



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,
A.C.
México

Villalobos-Reyes, Salvador; Castellanos, Javier Z.; Tijerina-Chávez, Leonardo; Crespo-Pichardo, Guillermo

Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre rendimiento y calidad del brócoli con riego por goteo

Terra Latinoamericana, vol. 23, núm. 3, julio-septiembre, 2005, pp. 321-328

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311101003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

EFFECTO DE LA TENSION DE HUMEDAD EN EL SUELO SOBRE RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL BRÓCOLI CON RIEGO POR GOTEO

Effect of Soil Water Tension on Yield and Quality of Broccoli under Drip Irrigation

Salvador Villalobos-Reyes¹, Javier Z. Castellanos^{1‡}, Leonardo Tijerina-Chávez² y Guillermo Crespo-Pichardo²

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue definir las tensiones de humedad del suelo para maximizar el rendimiento y la calidad del florete en brócoli, cultivar Patriot. El experimento se estableció en un Vertisol. La plantación se estableció a doble hilera en surcos separados a 1 m, la distancia entre hileras fue de 25 cm y 30 cm entre plantas, con una densidad de población de 66 000 plantas ha⁻¹. Se evaluaron seis tratamientos en bloques al azar con cuatro repeticiones: 1) acolchado plástico a 28 kPa, 2) seco a 45 kPa, 3) semiseco a 36 kPa, 4) medio a 28 kPa, 5) semihúmedo a 20 kPa, 6) húmedo a 12 kPa de tensión de humedad en el suelo. El cultivo presentó un consumo de agua de 24.5, 27.3, 31.0, 35.8, 40.0 y 45.7 cm de lámina en los tratamientos de acolchado, seco, semiseco, medio, semihúmedo y húmedo, respectivamente. Los mayores valores de grosor de tallo, altura de planta, cobertura de área foliar, número de tallos secundarios y acumulación de biomasa se presentaron en el tratamiento húmedo. El máximo rendimiento comercial se obtuvo en el tratamiento semihúmedo con la aplicación del riego a 20 kPa de tensión. El vigoroso crecimiento vegetativo en el tratamiento húmedo no favoreció el desarrollo del florete y el rendimiento disminuyó con relación al tratamiento semihúmedo.

Palabras clave: consumo de agua, eficiencia uso del agua, tallo hueco.

¹ Unidad de Horticultura Intensiva, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apdo Postal 112, 38010 Celaya, Guanajuato, México

[‡] Autor responsable (casteja100@hotmail.com)

² Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Posgraduados. 56230 Montecillo, Texcoco, estado de México.

Recibido: Junio de 2002. Aceptado: Marzo de 2005.
Publicado en Terra *Latinoamericana* 23: 321-328.

SUMMARY

The objective of this study was to determine the best soil water tension to maximize commercial yield and quality of broccoli, cultivar Patriot. This research was done in a Vertisol. The plants were established in double rows, 1 m wide. Distance between plant lines was 25 cm and between plants 30 cm. There were six treatments in a randomized block design with four replicates: 1) plastic mulch at 28 kPa, 2) dry, at 45 kPa, 3) semi-dry, at 36 kPa, 4) medium, at 28 kPa, 5) semi-moist, at 20 kPa, 6) moist, at 12 kPa moisture tension in the soil. Water consumptions of 24.5, 27.3, 31.0, 35.8, 40.0, and 45.7 cm were measured in the above treatments. The high values of stem thickness, plant height, coverage of leaf area, number of secondary stems, and biomass accumulation occurred in the moist treatment. The maximum commercial yield was obtained with the semi-moist treatment when 20 kPa tension was applied. The vigorous vegetative growth in the moist treatment did not favor floret size or yield, since these parameters were lower than those of the semi-moist treatment.

Index words: water consumption, water use efficiency, hollow stem.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Guanajuato, México la agricultura consume alrededor de 78% de agua del subsuelo y los acuíferos están sufriendo abatimientos del orden de 1.5 a 6 m año⁻¹. Esta situación eleva el costo del bombeo de agua y, sobre todo, reduce su disponibilidad.

El brócoli es un cultivo de creciente importancia y prácticamente toda la producción de 30 000 ha de la región del Bajío que se dedican a su producción, se destina al mercado de exportación. Uno de los problemas que enfrenta el cultivo es su alta demanda de agua para poder conseguir alto potencial de rendimiento.

El tensiómetro ha mostrado ser un instrumento confiable para el control de la humedad en el suelo en los sistemas de riego localizados (Van der Gulik, 1999). Uno de los primeros trabajos para evaluar el efecto de la tensión de humedad del suelo en el cultivo del brócoli fue reportado por Maurer (1976) en Canadá, quien realizó un estudio en macetas en invernadero para probar diferentes grados de abatimiento de la humedad aprovechable en el suelo (12, 40 y 68%), equivalentes a tensiones promedio de 20, 30 y 50 kPa. Este autor encontró que el someter a las plantas de brócoli a 50 kPa durante todo el ciclo, redujo el rendimiento en 37% respecto al óptimo de 20 kPa.

En California, en un suelo areno-limoso, Letey *et al.* (1983) estudiaron la interacción de diferentes dosis de nitrógeno (90, 180 y 270 kg ha⁻¹) con dos tratamientos de riego. El primer tratamiento de riego consistió en regar a 20 kPa de tensión de humedad en el suelo y el segundo tratamiento consistió en aplicar 30% más de agua que la aplicada al primer tratamiento. El mejor rendimiento de 10 t ha⁻¹ se alcanzó en el tratamiento de riego a 20 kPa.

Prácticamente no hay ningún reporte realizado en suelos arcillosos como los Vertisoles de Guanajuato para el cultivo de brócoli.

El objetivo de este trabajo fue definir la tensión de humedad del suelo a lo largo del ciclo para conseguir el máximo rendimiento y mejor calidad de florete de brócoli con el sistema de riego por goteo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en un Vertisol (FAO, 1974) en Celaya, Guanajuato, México (20° 32' N; 100° 49' O) con 42, 34, 24% y 42, 32, 26% de arcilla, limo y arena, en los estratos de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm, respectivamente. El clima es de tipo BS₁ hw (w) (e), seco con lluvias en verano (García, 1980). El 8 de enero de 2000 se trasplantó brócoli, cultivar Patriot, con dos hojas bien definidas en surcos separados a cada metro; sobre cada surco se colocaron dos hileras de plantas separadas a 25 cm y 30 cm entre plantas. Se estudiaron seis tratamientos: 1) acolchado plástico a 28 kPa, 2) seco a 45 kPa, 3) semisecho a 36 kPa, 4) medio a 28 kPa, 5) semihúmedo a 20 kPa, 6) húmedo a 12 kPa de tensión de humedad en el suelo como límite inferior. El límite superior de tensión de 5 kPa fue igual para todos los tratamientos. En el acolchado se usó plástico bicolor, blanco arriba y negro abajo, calibre 125 galgas de 80 cm de ancho.

Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones distribuidas en bloques al azar. La unidad experimental correspondió a una parcela de 4 x 12 m (cuatro surcos de 12 m de largo), sobre cada surco se tendió cinta de goteo con goteros a cada 30 cm con capacidad de 1 L h⁻¹. La fertilización se realizó cada semana a través del agua de riego siguiendo las recomendaciones propuestas por Castellanos *et al.* (2001) para el brócoli en esta región de México. El control de plagas se realizó mediante el uso de agroquímicos según el programa elaborado por Bujanos-Muñiz y Marín (1996). La humedad en el suelo se controló a través de tensiómetros. En dos parcelas de cada tratamiento se instalaron tensiómetros (Marca: Irrrometer, Riverside, California) separados a 12.5 cm de la línea de goteo, entre dos plantas y a 15, 30 y 45 cm de profundidad en el suelo.

Antes de comenzar el experimento, se determinó la curva característica de retención de humedad del suelo en condiciones de campo empleando tensiómetros (Figura 1), la curva se generó para la profundidad homogénea de 0 a 30 cm debido a que en esta zona se localiza más de 80% de las raíces (Nieuwhof, 1969). A diario, a las 8:00 h y a las 13:00 h, se registraron los datos de tensión de humedad en el suelo. La media de la tensión en las profundidades de 15 y 30 cm tenía que alcanzar la tensión límite que se propuso para cada tratamiento para aplicar el riego. En cada riego, se repuso la humedad en un volumen de suelo de 40 cm de diámetro de mojado a través de cada gotero de 1 L h⁻¹ de gasto. El cálculo del volumen de riego de reposición se realizó mediante la expresión:

$$V = [\pi \cdot d^3 \cdot (0.44 - x')] / 4,$$

donde: V es el volumen (mL) de riego de reposición para el estrato x, d es el diámetro (cm) de mojado, y x' es el contenido volumétrico de humedad correspondiente a la lectura del tensiómetro a la profundidad x.

El volumen de riego fue necesario para alcanzar nuevamente el contenido volumétrico de agua de 0.44 cm³ cm⁻³ que corresponde a 5 kPa de tensión. Todos los tratamientos se regaron siempre considerando como límite superior de tensión de humedad a 5 kPa y, como límite inferior, la tensión que se propuso para cada tratamiento.

El trasplante se realizó en húmedo después de un riego de 12 h. Cuando terminó el trasplante, inmediatamente se aplicó otro riego de 66 m³ ha⁻¹ para

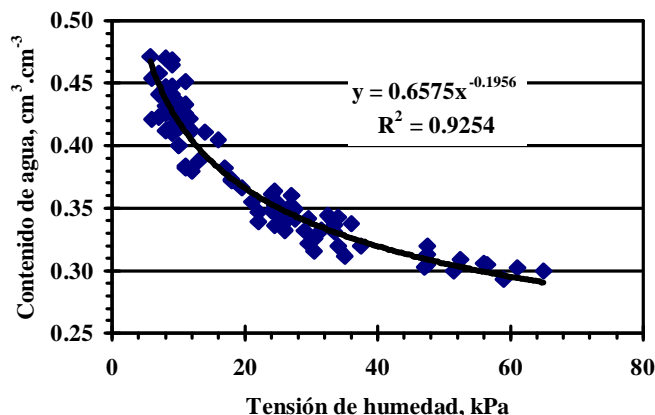


Figura 1. Curva de retención de humedad del suelo del lote experimental.

garantizar el contacto del suelo con la raíz. Después de este riego, cada tercer día se aplicaron tres riegos ligeros de $24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a todos los tratamientos para lograr el establecimiento del cultivo y evitar la formación de costras. Estos riegos son necesarios y prácticamente se realizan para la mayoría de los cultivos de trasplante en sistemas de goteo debido a que es una etapa muy delicada en que la mayoría de las plantas desarrollan nuevas raíces adventicias. Durante los siguientes 10 días [20 días después del trasplante (DDT)], los riegos se aplicaron empleando sólo el tensiómetro localizado a 15 cm de profundidad, mientras que los tensiómetros localizados a mayores profundidades no registraron cambios en las lecturas de tensión de humedad. Durante el resto del ciclo, se consideraron las lecturas de los tensiómetros de 15 y 30 cm de profundidad. El tensiómetro de 45 cm se empleó como indicador del movimiento de agua en el perfil del suelo.

Se realizaron muestreos de biomasa total en las cuatro repeticiones de todos los tratamientos a 0, 20, 47, 67, 89 DDT. El muestreo consistió en cortar toda la parte aérea de las plantas en una superficie de 1 m^2 , la muestra fresca se secó en una estufa con ventilación forzada a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta alcanzar peso constante. También se tomaron en cinco plantas en las cuatro repeticiones de los seis tratamientos, datos de diámetro de tallo, altura de la planta, cobertura de área foliar y número de tallos laterales.

La cosecha comenzó a 88 DDT, cuando la superficie del florete tenía similar tamaño de granos, granos cerrados y el mismo tono de coloración. El rendimiento se evaluó en una superficie de 4 m^2 en las cuatro repeticiones de los seis tratamientos.

La clasificación de la cosecha se realizó con base en el criterio de las maquiladoras de la región Bajío, como: Grado 1, Grado 2 y desecho. Se consideró Grado 1 aquel florete con grano cerrado, color brillante y homogéneo, y desarrollo uniforme de la superficie del florete. El Grado 2 fue aquel florete con menos de cuatro tallos secundarios con flores secas, desarrollo anormal leve de granos y color uniforme, y la presencia de algún daño mecánico leve. En el desperdicio entraron todos los floretes no considerados en los dos grados anteriores. El problema de tallo hueco no se consideró como factor limitativo de calidad para fines de proceso.

Los datos de biomasa, fenología y rendimiento se sometieron al análisis de varianza, usando el procedimiento GLM del programa estadístico SAS, Versión 5 (SAS Institute, 1985). La separación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey a 5% de significancia; las relaciones de asociación entre las variables se realizaron con procedimientos de regresión lineal simple usando el mismo programa SAS (SAS Institute, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tensiones de Humedad en el Suelo en el Transcurso del Ciclo de Crecimiento

Durante los primeros 10 días después del trasplante (DDT), los tensiómetros localizados a 15 cm de profundidad marcaron lecturas de 1.5 a 3 kPa; estos valores se derivan de la misma variabilidad de la sensibilidad de la cápsula de los tensiómetros, ya que a esta fecha aún no se establecían los tratamientos de riego. En el transcurso de este período, se aplicaron el riego de sello con $66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y tres riegos ligeros de $24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ cada tercer día para favorecer el rápido anclaje y evitar la formación de costras.

Cuando se cumplieron 20 DDT, en los tratamientos semihúmedo y húmedo, se alcanzó el contenido de humedad objetivo y fue posible comenzar con el tratamiento respectivo (Figura 2). En las parcelas de los tratamientos medio y acolchado, se alcanzó el contenido de humedad objetivo hasta 30 días; en el tratamiento semiseco, se consiguió hasta 40 días; y en el tratamiento seco, fue hasta 50 días. El retraso para alcanzar el contenido de humedad objetivo en los tratamientos seco y semiseco se debió a una lluvia de 3.8 mm que ocurrió el 2 de febrero de 2000, aunado a la frecuencia de riegos en los primeros

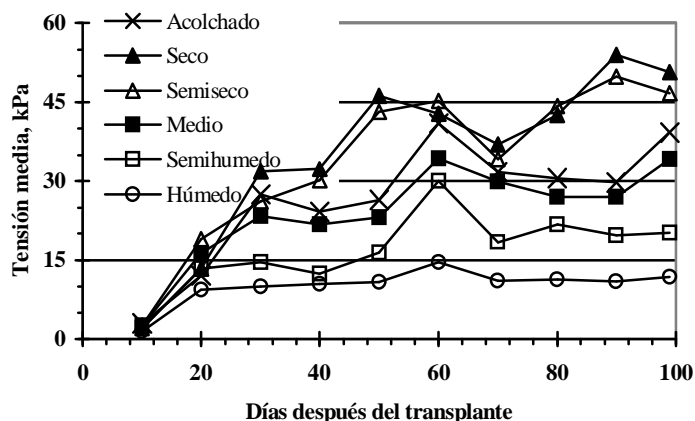


Figura 2. Tensiones de humedad promedio durante el desarrollo de brócoli.

10 días para favorecer el establecimiento y anclaje de la planta, a la alta capacidad del suelo para almacenar humedad, a las condiciones propias del invierno que propician baja evaporación y transpiración.

A 50 DDT, cuando el cultivo tenía la máxima tasa de crecimiento, los tensiómetros se dispararon del intervalo de las tensiones de manejo, por lo que la estrategia de leer las tensiones en la mañana para definir los riegos no fue suficiente y hubo la necesidad de leer los tensiómetros en las tardes para manejar la humedad en el intervalo de tensiones en estudio. Esto propició algunas veces la aplicación hasta de dos

riegos durante el día en los tratamientos húmedo y semihúmedo.

Consumo de Agua

El consumo de agua por el cultivo de brócoli al inicio del ciclo es relativamente bajo (Figura 3). A 35 DDT, la diferencia en el consumo de agua no supera 3 cm de lámina entre los tratamientos húmedo y seco. Incluso, a 45 DDT, justamente a la mitad del ciclo vegetativo, tan sólo se habían consumido 12.5 y 8 cm de lámina de agua en los tratamientos húmedo y seco, respectivamente, lo cual representa menos de 30% del total de agua consumida por las plantas en estos tratamientos durante todo el ciclo. Cuando aparece el florete, a 65 DDT, es notoria que la diferencia en la cantidad de agua aplicada entre los tratamientos y el consumo va de 11 a 20 cm de lámina en los tratamientos seco y húmedo, respectivamente. Para esta fecha, ya se había cumplido más de 70% del tiempo que dura el ciclo, y sólo se había consumido 45% del total de agua. Es sorprendente la cantidad de agua que demanda el cultivo durante la etapa de desarrollo del florete, que comprende desde la apertura del botón (65 DDT) hasta el momento de la cosecha (88 DDT). Cuando inicia la cosecha del florete, las tasas de crecimiento y desarrollo no declinan. Entonces, no es conveniente reducir el riego

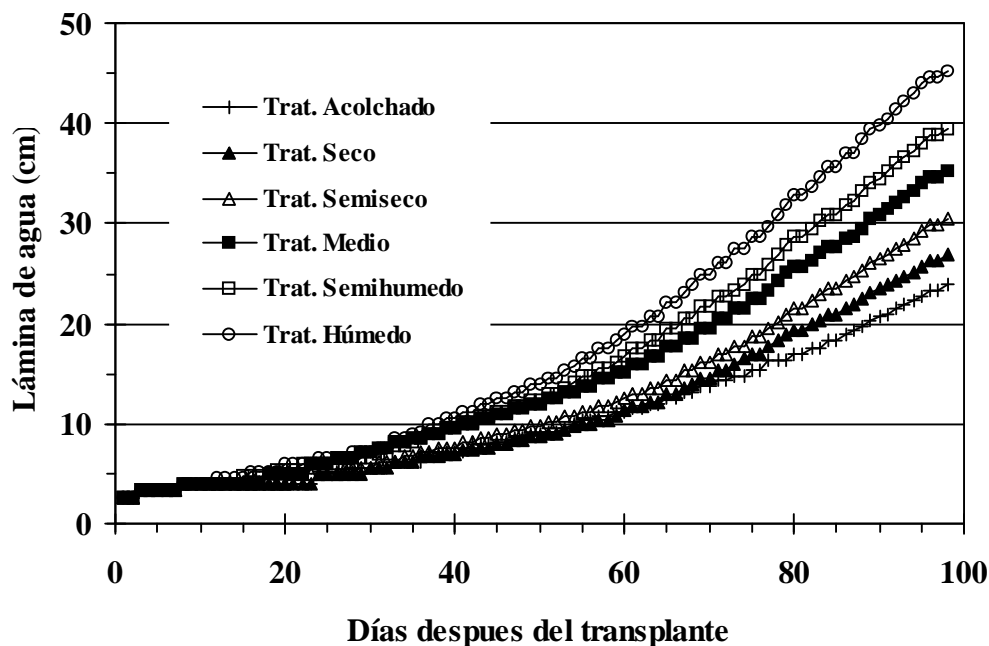


Figura 3. Consumo de agua acumulado de brócoli cv. Patriot en el invierno de 2000.

durante esta etapa de desarrollo, pues, además de reducir el tamaño del florete, pueden provocarse trastornos en la tasa de crecimiento que favorecería la aparición de frutos deformes que pueden afectar el rendimiento y la calidad de la cosecha.

Desarrollo del Cultivo

El crecimiento de la planta en altura fue reducido y prácticamente sin diferencia entre tratamientos durante los primeros 42 DDT (Figura 4). En el período de 42 a 70 DDT, el crecimiento se comportó de forma lineal; las plantas con mayor disponibilidad de humedad siempre conservaron mayor altura que el resto de las plantas manejadas a menores tensiones de humedad. En los últimos 25 días hasta la cosecha, la altura de las plantas casi se duplicó; este cambio en la tasa de crecimiento ocurrió aproximadamente a 70 días, cuando el follaje de algunos tratamientos alcanzó a cubrir totalmente el suelo y las hojas comenzaron a intercalarse entre ellas, estableciéndose una competencia por luz, lo cual provocó mayor crecimiento en altura.

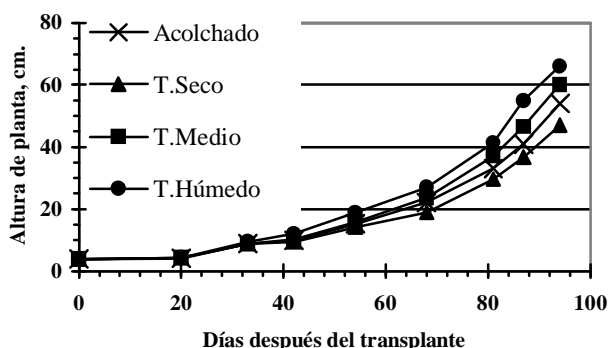


Figura 4. Altura de crecimiento de brócoli.

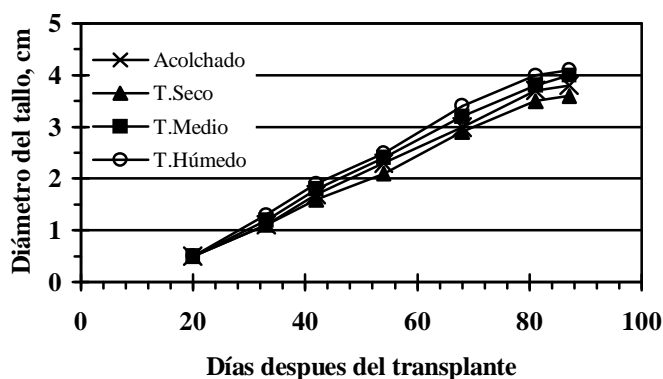


Figura 5. Crecimiento del tallo de brócoli.

El diámetro del tallo tuvo similar tendencia de desarrollo en todos los tratamientos durante todo el ciclo del cultivo (Figura 5). En el periodo de 33 a 81 DDT, el crecimiento fue constante de aproximadamente 0.5 mm d^{-1} en todos los tratamientos. Cuando faltaban ocho días para la cosecha, la tasa de desarrollo del tallo se redujo a 0.25 mm d^{-1} . El desarrollo del tallo indica que el intervalo de humedad a que se manejó el riego no fue suficiente para propiciar cambios en el desarrollo de este órgano.

La cobertura foliar mostró una tendencia sigmoideal a través del tiempo para todos los tratamientos (Figura 6). Comenzó a variar después de 42 DDT, siendo mayor cuando hubo mayor disponibilidad de humedad. Se alcanzó una diferencia máxima de 30% entre los tratamientos húmedo y seco a 68 DDT, cuando los tratamientos medio y húmedo habían cubierto casi la totalidad del suelo. Esta diferencia se redujo de forma gradual después de 68 DDT y hasta el final del ciclo, sin embargo, los tratamientos seco y con acolchado no lograron la cobertura total del suelo ni en el momento de la cosecha.

La acumulación de biomasa (Figura 7) resultó baja durante los primeros 20 DDT y prácticamente puede considerarse como el período de adaptación de la planta procedente del vivero a las condiciones del suelo, incluso, algunas veces, la planta llega a perder peso debido a la pérdida de los cotiledones. También, se ha observado que algunas plantas llegan a perder casi la totalidad de las raíces adventicias desarrolladas en el semillero y generan nuevas raíces adventicias en el suelo. En los siguientes 27 días (20 a 47 DDT), la acumulación de biomasa mostró un notorio ascenso, pero no hubo diferencia entre los tratamientos, lo cual está relacionado con el retraso del establecimiento de

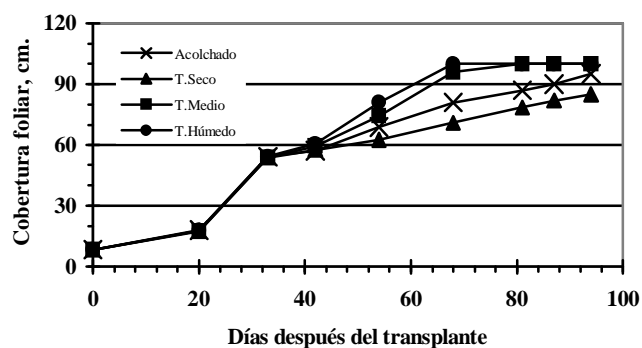


Figura 6. Crecimiento foliar de brócoli.

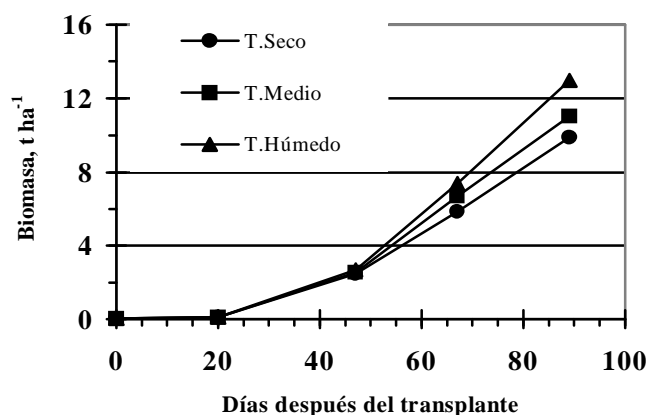


Figura 7. Acumulación de biomasa de brócoli.

los tratamientos que, a su vez, depende de la alta capacidad del suelo para almacenar humedad.

Después de 47 DDT, la acumulación promedio de biomasa presentó un notorio ascenso de 90 a más de 200 kg ha⁻¹ d⁻¹. Después de esta fecha hasta el final del ciclo, se acumula más de 80% de la biomasa total en todos los tratamientos; dentro de este periodo aparece y se desarrolla completamente el florete. Por lo tanto, es fundamental tener precaución en el manejo de los programas de fertilización y riego en este período. Al final del ciclo, fue notoria la respuesta del cultivo a las tensiones de humedad, a menor tensión de humedad hubo mayor ganancia de biomasa; pero, en el caso del rendimiento, no se consiguió la misma tendencia, dado que el mejor rendimiento se alcanzó en el tratamiento semihúmedo. Entonces, no necesariamente mayor producción de biomasa y crecimiento vegetativo garantizan mayor rendimiento del florete en el cultivo del brócoli.

Rendimiento, Calidad y Eficiencia de Uso del Agua

Las plantas que crecieron en el tratamiento de acolchado, semihúmedo y húmedo produjeron el mayor número de tallos laterales por planta, después los tratamientos medio y semiseco y, por último, el tratamiento seco (Cuadro 1). Los tratamientos seco, semiseco y medio no fueron estadísticamente diferentes entre ellos, pero sí fueron diferentes de los tratamientos de acolchado y húmedo. El tratamiento semihúmedo tuvo un valor intermedio y fue similar a todos los tratamientos.

El tratamiento húmedo produjo la mayor cantidad de tallos laterales, lo cual no correspondió al número de floretes cosechados. Aunque no fue significativo, el tratamiento semihúmedo tuvo mayor número de floretes cosechados que el tratamiento húmedo. Cutcliffe *et al.* (1968) mencionaron que los tallos laterales pueden llegar a producir hasta 50% del rendimiento total de florete cuando se llevan hasta la cosecha, situación indeseable en una agricultura intensiva. El diámetro del florete fue similar en todos los tratamientos, pero es importante mencionar que los valores expuestos son obtenidos de todos los floretes cosechados, incluyendo los floretes principales y laterales (Cuadro 1).

El fenómeno del tallo hueco puede llegar a ser un problema cuando la producción se destina al mercado en fresco, porque en la zona hueca del tallo ocurre oxidación y adquiere un color pardo que no es agradable a la vista. El tratamiento seco produjo sólo 5% de floretes con tallo hueco y el tratamiento húmedo produjo hasta 40% de floretes con tallo hueco (Cuadro 1). Esto indica que la disponibilidad de humedad está asociada a la incidencia del fenómeno

Cuadro 1. Algunos parámetros de fenología y de calidad de la cosecha del brócoli.

Tratamiento	Tallos axilares por planta	Floretes cosechados ha ⁻¹	Diámetro promedio [†]	Tallo hueco	Deformes
			cm	----- % -----	
Acolchado (28 kPa)	2.87 c	70 000 a	15.40	29 ab	12
Seco (45 kPa)	2.00 a	67 500 a	14.60	5 a	8
Semiseco (36 kPa)	2.12 ab	67 500 a	15.30	22 ab	10
Medio (28 kPa)	2.13 ab	75 000 ab	16.60	23 ab	14
Semihúmedo (20 kPa)	2.75 bc	90 000 b	15.40	39 b	17
Húmedo (12 kPa)	3.05 c	85 000 ab	15.40	40 b	16
DMS (0.05)*	0.65	17 987	NS	29.08	NS

* Prueba de Tukey, diferencia mínima significativa a 5% de significancia. † Incluye floretes principales y laterales o axilares.

de tallo hueco, mayor disponibilidad de agua eleva la velocidad de desarrollo del tallo al final del ciclo, lo que propicia mayor incidencia de este fenómeno. Afortunadamente, este problema no es tan importante en los casos de florete para proceso. En otros trabajos se ha encontrado que el tallo hueco también está asociado a la sensibilidad varietal, a la fertilización con nitrógeno y a la deficiencia del micronutriente boro (Hipp, 1974; Shelp *et al.*, 1992), incluso, se ha encontrado relación con las densidades de población (Cutcliffe, 1972). En el cultivo de coliflor, planta de la misma familia, se ha encontrado que aplicaciones elevadas de boro y magnesio pueden reducir significativamente la incidencia del tallo hueco, pero no se mejora el rendimiento (Batal *et al.*, 1997).

El desarrollo de floretes deformes varió de 8 hasta 16% en los tratamientos seco y húmedo, respectivamente, pero estadísticamente estos valores no son diferentes (Cuadro 1). Este fenómeno está más asociado a las temperaturas superiores a 30 °C que provocan alteraciones en el desarrollo de los pedúnculos (Fujime y Okuda, 1996).

El rendimiento para proceso no fue estadísticamente diferente entre los tratamientos medio, semihúmedo y húmedo con 29.0, 31.7 y 30.4 t ha⁻¹, respectivamente. Pero, estos tratamientos sí fueron diferentes de los tratamientos seco y el acolchado que alcanzaron rendimientos de 20.8 y 22.3 t ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 2). Aunque no fue significativo, el tratamiento húmedo sufrió un descenso en el rendimiento de florete para proceso de 1.3 t ha⁻¹ con respecto al tratamiento semihúmedo. Los resultados indican que se obtiene el mismo rendimiento con el riego a 28, 20 y 12 kPa de tensión de humedad en el suelo. Estos resultados tienen similitud con lo reportado por Letey *et al.* (1983) que

la tensión de 20 kPa es la óptima para el riego en el brócoli, pero difieren con los resultados de Doerge y Thompson (1997) quienes alcanzaron el rendimiento de 11.5 t ha⁻¹ con 17 cm de lámina de riego a 10 kPa de tensión.

El tratamiento de acolchado se pretendió manejar a la misma tensión que el tratamiento medio, pero tuvo un descenso en el rendimiento de 6.7 t ha⁻¹ con respecto a ese tratamiento; por lo que, el intervalo de tensiones a que se sometió el brócoli con acolchado no respondió positivamente y faltan elementos, como la temperatura del suelo, para explicar la reducción del rendimiento.

La mayor eficiencia de uso del agua se consiguió con el acolchado, seguido del tratamiento semiseco (Cuadro 2). La más baja eficiencia se obtuvo con el tratamiento húmedo. Los valores de eficiencia de uso del agua fueron altos comparados con los que reportaron Doerge y Thompson (1997) y Beverly *et al.* (1986).

CONCLUSIONES

- El aplicación del riego a 12, 20 y 28 kPa de tensión media de humedad en el estrato de 0 a 30 cm del suelo produce rendimientos similares, por lo tanto, es recomendable usar el riego a 28 kPa de tensión media. Además, existe el ahorro de 8 cm de lámina de agua entre el riego a 28 kPa con respecto a 12 kPa.
- Con el riego a tensiones medias superiores a 36 kPa se consigue la reducción de la incidencia del fenómeno del tallo hueco, pero también se reduce el rendimiento hasta más de 20% con respecto al tratamiento semihúmedo que produjo mayor rendimiento.

Cuadro 2. Rendimiento del brócoli y eficiencia de uso del agua.

Tratamiento	Rendimiento			Eficiencia de uso de agua kg.florete comercial m ⁻³
	Proceso [†]	Desecho [§]	Total	
		t ha ⁻¹		
Acolchado (28 kPa) [†]	22.3 ab	12.0	34.3 ab	9.1 d
Seco (45 kPa)	20.8 a	7.7	28.5 a	7.6 b
Semiseco (36 kPa)	25.7 bc	9.7	35.4 bc	8.3 c
Medio (28 kPa)	29.0 cd	11.3	40.3 bcd	8.1 c
Semihúmedo (20 kPa)	31.7 d	11.5	43.0 d	7.9 bc
Húmedo (12 kPa)	30.4 d	10.6	41.0 cd	6.6 a
DMS (0.05)**	3.59	NS	6.56	0.41

[†] El valor encerrado en paréntesis corresponde a la media de las tensiones de humedad de 15 y 30 cm de profundidad en el suelo. [‡] El rendimiento para proceso incluye el Grado 1 y 2, que se refiere en materiales y métodos. [§] El desecho es el desperdicio que se hace referencia en materiales y métodos.

** Prueba de Tukey, diferencia mínima significativa a 5% de significancia.

- Las tensiones medias del suelo de 12 a 45 kPa probadas en este experimento no propiciaron el desarrollo de floretes deformes.
- La mayor eficiencia de uso del agua se consigue con el uso del acolchado, seguido del tratamiento semiseco, medio, semihúmedo, seco y húmedo.
- El vigoroso crecimiento vegetativo y la aparición de un mayor número de tallos secundarios promovido por la alta disponibilidad de agua en el tratamiento húmedo no favorecen el desarrollo del florete y el rendimiento decae en comparación con el tratamiento semihúmedo.

LITERATURA CITADA

- Batal, K.M., D.M. Granberry y B.G. Mullinix Jr. 1997. Nitrogen, magnesium, and boron applications affect cauliflower yield, curd mass, and hollow stem disorder. *HortScience* 32: 75-78.
- Beverly, R.B., W.M. Jarrell y J. Letey Jr. 1986. A nitrogen and water response surface for sprinkler-irrigated broccoli. *Agron. J.* 78: 91-94.
- Bujanos-Muñiz, R. y A. Marín-Jaramillo. 1996. Plagas de los cultivos de crucíferas en el Bajío, México. *Publicación Especial 2. Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Celaya. Guanajuato, México.*
- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.A. Delgado, A. Sosa, P. Vargas, I. Lazcano, M.E. Álvarez y S.A. Enríquez. 2001. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in Central Mexico. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 1265-1292.
- Cutcliffe, J.A. 1972. Effects of plant spacing and nitrogen on incidence of hollow stem in broccoli. *Can. J. Plant Sci.* 52: 833-834.
- Cutcliffe, J.A., D.C. Munro y D.C. MacKay. 1968. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, and manure on terminal, lateral, and total yields and maturity of broccoli. *Can. J. Plant Sci.* 48: 439-446.
- Fujime, Y. y N. Okuda. 1996. The physiology of flowering in Brassicas, especially about cauliflower and broccoli. *Acta Hort. (ISHS)* 407: 247-254.
- García, E. 1980. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Hipp, B.W. 1974. Influence of nitrogen and maturity rate on hollow stem of broccoli. *HortScience* 9: 68-69.
- Letey, J., W.M. Jarrell, N. Valoras y R. Beverly. 1983. Fertilizer application and irrigation management of broccoli production and fertilizer use efficiency. *Agron. J.* 75: 502-507.
- Maurer, A.R. 1976. Response of broccoli to five soil water regimes. *Can. J. Plant Sci.* 56: 953-959.
- Nieuwhof, M. 1969. Cole crops: botany, cultivation, and utilization. Institute of Horticultural Plant Breeding. Wageningen, The Netherlands.
- SAS Institute Inc. 1985. User's guide: basics. Version 5. Cary, NC.
- Shelp, B.J., R. Penner y Z. Zhu. 1992. Broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) cultivar response to boron deficiency. *Can. J. Plant Sci.* 72: 883-888.
- Van der Gulik, T.W. 1999. British Columbia Trickle Irrigation Manual. British Columbia Ministry of Agriculture and Food. Irrigation Association of British Columbia. Abbotsford, British Columbia. Canada.