que crecen a plena luz del sol.

6. Resultados

6.1. Experiencia I. Riego deficitario controlado. Caso de estudio Mérida, Venezuela

La investigación se realizó durante el periodo entre agosto de 2008 y enero de 2009, en el área experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP-ULA), ubicada en San Juan de Lagunillas, municipio Sucre del Estado Mérida, Venezuela. Localizada en las coordenadas geográficas latitud 8.506985° y longitud -71.353014° , altitud 1.100 msnm. El clima de la región es seco y cálido, la temperatura promedio anual es de 22°C , máxima de 27°C y mínima de 17°C . La precipitación promedio anual registrada es de 500 mm. El suelo está clasificado como Cambortid Típico y tiene una profundidad efectiva de 21 cm [46].

Esta investigación se basó en una estrategia de riego deficitario controlado, con aplicación de láminas de riego (100%, 80% y 60% ETc) y frecuencias de riego (diaria e interdiaria), obteniéndose los siguientes resultados: comparando las frecuencias de riego establecidas, se muestran diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), siendo el riego diario el de mayor rendimiento, con $4,8 \text{ kg m}^{-2}$ y 12 frutos por planta, incrementando el rendimiento en 11,25%, lo que demuestra la importancia de la aplicación del riego diario. La frecuencia de riego interdiaria mostró un rendimiento de $4,26 \text{ kg m}^{-2}$ y 10 frutos por planta. Lo que coincide por lo reportado por [47], al hacer mención de que el factor más importante que afecta al crecimiento y rendimiento del pimentón es la cantidad de agua de riego aplicada durante el período de desarrollo.

El rendimiento, número y peso de los frutos del cultivo de pimentón, se muestra en la (Tabla 1). La frecuencia de riego diaria no mostró diferencias estadísticamente significativas. El mayor rendimiento fue $5,03 \text{ kg m}^{-2}$, 12 frutos por planta y el uso eficiente del agua de $12,01 \text{ kg m}^{-3}$, con láminas de 100 % ETc. La frecuencia de riego interdiaria mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), logrando un rendimiento de $4,63 \text{ kg m}^{-2}$, con láminas de 80 % ETc y el uso de eficiente del agua de

12,93 kg m⁻³. El menor rendimiento fue de 3,90 kg m⁻², con láminas de 60 % ETc, disminuyendo 12,61%. Sezen et al. [48] obtuvieron los valores más altos de rendimiento: 3,5298 kg m⁻² y el uso eficiente del agua de riego de 5,7 kg m⁻³, mediante la aplicación de riego de 570,4 mm para toda la temporada, con intervalos de 3 a 6 días.

ETc (%)	Rendimiento (kg m ⁻²)	Número de fruto (planta)	Peso de fruto (gr)
Frecuencia de riego diaria			
100	5,03 a	12 a	169,63 a
80	4,67 a	11 a	168,23 a
60	4,71 a	11 a	164,71 a
CV%	7,92	7,06	2,38
Sign.	ns	ns	ns
Frecuencia de riego interdiaria			
100	4,24 ab	11 a	168,42 a
80	4,63 a	11 a	166,50 a
60	3,90 b	10 a	163,83 a
CV%	5,87	6,55	2,80
Sign.	p≤0.05	ns	ns

Tabla 1. Rendimiento, número y peso de fruto en el cultivo de pimentón con frecuencia de riego (diario y cada dos días) y láminas de riego (100%, 80%, 60% ETc).

Medidas seguidas con la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa entre sí por el Test de Tukey (p≤0.05).

Asimismo, en el tratamiento del déficit de agua aplicado, 367,3 mm redujo el rendimiento a 2,6730 kg m⁻² y el uso eficiente del agua de riego fue de 7,4 kg m⁻³. Dagdelen et al. [49] informaron que los períodos de formación de flores y frutas son de vital importancia para la producción del pimentón, y la falta de riego durante esas etapas presenta una reducción del rendimiento de 30% (2,2620 kg m⁻²) y 28% (2,1870 kg m⁻²) en relación con el riego continuo.

Igualmente Murat et al. [47], con intervalo de riego de 7 días y láminas de riego de 100% ETc, obtuvo un rendimiento de 2,77 kg m⁻², con el uso eficiente del agua de 7,5 kg m⁻³, aparte de que al tratamiento que aplicó 120 % ETc, también empleó láminas de déficit de agua de 50%, lo que tuvo un efecto negativo en el rendimiento y los parámetros de calidad de los frutos. Boicet et al. [50] sugieren la conveniencia de mantener niveles de humedad en el suelo no menor a 85% de la capacidad de campo en áreas plantadas de pimentón, obteniendo resultados productivos promedio de 1.497 kg m⁻² y el uso eficiente del agua de 3,41 a 5,09 kg m⁻³. También menciona que en la fase de maduración y cosecha se puede reducir hasta 12% la evapotranspiración total. En general, se acepta que el déficit de agua reduce el rendimiento en pimentón [48, 51, 52].

En la zona de estudio se efectuó un ensayo de riego deficitario en el cultivo de tomate, lo que mostró una producción de 6.271 kg m⁻² y 5.316 kg m⁻², con láminas de riego aplicadas en 80 % ETc y frecuencia de riego diaria [53]. Es evidente que los resultados con intervalo de riego menos frecuentes afectan a la producción, por lo que no es un riego adecuado como estrategia para el cultivo de pimentón. Por lo tanto, la aplicación de riego con intervalos más frecuentes, proporciona un aumento de la producción y el uso eficiencia de agua para el riego.

El número de frutos no se afectó entre las láminas de riego aplicadas en la misma frecuencia, pero sí entre las frecuencias. Adeoye et al. [54] señalan que el intervalo de riego tiene efecto sobre el número de frutos por planta, obteniendo 11 frutos, registrados en intervalos de 3 días, y 5 frutos en intervalo de 9 días. Dorji et al. [55]

obtuvieron un número promedio de frutos por plantas de entre 6, 11 y 14, lo que está relacionado con la frecuencia y las láminas de agua aplicada. No obstante, Fernandez et al. [56] reportaron que el déficit de agua no afecta el número de frutos. El efecto de déficit de agua es mucho más importante cuando el rendimiento se expresa como peso de fruto fresco. En el cultivo de tomate, Mitchell et al. [57] propuso que un riego moderado puede mejorar significativamente la calidad del fruto, sin disminuir el rendimiento comercial. Orgaz et al. [58] encontraron que el déficit hídrico acelera la maduración de los cultivos indeterminados, como el algodón. El número de frutos de pimentón está estrechamente relacionado con la frecuencia y cantidad de agua aplicada.

El riego deficitario es una estrategia fácilmente aplicable, con respuesta satisfactoria, representando una alternativa de importancia ante la actual escasez de recursos hídricos en algunas regiones, lo que permite un ahorro de agua cercano a 40% sin reducciones significativas del rendimiento. Con frecuencia de riego diaria e interdiaria se puede reducir el consumo de agua hasta en 20% ETc. El cultivo de pimentón responde muy bien a la restricción de aplicación de láminas de agua, siempre y cuando sea constante, ya que un exceso o déficit perjudica a su rendimiento. El uso de tecnología, como el riego localizado en la modalidad de cinta de goteo y riego deficitario, no presenta ningún tipo de restricción en la zona en estudio, lo que evidencia que el riego localizado crea un ambiente adecuado para el desarrollo óptimo del cultivo, que potencia sus características genéticas.

El rendimiento del pimentón está estrechamente relacionado con la frecuencia de riego y la cantidad de agua aplicada. El riego deficitario proporciona una estrategia de aplicación de agua con menor volumen de agua, pero en intervalos cortos, lo que proporciona un ahorro de agua.

La altura de la planta y parámetros morfométricos de fruto del cultivo de pimentón se muestran en la (Tabla 2). La longitud y diámetro del fruto no tuvieron un efecto significativo, lo que se corresponde con [59], cuando determinaron que las variables longitud y diámetro del fruto no mostraron diferencias estadísticamente significativas. Furlan et al. [60] en investigación con pimentón en cultivo protegido, utilizaron las láminas de 60%, 80%, 100% y 120% de la evaporación del tanque clase A y observaron que el factor de las láminas no influyó en el diámetro del fruto, presentando valores promedio que varían entre 6,52 cm y 6,79 cm.

El contenido de materia seca en fruto fue mayor en las láminas de 60% ETc en ambas frecuencias, oscilando entre 7,23 gr y 8,19 gr. Pulupol et al. [61] comentan que el peso del fruto seco del tomate se vio afectado cuando se aplicó riego deficiente durante todo el ciclo del cultivo, y el agua ahorrada por este método de riego no compensó la reducción en los rendimientos cuando se aplicó durante la floración y maduración. El diámetro del tallo no fue influenciado significativamente por las frecuencias de riego y las láminas de riego. Santana et al. [62] evaluaron el efecto de diferentes tensiones de agua en el suelo (10, 30, 50 y 60 kPa) en pimentón y descubrieron que el diámetro del tallo de las plantas era mayor cuando el riego se realizaba con menos tensión de agua en el suelo y que estuvo significativamente influenciado por el estrés hídrico del suelo. La altura de la planta mostró interacción entre las frecuencias de riego ($p \leq 0.05$). Las plantas que mostraron mayor crecimiento fue en la frecuencia de riego diaria, con láminas de 60% ETc, seguida de la frecuencia cada dos días y láminas de 80% ETc, al considerar que el déficit de agua estimula el crecimiento de la planta. Adeoye et al. [54] concluyó que el intervalo de riego de tres días mostró mayor crecimiento en las plantas que el riego diario, obteniendo diferencia entre los parámetros de crecimiento (diámetro del tallo, altura de la planta y área foliar). Estas observaciones están conformes con [63-65].

Enríquez et al. [59] obtuvieron mejor respuesta a la altura de la planta mediante la aplicación de láminas de riego de 75% de la evaporación (EV), que alcanzó una altura máxima de 105 cm, y asimismo mencionaron que el tratamiento que aplicó el 100% EV, alcanzó 93 cm y el tratamiento de 50% EV alcanzó 96 cm. Lima et al. [66], al trabajar con pimentón, con láminas de riego (0,80 y 1,20 ETc), dos frecuencias (1 día y 2 días) y dos dosis de rastrojo de maíz (0 y 1000 kg/ha), concluyeron que el tratamiento con 80% de ETc, con cubierta y frecuencia de dos días, produjo plantas de mayor altura. Tales resultados son particularmente relevantes para áreas sujetas a déficit hídrico.

ETc (%)	Parámetros de fruto			Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	de
	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Masa seca (g)			
Frecuencia de riego diaria						
100	81	78	7,23	72,44 ^{ab}	17,24	
80	80	77	7,49	74,75 ^{ab}	18,35	
60	82	78	8,14	91,56 ^{aA}	17,56	
CV	4,46	2,07	7,65	Interacción	6,35	
Sig.	Ns	ns	ns	p≤0,05	Ns	
Frecuencia de riego interdiaria						
100	80	77	7,99 a	74,66 ^{ab}	17,11	
80	81	75	7,49 b	90,78 ^{aA}	18,41	
60	78	77	8,19 a	78,38 ^{bAB}	17,15	
CV	1,90	3,05	1,52	12,46	6,52	
Sig.	Ns	ns	p≤0,05	p≤0,05	ns	

Tabla 2. Altura de la planta y parámetros morfométricos del fruto del cultivo de pimentón, con frecuencia de riego diaria e interdiaria y láminas de riego de (60%, 80% y 100% ETc). Medias seguidas con la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa entre sí por el Test de Tukey ($p \leq 0.05$). ns: no significativo; CV: coeficiente de variación (%).

Según estos resultados, la frecuencia y las láminas de riego aplicadas tienen efectos sobre los parámetros de crecimiento. La frecuencia de riego diaria con láminas de 60% ETc y frecuencia de riego interdiaria con láminas de 80% ETc, puede considerarse como una estrategia eficaz para el manejo del agua en pimentón.

6.2. Experiencia II. Riego deficitario controlado. Caso de estudio Río Grande del Sur, Brasil

La investigación se realizó durante la primavera-verano en los periodos entre 2013-2014 y 2014-2015, en el área experimental del Colegio Politécnico de la Universidad Federal de Santa María, ubicada en las coordenadas geográficas latitud 29°41'25"S, longitud 53°48'42"O y altitud de 110 m, Santa María, Rio Grande do Sul, Brasil. El clima en la región es húmedo subtropical (Cfa). Según el Instituto Meteorológico Nacional (Inmet), el promedio anual de evaporación, temperatura y precipitación es de 800-1.200 mm, 18°-20°C y 1.450-1.650 mm, respectivamente. El suelo predominante en la región es Argissolos Amarelos Distrófico Típico, con textura franca [67].

Esta investigación se basó en estrategia de riego deficitario controlado, cultivado bajo malla sombra y en campo abierto, aplicando láminas de riego (0%, 25%, 50%, 75% y 100% ETc) y frecuencias de riego diario, obteniendo los siguientes resultados: la relación entre el rendimiento y láminas de riego bajo malla sombra y en campo, se muestra en la (Figura 1). El rendimiento en campo aumentó con 50% y 75% ETc. En la temporada 2013-2014, los valores oscilaron entre 13,8 t ha⁻¹ en 0% y 37,1 t ha⁻¹ en 75%. El tratamiento 0% mostró reducción en el rendimiento de 54,7% y el tratamiento

100% se redujo en 19,9% en relación con el rendimiento máximo, que fue de 75% ETc.

Kara y Yıldırım [68] informaron resultados similares en *Capsicum annuum* L. cv. Carliston con diferentes niveles de riego (0,2; 0,5; 0,8; 1,0 y 1,2 ETc); los rendimientos fueron 18,78; 20,60; 21,57; 18,90 y 15,16 Mg ha⁻¹, respectivamente, con rendimiento máximo de 0,8 ETc. Padrón et al. [69] evaluaron la frecuencia de riego y láminas de riego, encontrando que el riego diario presentó mejor rendimiento del cultivo en comparación con el riego interdiario. Los rendimientos de los cultivos fueron similares con riegos diarios a 60%, 80% y 100% ETc. Además, Sezen et al. [70] informaron de los valores de rendimiento más altos con riego completo (44,2-47,8 t ha⁻¹) y riego deficitario de 50% y 75% (34,9-36,0 t ha⁻¹ y 40,8 a 47,2 t ha⁻¹, respectivamente). Estos resultados muestran que el cultivo de pimentón se vio afectado por el riego deficitario, así como por el exceso de agua causado por las altas precipitaciones. El cultivo de pimentón irrigado con mayor frecuencia tiende a ser más eficiente en el uso del agua, sin afectar el rendimiento, en comparación con el cultivo irrigado con menos frecuencia. Asimismo, Yıldırım et al. [71] al estudiar el efecto de diferentes tratamientos de riego (0,0; 0,2; 0,5; 0,8; 1,0, y 1,2 de ETc) en pimentón para determinar el estrés con un intervalo fijo de 7 días durante toda la temporada de sequía, reportaron rendimientos de 3,25, 8,64, 16,93, 20,08, 27,67 y 24,61 t ha⁻¹, respectivamente. Mencionaron que el factor más importante que afecta el crecimiento y rendimiento en los cultivos de pimentón es la cantidad de agua de riego aplicada durante todo el período de desarrollo.

El rendimiento máximo bajo malla sombra se obtuvo en el tratamiento de 50% ETc. El rendimiento varió de 11,0 t ha⁻¹ en 0% ETc a 22,2 t ha⁻¹ en 50% ETc. El tratamiento 0% presentó reducción de 50,3% en el rendimiento y reducción de 13,4% en 100% ETc. Díaz-Pérez [72] estudiando el efecto de los niveles de sombra de 0,30%, 47%, 63% y 80% en *Capsicum annuum* cv. Heritage, informó que el rendimiento aumentó a medida que se incrementó el nivel de sombra hasta 35% y luego disminuyó al aumentar los niveles de sombra. [40] informaron sobre un rendimiento en pimentón dulce *C. annuum* cv. Selika entre 5,93 y 9,26 kg m⁻² en 30% de sombra. Ilahy et al. [73] reportan que el rendimiento en (*C. annuum* cv 'Beldi'), cultivado a 0,50% y 100% de sombra, varió entre 0,9 kg/planta y 1,15 kg/planta, respectivamente. Además, [74] informaron que el rendimiento comercial del cv 'Herminio' de pimentón dulce varió de 2,55 kg/planta en condiciones sin sombra, en comparación con 2,53 kg/planta en condiciones de sombra.

Los tratamientos en campo abierto mostraron rendimientos acumulativos más altos. La tendencia se observó durante todo el período de cosecha, lo que probablemente se deba al aumento de la radiación y mayor actividad fotosintética. López-Marin et al. [74] reportaron rendimientos más altos con 40% de sombra. Esto se atribuyó a la reducción de la incidencia de radiación. Asimismo, se observó que el cultivo se vio afectado negativamente por las altas temperaturas con sombreado, que disminuyó la temperatura promedio diaria en 2,5°C al mediodía y 0,6°C en la mañana, creando un microclima favorable para el desarrollo del cultivo.

Díaz-Pérez [75] Informó que los niveles moderados de sombra (30% y 47%) fueron los más favorables para el crecimiento y función de las plantas de pimentón. Así mismo, [40] informaron que 30% de sombra negra de malla reduce la radiación solar, la velocidad del viento, las necesidades de agua y aumenta de uso eficiencia de agua en el pimentón.

En campo abierto se observó quemadura solar en el fruto, con mayor intensidad de 55 a 85 días después del trasplante, cuando el cultivo había reducido el área foliar, con

pérdidas de rendimiento de 1,4%, 2,2%, 2,3%, 3,3% y 1,7% en tratamientos de riego 0%, 25%, 50%, 75% y 100%, respectivamente. Bajo malla sombra, el fruto no mostró quemaduras solares. Ilahy et al. Por otro lado, [73] informaron pérdidas de rendimiento debido a la quema de sol, que van de 0,69 kg/planta en campo abierto a 0,18 kg/planta en condiciones de sombra.

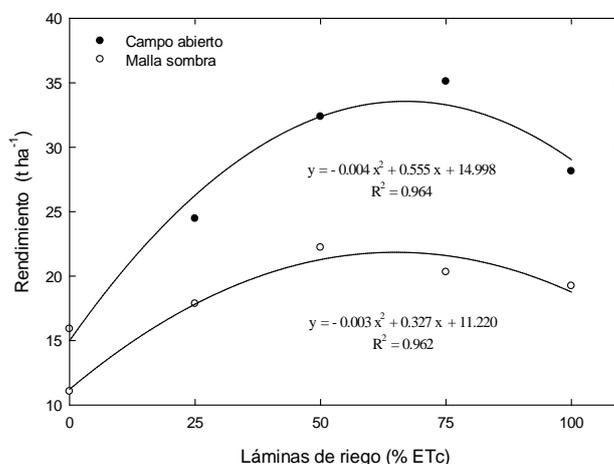


Figura 1. Rendimiento y láminas de riego en el cultivo en pimentón, cultivado bajo malla sombra y en campo abierto.

El uso eficiente de agua disminuyó al aumentar las láminas de riego (Figura 2). El uso eficiente de agua y el uso eficiente de agua de riego fueron más altos en campo abierto que bajo malla sombra. Las parcelas sin riego mostraron reducción del uso eficiente del agua (3 kg m^{-3} en campo abierto y $2,1 \text{ kg m}^{-3}$ bajo malla sombra). Los valores de eficiencia del uso de agua en campo abierto oscilaron entre $18,5 \text{ kg m}^{-3}$ en 25% ETc y $5,3 \text{ kg m}^{-3}$ en 100% ETc, y bajo malla sombra entre $13,5 \text{ kg m}^{-3}$ en 25% ETc y $3,6 \text{ kg m}^{-3}$ en 100% ETc. Los valores de eficiencia del uso de agua de riego en campo abierto variaron entre $29,4 \text{ kg m}^{-3}$ en 25% ETc y $8,5 \text{ kg m}^{-3}$ en 100% ETc, y bajo malla sombra entre $21,6 \text{ kg m}^{-3}$ en 25% ETc y $5,8 \text{ kg m}^{-3}$ en 100% ETc. Los valores de uso eficiente del agua y el uso eficiente del agua de riego de este estudio fueron similares a los reportados previamente por [76], que mediante riego por goteo determinaron valores de eficiencia del uso de agua entre $7,76 \text{ kg m}^{-3}$ y $10,71 \text{ kg m}^{-3}$ en pimentón. Sezen et al. [70] reportan eficiencia del uso de agua de $6,9 \text{ kg m}^{-3}$ y eficiencia del uso de agua de riego de $5,7 \text{ kg m}^{-3}$, aplicando agua de riego de 570,4 mm para toda la temporada de crecimiento a intervalos de 3 a 6 días. Guang-Cheng et al. [77] determinaron en el pimentón picante que el valor de la eficiencia del uso de agua y la eficiencia del uso de agua de riego en los invernaderos oscila entre $6,7$ y $10,4 \text{ kg m}^{-3}$ y de $6,3$ a $10,6 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente. Demirel et al. [78] determinaron que los valores de eficiencia del uso de agua y eficiencia del uso de agua de riego en pimentón cultivado en la región de Tracia, en Turquía, varían de $2,4$ a $7,0 \text{ kg m}^{-3}$ y de $0,3$ a $9,1 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente. Kara y Yıldırım [68] informaron eficiencia del uso de agua en *C. annuum* L. cv. Carliston con niveles de riego de 0,2%, 0,5%, 0,8%, 1,0% y 1,2% de ETc, entre $6,0$, $4,1$, $3,6$, $2,7$ y $2,1 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente. Además, [71] informaron resultados de eficiencia del uso de agua y eficiencia del uso de agua de riego en pimentón con tratamientos de riego (0,0, 0,2, 0,5, 0,8, 1,0, 1,2 de ETc) de $1,6$, $3,3$, $5,3$, $5,5$, $6,9$ y $5,7 \text{ kg m}^{-3}$ y de $2,0$, $3,8$, $6,0$, $6,1$, $7,5$ y $6,2$, respectivamente. Los picos se obtuvieron del tratamiento con 1,0 ETc.

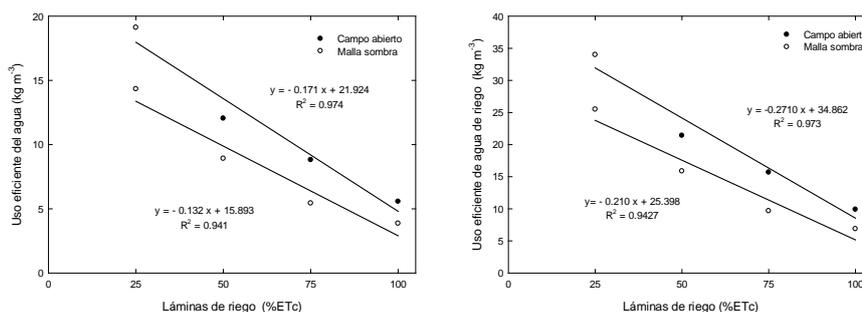


Figura 2. Uso eficiente del agua en función de láminas de riego en el cultivo de pimentón bajo malla sombra y en campo abierto.

La calidad del fruto en el cultivo de pimentón bajo malla sombra y en campo abierto se muestran en la (Tabla 3). En campo abierto presentaron diferencias estadísticas en la calidad del fruto, número de fruto por planta, diámetro del fruto, peso del fruto y en malla sombra la cantidad de fruto por planta, peso y materia seca del fruto. La variable que mostró el efecto de interacción entre la malla sombra y en campo abierto fue el peso del fruto. La calidad del fruto en campo abierto y en malla sombra se vio afectada significativamente, mostrando el menor diámetro, longitud y peso del fruto y el menor número de fruto por planta. Los niveles de riego de 50% y 75% ETc obtuvieron la mejor calidad de fruto. Sin embargo, el peso máximo del fruto y menor contenido de materia seca del fruto se presentaron mediante el tratamiento 100% ETc, en malla sombra. En resumen, el fruto de más alta calidad (mayor peso y menor materia seca e incidencia de quemaduras solares) se obtuvo a la sombra. Sezen et al. [70] informaron incremento en el rendimiento, aumentando el número de fruto. Se necesita suministro uniforme de agua en el suelo durante la temporada de crecimiento para prevenir el tamaño y forma del fruto y mejorar el rendimiento.

Trat. (%ETC)	Fruto por planta	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Peso (gr)	Materia seca (%)
Campo abierto					
0	6 ^b	13.4	5.6 ^b	126.50 ^{bC}	5.3
25	7 ^{ab}	14.8	6.6 ^a	134.00 ^{bBC}	5.3
50	9 ^a	14.3	6.1 ^{ab}	142.10 ^{bAB}	5.3
75	9 ^a	14.9	5.9 ^{ab}	153.20 ^{bA}	5.2
100	8 ^{ab}	15.0	5.5 ^b	144.70 ^{bAB}	5.0
Sig.	*	ns	*	*	ns
Malla sombra					
0	5 ^b	16.9	6.0	154.20 ^{aC}	5.1 ^a
25	7 ^{ab}	16.5	6.5	176.60 ^{aB}	5.0 ^{ab}
50	8 ^a	18.0	6.7	179.50 ^{aB}	5.2 ^a
75	8 ^a	16.4	6.2	188.6 ^{aAB}	4.9 ^{ab}
100	7 ^{ab}	17.8	6.3	198.90 ^{aA}	4.6 ^b
Sig.	*	ns	ns	**	*

Tabla 3. Calidad de fruto del pimentón bajo malla sombra y campo abierto
 Trat: tratamientos, las letras indican diferencias significativas en * P ≤0.05 y ** P≤0,01. Sig.: no significativa.

Rylski y Spigelman [33] informaron cambios en el desarrollo de la planta debido al efecto de la sombra. Según los autores, la sombra afectó el número de fruto por planta, la ubicación del fruto en la planta, el desarrollo y rendimiento. De igual manera, el número más bajo de fruto por planta se obtuvo con sombra de 47% a densidad de 5

plantas m⁻², con sombra de 47% y 26%, a densidad de 6,7 plantas m⁻². En sombra, las frutas individuales eran más grandes y tenían pericarpio más grueso. La sombra redujo el daño del fruto por el sol en 36%, a plena luz del sol a 3% y 4%, bajo sombra 26% y 47%. El mayor rendimiento de alta calidad se obtuvo con 12% y 26% de sombra. Por otro lado, [79] refieren que la sombra en las plantas de pimentón afectó tanto al rendimiento como a la calidad del fruto. El rendimiento total y comercial aumentó con el nivel de sombra de 40% y luego disminuyó (con sombra de 50%). La sombra de pimentón (40%) puede ser una opción para reducir las condiciones de estrés por calor y extender la temporada primavera-verano hacia septiembre, concluyendo que la malla sombra fotoselectiva y dispersiva de luz proporcionan nueva herramienta para la protección de cultivos. Cambiar la intensidad de la luz y el espectro de radiación tiene un gran impacto en el sistema de producción total.

La máxima eficiencia técnica de producción en campo abierto fue de 34,2 t ha⁻¹ con 69,4% de ETc, y bajo malla sombra fue de 20,1 t ha⁻¹ con 54,5% de ETc. La diferencia de eficiencia máxima de producción fue de 14 t ha⁻¹ y una reducción de 14% de ETc. El pimentón bajo 50% de sombra podría ahorrar de 14% a 25% del agua de riego. Asimismo, la quemadura solar en fruto mejora al aumentar el número de plantas por metro cuadrado. El rendimiento del pimentón en campo abierto fue significativamente mayor, con 75% de ETc, siendo más alto con 50% ETc bajo sombra. El punto de máxima eficiencia de producción fue de 69,4% de ETc en campo abierto y 54,5% de ETc bajo sombra. Por lo tanto, con menos de 50% de sombras, puede haber hasta 25% de ahorro de agua. El riego con mayor frecuencia tiende a aumentar el uso eficiente de agua de riego. Se pueden recomendar láminas de riego por goteo entre 50% y 75% ETc.

7. Discusión

En los últimos años, el número de productores que abandonaron la agricultura intensiva tradicional en favor de nuevas formas de agricultura y productos con mayor valor agregado está creciendo sustancialmente. Los cultivos protegidos han sido fundamentales en este desarrollo. Además, el uso eficiente de agua de riego es la clave para la sostenibilidad y la rentabilidad del cultivo. El manejo adecuado y la calidad del agua de riego son de importancia fundamental para obtener alta productividad, calidad, reducción de costos y uso racional del agua.

El cultivo del pimentón mostró un mayor rendimiento cultivado en campo abierto en comparación con el de 50% de sombra. En comparación con las variables evaluadas, 50% del sombreado resultó en valores más bajos de tasa de crecimiento del diámetro del tallo, el índice de clorofila y número de frutos por planta. Por otro lado, resultó en valores más altos la tasa de crecimiento de la altura de la planta y el índice del área foliar, así como la cantidad de hojas por planta y materia seca total en las plantas, pero mostraron frutos con mayor longitud y diámetro en comparación con los obtenidos en campos abiertos. El sombreado de 50% estimuló el crecimiento de la planta, pero con un diámetro de tallo más pequeño, en respuesta natural a la disminución de la luz solar.

Con respecto al rendimiento (número de frutas/ha), fue menor, ya que la planta gastó más energía en el crecimiento y la formación del área foliar que en la producción de fruta. De igual manera, las frutas se contaban en menor cantidad, pero de mayor calidad, observándose que la maduración de las frutas en estas condiciones era más lenta y los frutos tenían paredes más gruesas. Debido a los resultados de la clorofila-*a* y la clorofila-*b*, hay una reducción en las condiciones de sombra, con tasa menor de fotosíntesis líquida que las plantas en campo abierto. Además, la fotosíntesis está vinculada con la respiración, un hecho de que las plantas en sombra muestran una

tasa de respiración baja, lo que las hace de un menor costo operativo, disminuyendo el consumo de agua de riego.

Por otro lado, el contenido de clorofila en las hojas es indicador del nivel de estrés y estado nutricional de la planta en la agricultura de precisión. También se observa que el sistema de hojas a la sombra tenía hojas más grandes y delgadas, en comparación con las hojas en campo abierto. El suelo, bajo sombra, resultó en mayor retención de humedad, interfiriendo en algunos procesos fisiológicos de la planta, atenuando los cambios de temperatura y el crecimiento del tejido vegetal.

El cultivo del pimentón en campo abierto resultó en parámetros morfológicos con valores más bajos de tasa de crecimiento de la planta; índice de área foliar; cantidad de hojas por planta; materia seca total en plantas, y la longitud y diámetro del fruto. Asimismo, resultó en valores más altos de diámetro del tallo e índice de clorofila. En cuanto a los parámetros del fruto, dieron como resultado un mayor número de frutos por planta, con frutos de menor longitud y diámetro en comparación con los obtenidos en sombra.

En todos los tratamientos en campo abierto, la fruta maduró más rápido que el tratamiento de sombreado. En los tratamientos en campo abierto la maduración de la fruta fue más temprana en las profundidades más pequeñas de agua de riego aplicada, por lo que se puede inferir que el déficit de agua acelera la maduración de las frutas de pimentón en el campo abierto. Las láminas de máxima eficiencia técnica del rendimiento cultivado en campo abierto y con 50% de sombra, fueron de 69,4% y 54,5% ETc, respectivamente. El rendimiento en campo abierto y con 50% de sombra fue significativamente mayor, con 75% y 50% ETc, respectivamente. Con 50% de sombra se produjo ahorro de aproximadamente 25% en el agua de riego. El uso eficiente del agua de riego disminuyó con el aumento de las láminas de riego, obteniéndose en campo abierto y sombra 30 kg m⁻³ y 20 kg m⁻³, respectivamente.

La malla sombra es una alternativa para la producción hortícola, minimizando los efectos de la variabilidad ambiental en veranos con altas temperaturas, mitigando los niveles de radiación solar y asegurando mayor control de los factores externos, como lluvia, viento, granizo y heladas. En algunos casos, según el porcentaje de sombreado y del color de la malla, puede mejorar el desarrollo de los cultivos, permitiendo la producción agrícola durante todo el año, con productos de mayor calidad y mejor precio en el mercado, permitiendo el uso racional del agua de riego, aprovechando la estructura para el tutorado, y como consecuencia un ahorro de tiempo y dinero, lo que permitió un mayor retorno financiero.

Además de la combinación de cultivos bajo malla sombra y campos abiertos en los meses fríos y durante el verano, será posible tener dos cultivos agrícolas por año. Sin embargo, el uso de malla sobra puede presentar el inconveniente de reducir el flujo de luz a niveles inadecuados, promoviendo la prolongación del ciclo, incrementando la altura de la planta y la reducción del rendimiento.

8. Conclusión

La determinación de láminas de riego óptimas proporciona características vegetativas y rendimientos económicamente rentables. El manejo del riego diario aumentó el uso eficiencia de agua. En tratamientos sin sombra, los valores más altos dieron como resultado tasa de crecimiento del diámetro del tallo; índice de clorofila y número de frutos por planta y con sombra. Valores más altos en tasa de crecimiento de la altura de la planta; índice de área foliar; cantidad de hojas por planta; materia seca total de la planta y masa seca en fruto. El déficit y el exceso de agua afectan a la fenología, al

rendimiento, el crecimiento de la planta y al desarrollo del área foliar. En la región, a pesar de las frecuentes e intensas lluvias, la inversión en el sistema de riego está justificada para obtener rendimiento económicamente rentable en el cultivo de pimentón.

9. Referencias

- [1] Echer M.M., Fernandes M.C.A., Ribeiro R.L.D., Peracchi AL. Evaluation of *Capsicum* genotypes for resistance to the broad mite. Horticultura Brasileira 2002; 20:217-221. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000200020>.
- [2] Filgueira F.A.R. Solanáceas: agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló. Lavras, MG: UFLA, P. 2003. 333 p.
- [3] Rodríguez, P.R.A., Rázuri, R.L., Swarowsky, A., Rosales, D.J. Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón. Interciencia 2014; 39:591-596.
- [4] Mukherji A. y Facon T. Revitalizing Asia's irrigation: to sustainable meet tomorrow's food needs. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2009. 38 p.
- [5] Melgarejo M.J. y López O.M.I. Las identidades española y argentina: Agricultura, Agua y Energía. Estudios Rurales 2012; 1:1-39.
- [6] Albuquerque, F. D. S.; Silva, E. F. F.; Filho J. A. C. A.; Lima G. S. Necessidade hídrica e coeficiente de cultivo do pimentão fertirrigado. Irriga 2012; 17:481-493. <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v17n4p481>.
- [7] Casali V.W.D., Stringheta P.C. Melhoramento do pimentão e pimenta para fins industriais. Informe Agropecuário 1984; 10:23-25.
- [8] Souza V.F., Marouelli W.A., Coelho E.F., Pinto J.M., Coelho F.M.A. Irrigação e fertirrigação em fruteira e hortaliças. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (Informação Tecnológica) 2011. 721-736 p.
- [9] Reifschneider, F. J. B. *Capsicum*: pimentas e pimentões no Brasil. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Embrapa Hortaliças 2000.
- [10] Filgueira, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 412 p.
- [11] Camargo, L. D. S. As hortaliças e seu cultivo. 3 ed. Campinas: Fundação Cargill. 1992. 252 p.
- [12] Tivelli, S. W. A cultura de pimentão. In: GOTO, R.; Tivelli, S. W. (Orgs.). Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais. São Paulo: UNESP 1998; 225-226 p.
- [13] Fontes, P. C. R. Olericultura: teoria e prática. Viçosa, MG: Editora Universidade Federal de Viçosa 2005; 486 p.

- [14] Zatarim, M., Cardoso, A.I.I., Furtado E.L. Efeito de tipos de leite sobre oídio em abóbora plantadas a campo. *Horticultura Brasileira* 2005; 23:198-201. <https://www.scielo.br/pdf/hb/v23n2/25052.pdf>
- [15] Amorim L., Rezende J.A.M., Bergamin Filho A. *Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos*. 4. ed. Volume 1 Piracicaba, SP: Ceres, 2011. 704 p.
- [16] Reis, J. B. S. Análise da sensibilidade de duas cultivares de pimentão a diferentes condições de regime hídrico. 92 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2002.
- [17] Finger F.L. y Silva D.J.H. Cultura do pimentão e pimentas. In: FONTES, P. C. R. (Ed.). *Olericultura: teoria e prática*. Viçosa, MG: UFV 2005. 429-437 p.
- [18] Chitarra M.I.F. Fisiologia e qualidade de produtos vegetais. In: BORÉM F.M. (Ed.). *Armazenamento e processamento de produtos agrícolas*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27. Anais... Poços de Caldas: SBEA 1998, 1-58 p.
- [19] Rocha M.C., Carmo M., Polidoro J.C., Silva D., Fernandes M.D.C.A. Características de frutos de pimentão pulverizados com produtos de ação bactericida. *Horticultura Brasileira* 2006; 24:185-189.
- [20] Miranda J. D.; Casali V. Métodos de melhoramento aplicados às espécies autógamas. In: Simpósio Brasileiro sobre *Capsicum*. 1. Anais...Dourados 1988; 15-30 p.
- [21] Cermeño Z. S. *Estufas-instalações e manejo*. Lisboa. Litexa Editora, Ltda. 1990; 355 p.
- [22] Marouelli W.A. y Silva W.L.C. *Irrigação na cultura do pimentão*. Brasília: Embrapa Hortaliças, (Circular Técnica 101). 2012. 20 p.
- [23] Albuquerque F.S., Silva Ê.F.F., Albuquerque Filho J.A.C., Nunes M. F.F.N. Crescimento e rendimento de pimentão fertigado sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2011; 15:686-694. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000700006>.
- [24] Cunha A.R., Escobedo J.F., Klosowski E.S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2002; 37:735-743. <https://www.scielo.br/pdf/pab/v37n6/10549.pdf>.
- [25] Magalhães C.D. y Castro P.T. Determinação do Coeficiente de cultura (Kc) do pimentão (*Capsicum annuum*) através do balanço hídrico. *Revista Ciência Agronômica* 1983; 14:107-113. <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/681>.
- [26] Doorenbos J. y Kassam A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Trad. de H. R. Gheyi, A. A. De Sousa, F. A. V. Damasceno E J. F. De Medeiros. Campina Grande: UFPB, (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 33) 1994. 306 p.
- [27] Santos E.S., Silva E.F.R., Silva A.O. Determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) e de cultura (ET_c) do pimentão no semi-árido pernambucano. IX Jornada de ensino, Pesquisa e Extensão (JEPEX), 2009.

- [28] Padrón R.A.R., Nogueira H.M.C.M., Cerquera R.R., Albino G.D., Nogueira C.U. Characterization physical-hydric of the yellow argisol soil for establishment of project and irrigation management. *Acta Iguazu* 2015. 4:36-47. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11754>.
- [29] FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Conferencia de Alto Nivel sobre la Seguridad Alimentaria Mundial: los Desafíos del Cambio Climático y la Bioenergía. El cambio climático, el agua y la seguridad alimentaria. 2008.
- [30] Christofidis D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. *Irrigação e Tecnologia Moderna* 2002; 54:46-55.
- [31] Carvalho J.A., Rezende F.C., Aquino R.F., Freitas W.A., Oliveira E.C. Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2011; 15:569-574. <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n6/v15n06a05.pdf>.
- [32] Bezerra Neto F., Rocha R.H.C., Rocha R.C.C., Negreiros M.Z., Leitão M.M.V.B.R., Nunes G.H.S., Espínola Sobrinho J., Queiroga R.C.L.F. Sombreamento para produção de mudas de alface em alta temperatura e ampla luminosidade. *Horticultura Brasileira* 2005; 23:133-137. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362005000100028>.
- [33] Rylski I. y Spigelman M. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Scientia Horticulturae* 1986; 29:31-35.
- [34] Gruda, N. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Critical Reviews in Plant Sciences* 2005; 24:227-247. <https://doi.org/10.1080/07352680591008628>.
- [35] Setubal W.J. y Silva A.R. Avaliação do comportamento de alface de verão em condições de calor no município de Teresina–PI. *Horticultura Brasileira* 1992; 10:17.
- [36] Goto R. y Tivelli S.W. Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais. Sao Paulo: UNESP, cap. 01, 1998; 319 p.
- [37] Pezzopane J.E.M., Oliveira P.C., Reis E.F., Lima J.S.S. Microclimatological alterations caused by plastic screen uses. *Eng. Agríc* 2004; 24:9-15.
- [38] Espinoza W. Manual de produção de tomate industrial no Vale do São Francisco. Brasília: IICA/CODEVASF 1991; 301 p.
- [39] Olle M, y Bender I. Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: A review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 2009; 84:577-584. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512568>.
- [40] Silva V.F. Cultivares de alface em diferentes espaçamentos sob temperatura e luminosidade elevadas. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal Rural do Semi- Árido/ESAM. Mossoró-RN. 1999; 25 p.
- [41] Queiroga R.C.F., Bezerra Neto F., Negreiros M.Z., Oliveira A.P., Azevedo C.M.S.B. Produção de alface em função de cultivares e tipos de tela de sombreamento nas condições de Mossoró. *Horticultura Brasileira* 2001; 19:192-196. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362001000300006>.

- [42] Maciel S.P.A., Zanella F., Lima A.L.S. Efeito do sombreamento sobre a produção de alface em hidroponia. *Ciência & Consciência* 2007; 2. <https://www.scielo.br/pdf/cagro/v32n2/03.pdf>.
- [43] Whatley J.M., Whatley F.R. *A luz e a vida das plantas: temas de biologia*. São Paulo: Universidade de São Paulo 1982; 101 p.
- [44] Kendrick R.E., Frankland B. *Fitocromo e crescimento vegetal*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1981; 76 p.
- [45] Ochoa G., Malagón D. *Atlas de microscopia electrónica en suelos de Venezuela*. CIDIAT – ULA Mérida, 1979; 40 p.
- [46] Murat Y., Kursad D., Erdem B. Effect of restricted water supply and stress development on growth of bell pepper (*Capsicum Annuum* L.) under drought conditions. *Journal of Agro Crop Science* 2012; 3:1-9.
- [47] Sezen S.M., Yazar A., Eker S. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agricultural Water Management* 2006; 81:115-131.
- [48] Dagdelen N., Yilmaz E., Sezgin F., Gurbuz T. Effects of water stress at different growth stages on processing pepper (*Capsicum annuum* Cv. Kapija) yield, water use and quality characteristics. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2004; 7:2167-2172. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2004.2167.2172>.
- [49] Boicet T., Verdecia J., Pujol P., Alarcón A., Boudet A. Respuesta de producción del cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* L.) al riego deficitario en un período fuera de la época. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 2001; 10:75-78.
- [50] Smittle D.A., Dickens W.L., Stansell J.R. Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 1994; 119:936-939.
- [51] Dalla C.L., Gianquinto G. Water stress and water table depth influence yield, water use efficiency, and nitrogen recovery in bell pepper, lysimeter studies. *Australian Journal Agricultural Research* 2002; 53:201-210. <https://doi.org/10.1071/AR00133>.
- [52] Rázuri R.L., Romero G., Romero C.E., Hernández J.D., Rosales J.G. Efecto del riego deficitario controlado en la producción del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo riego localizado. *Agricultura Andina* 2008; 14:31-48.
- [53] Adeoye P.A., Adesiji R.A., Oloruntade A.J., Njemanze C.F. Effect of irrigation intervals on growth and yield of bell pepper (*Capsicum annuum*) in a tropical semi-arid region. *American Journal of Experimental Agriculture* 2014; 4:515-524. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2014/7788>.
- [54] Dorji K., Behboudian M.H., Zegbe D.J.A. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Scientia Horticulturae* 2005; 104:137-149. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.015>.
- [55] Fernandez M.D., Gallardo M., Bonachela S., Orgaz F., Thompson R.B., Fereres E. Water use and production of a greenhouse pepper crop under optimum and limited water supply. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 2005; 80:87-96. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11511897>.

- [56] Mitchell J.P., Shennan C., Grattan S.R., May D.M. Tomato yields and quality under water deficit and salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 1991; 116:215-221. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.2.215>.
- [57] Orgaz F., Mateos L., Fereres E. Season length- and cultivar determine the optimum evapotranspiration deficit in cotton. *Agronomy Journal* 1992; 84:700-706. <https://doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400040031x>.
- [58] Enríquez A.G., Palacios H.R., Cabrera F.A.V. Influencia en aplicación de diferentes láminas de riego sobre el desarrollo vegetativo y producción de *Capsicum* L. Variedad Unapal Serrano. XIX SIMPÓSIO DE RECURSOS BRASILEIROS, Anais, 2011.
- [59] Furlan R.A., Rezende F.C., Alves D.R.B., Folegatti M.V. Lâmina de irrigação e aplicação de CO₂ na produção de pimentão cv. Mayata, em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira* 2002; 20:547-550. <https://www.scielo.br/pdf/hb/v20n4/14490.pdf>.
- [60] Pulupol L.U., Behboudian M.H., Fisher K.J. Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. *Hort Science* 1996; 31:926-929. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.31.6.926>.
- [61] Santana M.J., Carvalho J.A., Faquin V., Queiroz T.M. Produção do pimentão (*Capsicum annuum* L.) irrigado sob diferentes tensões de água no solo e doses de cálcio. *Ciência e Agrotecnologia* 2004; 28:1385-1391. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000600022>.
- [62] Gadissa T., Chemedda D. Effects of drip irrigation levels and planting methods on yield and yield components of green pepper in Bako, Ethiopia. *Agricultural Water Management* 2009; 96:1673-1678. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.07.004>.
- [63] Akinbile C.O., Yussouf M.S. Growth and water use pattern of chilli pepper under different irrigation scheduling and management. *Asian Journal of Agricultural Research* 2011; 5:154-163. <https://doi.org/10.3923/ajar.2011.154.163>.
- [64] Halim, A.E. Impact of alternate furrow irrigation with different irrigation intervals on yield, water use efficiency and economic return of corn. *Chilean Journal of Agricultural Research* 2013; 73:175-180. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000200014>.
- [65] Lima P.A., Montenegro A.A.A., Lira Júnior M.A., Santos F.X., Pedrosa E.M.R. Efeito do manejo da irrigação com água moderadamente salina na produção de pimentão. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife* 2006; 1:73-80. <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119018241011.pdf>.
- [66] Streck E.V., Kämpf N., Dalmolin R.S.D., Klamt E., Nascimento P.D., Schneider P., Giasson E., Pinto L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul, 2 ed, Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR 2008. 222 p.
- [67] Kara H.O., Yıldırım M. Water and radiation use efficiencies of pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Carliston). *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* 2015; 2(2A):87-93. <https://saspjournals.com/wp-content/uploads/2015/02/SJAVS-22A87-93.pdf>.
- [68] Padrón R.A.R., Ramírez L.R., Swarowsky A., Daboín J.R. Effect of deficit irrigation and different frequencies in the production of bell pepper. *Interciencia* 2014; 39:591-596.

- [69] Sezen S.M., Yazar A., Şengül H., Baytorun N., Daşgan Y., Akyildiz A., Tekin S., Onder D., Ağçam E., Akhoundnejad Y., Gügercin Ö. Comparison of drip-and furrow-irrigated red pepper yield, yield components, quality and net profit generation. *Irrigation and Drainage* 2015; 64:546-556. <https://doi.org/10.1002/ird.1915>.
- [70] Yildirim M., Demirel K., Bahar E. Effect of restricted water supply and stress development on growth of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under drought conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 2012; 3:1-9.
- [71] Díaz-Pérez J.C. Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: fruit yield, quality, and postharvest attributes, and incidence of phytophthora blight (caused by *Phytophthora capsici* Leon.). *HortScience* 2014; 49:891-900. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.7.891>.
- [72] Ilahy R., R'him T., Tlili I., Jebari H. Effect of different shading levels on growth and yield parameters of a Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivar 'Beldi' G rown in Tunisia. *Global Science Books* 2013; 7:32-35.
- [73] López-Marin J., Gálvez A., Conesa A., Martínez-Nicolás J., González A. Comportamiento fisiológico del pimiento en invernadero bajo diferentes condiciones de sombreado. *Actas de Horticultura* 2012; 60:337-342.
- [74] Díaz-Pérez J.C. Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *HortScience* 2013; 48:175-182. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.2.175>.
- [75] Kong Q., Li G., Wang Y., Huo H. Bell pepper response to surface and subsurface drip irrigation under different fertigation levels. *Irrigation Science* 2012; 30:233-245. <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/523797>.
- [76] Guang-Cheng S., Na L., Zhan-Yu Z., Shuang-En Y., Chang-Ren C. Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under Time-Space deficit irrigation. *Scientia Horticulturae* 2010; 126:172-179. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.003>.
- [77] Demirel K., Genç L., Saçan M. Effects of different irrigation levels on pepper (*Capsicum annuum*) yield and quality parameters in semi-arid conditions. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* 2012; 9(2):7-15.
- [78] Milenković L., Ilić Z.S., Durovka M., Kapoulas N., Mirecki N., Fallik E. Yield and pepper quality as affected by light intensity using colour shade nets. *Agric. For.* 2012; 58:19-33.

Autor

Richard Alberto Rodríguez Padrón*

Universidad Tecnológica del Uruguay, Francisco Antonio Maciel s/n, CP 97000, Durazno, Uruguay.

* Autor de correspondencia: richard.rodriquez.p@utec.edu.uy / rarpadron@gmail.com