

<http://dx.doi.org/10.5154/r.ctas.2021.08.20a>

Versión en español

Productividad en una huerta de mango Haden controlada por riego automatizado de micro-aspersión

Federico Hahn-Schlam*

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación, km 38.5 carretera México-Texcoco.
C. P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

Historial del artículo:

Recibido: 20 de agosto de 2021

Aceptado: 28 de septiembre de 2021

*Autor de correspondencia:

fhahn@correo.chapingo.mx

Resumen

México es el primer exportador de mango a nivel mundial y requiere producir fruta de alta calidad. Una huerta de mango variedad Haden se regó mediante un sistema automático de aspersión colocado entre las hileras de árboles. Grupos de micro-aspersores se colocaron en los extremos de la corona de árbol y el riego se aplicó cada 2 d por periodos de 0.5 h. El estudio analizó el efecto del riego con solo dos, tres o cuatro micro aspersores por árbol, obteniéndose el rendimiento, firmeza, contenido de sólidos solubles, acidez y peso de los frutos por árbol. Al no tener los árboles la misma morfología y características biológicas, se presentaron cambios en el rendimiento, maduración y tamaño del fruto. El contenido radicular permitió determinar cuántos aspersores instalar por árbol, la zona ideal donde debe dosificarse el fertilizante, y el lugar correcto para medir la humedad del suelo. Al aplicar agua en todo el contorno del árbol se apreció un retraso en la producción y se evitó la caída de mangos prematuros.

► **Palabras clave:** Calidad, contenido radicular, mango Haden, Micro aspersores, rendimiento.

Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) fue la sexta fruta más producida a nivel mundial en el 2019 (56 millones de toneladas por año), siendo superada por el plátano, la manzana y la uva (FAOSTAT, 2021). México, con una producción de $8.98 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, está haciendo un buen trabajo para incrementar la exportación que incluyen variedades Kent, Keitt, Haden y Ataulfo. En el país se han implementado prácticas orgánicas con más de 110 000 agricultores (FAOSTAT, 2021).

En la actualidad, la agricultura consume el 70 % del agua dulce disponible y el desafío consiste en producir la misma cantidad de fruta utilizando menos agua. El uso de buenas prácticas de riego y fertirriego asegura frutos con alta calidad, buen tamaño ($> 300 \text{ g}$) y un ingreso ideal en un huerto de mango (Schulze, K., Spreer, W., Keil, A., Ongprasert, S., & Müller, J., 2013). El riego deficitario (DI) ha sido utilizado ampliamente en España en diversas huertas de mango, entre ellas las de variedad Gomera-1 (Lipan et al., 2021), así como el riego deficitario regulado (RDI) y

el riego parcial de la zona radicular (PRD). Spreer, W., Ongprasert, S., Hegele, M., Wünsche, J. N. y Müller, J. (2009) informaron que los mangos cultivados en condiciones de RDI aumentaron los sólidos solubles totales (SST) después de 6 d de maduración. En experimentos realizados en Egipto durante 2015 y 2016, Aly, M. A. M., Abdel-Nasser, G., Ismaeil, A. A., y Bayoumi, G. F. M. (2018) reportaron que con riegos correspondientes a un 100 % ET (evapotranspiración) se aumentó el rendimiento, peso del fruto, número de frutos por árbol y firmeza del fruto, en comparación con riegos deficitarios del 75 y 50 % ET.

El período de fructificación es muy sensible al estrés hídrico, siendo crítico durante las primeras seis semanas. Con un buen manejo del agua se puede garantizar un alto rendimiento y una excelente calidad. La calidad se ve afectada por cambios en las condiciones ambientales durante la maduración y almacenamiento, mostrando variaciones en el contenido de sólidos solubles totales (SST), pH, contenido de carotenoides y relación entre azúcares y ácidos (Abu, M., Abbey, L. D., & Amey, N. K., 2021; Galán-Sauco & Lu, 2018).

Los consumidores de mango de la variedad Haden exportados y tratados con agua caliente detectaron su excelente aroma, alto contenido de fibras y sabor amargo cuando la fruta estaba muy firme. Al ablandarse los mangos Haden desarrollaron mayor dulzura y jugo, pero disminuyeron en su acidez (Nassur et al., 2015).

En períodos donde la lluvia es escasa, los productores se han visto en la necesidad de adquirir sistemas automatizados de riego que controlen la cantidad de agua aplicada. El riego por micro-aspersión reduce el consumo de agua y aumenta los rendimientos de la cosecha (Wei, J., Liu, G., Liu, D., & Chen, Y., 2017). Este sistema de aplicación de agua nebulizada es efectivo, pero su distribución no siempre es uniforme, habiendo muchas variables que la afectan (Koumanov, K. S., Hopmans, J. W., & Schwankl, L. W., 2006). Esta investigación determinó la producción, tamaño y peso de frutos de mango al aplicar riego con diversos micro-aspersores en la periferia del árbol. Un análisis de la raíz permitió conocer la zona donde debe regarse.

Materiales y métodos

El experimento se realizó durante el año 2020 en una huerta de mango localizada en Loma Bonita, Guerrero (17° 25' 47" N, -101° 11' 19" W, 17 msnm). El suelo de la huerta es franco arcilloso y se seleccionaron 40 árboles de 35 años de edad variedad Haden dispuestos en cuatro hileras. El manejo de los árboles incluyó prácticas convencionales de poda, riego y fertilización. El sistema automático considerado para el experimento fue uno que utiliza micro-aspersores, ya que requiere menor energía y, en general, funciona con bajos rangos de presión (1-3 kg_f.cm⁻²) y una descarga de 120 L·h⁻¹. Los micro-aspersores son deseables porque se requieren menos cabezales de rociadores para cubrir un área grande.

El experimento constó de cuatro grupos con diferente riego cada uno; en tres de ellos se emplearon micro-aspersores y el control utilizó una manguera para mojar superficialmente todo el suelo debajo de la periferia del árbol. Los micro-aspersores son emisores que esparcen agua a través del aire. Estos aspersores están unidos mediante un tubín a las tuberías laterales situadas en la periferia de las coronas de los árboles (Figura 1a). Cada rociador se montó sobre una estaca de soporte a 25–30 cm de altura (Figura 1 c), con la finalidad de que el agua nebulizada se desplazara y cubriera el área máxima de riego (radio de 1.5 m). Cada tratamiento con micro-aspersores constó de 10 árboles cada uno, y difirió en el número de aspersores por árbol y su posicionamiento. En los árboles del primer experimento EXP1 hubo cuatro aspersores de 120 L·h⁻¹ en su periferia (Figura 1^a y Figura 3). En el contorno de los árboles de los experimentos 2 y 3 (EXP2 y EXP3) se colocaron tres y dos aspersores, respectivamente (Figura 1 a). Los micro-aspersores eran del mismo flujo que los del EXP1. (Figura 2 a). En los experimentos EXP1, EXP2 y EXP3, se aplicó agua por media hora cada 2 d,

recibiendo cada árbol 200, 150 y 100 L, respectivamente. El control utilizó riego con manguera (Figura 2 b) y suministra 300 L cada 2 d a cada uno de los 10 árboles.

En cada experimento se contó el número de días después del cuajado (DDC) de los frutos, que corresponde al período entre la aparición del fruto (tamaño alfiler) después de la floración, hasta su cosecha. La cantidad de frutos sazones por árbol se contaron el 1 y 15 de julio del 2020. Al cortarlos, se midió la longitud y el peso de cada fruto, para calcular el rendimiento por árbol. La firmeza se midió un día después del corte en 20 frutos escogidos al azar por tratamiento y la fuerza máxima (N) requerida para romper la cáscara del fruto correspondió a la firmeza de la cáscara. La medición se realizó mediante un analizador de textura (modelo TA + HDi, Stable Micro Systems, UK) equipado con una celda de carga de 50 kg y una sonda de acero inoxidable de 2 mm de diámetro (Jha, S. N., et al., 2010). El contenido de sólidos solubles totales (SST), expresado en °Brix, se obtuvo con un refractómetro digital portátil (mod HI96801, Hanna Instruments, USA). La medición se realizó después de colocar una gota del jugo de la pulpa del mango en la ventana del dispositivo. La acidez titulable se determinó por el método AOAC 942.15 (AOAC, 2000) y el pH mediante el método AOAC 981.12/90 (AOAC, 2000) con un potenciómetro digital (Mettler Toledo S40). En todas estas mediciones cualitativas se usaron 20 mangos por tratamiento. El paquete SAS se utilizó para realizar análisis estadísticos mediante promedios y ANOVA.

Una vez terminado el experimento, se escogieron dos árboles al azar y se extrajo la tierra con cuidado desde el tronco hasta el contorno del árbol. (Figura 4) Una cuadrícula de 0.3 m × 0.3 m se usó de contorno para sacar fotos con un celular. Los datos fueron procesados y segmentados mediante el programa Fiji basado en el ImageJ para contar las ramificaciones y longitud de las raíces. Fiji es un software de código abierto para introducir a ImageJ nuevos algoritmos para el análisis de imágenes biológicas (Schindelin et al., 2012).

Resultados y discusión

Un árbol regado con manguera (Figura 2 b) produjo una mayor cantidad de mangos y más grandes (Cuadro 1) que los cosechados a partir de un árbol regado con cuatro micro-aspersores (Figura 2 a). El aumento en el rendimiento de fruta con el riego se debe a una menor caída de fruta (Spreer, et al., 2009). El área promedio inundada por la manguera debajo del dosel fue de 62 m² ($\pi \cdot 4.5^2$), mientras que la región regada por los cuatro micro-aspersores cubría 28.2 m² ($4 \cdot \pi \cdot 1.5^2$), lo cual correspondió a un riego deficitario del 45 %. Este último riego no es uniforme ya que hay zonas que no se mojan. En un trabajo con frutos de mango Kent, se midió con sensores la humedad del suelo y con dendrómetros la expansión-contracción de las ramas (Hahn, 2021). Las ramas arriba de las zonas rociadas (húmedas) presentaron

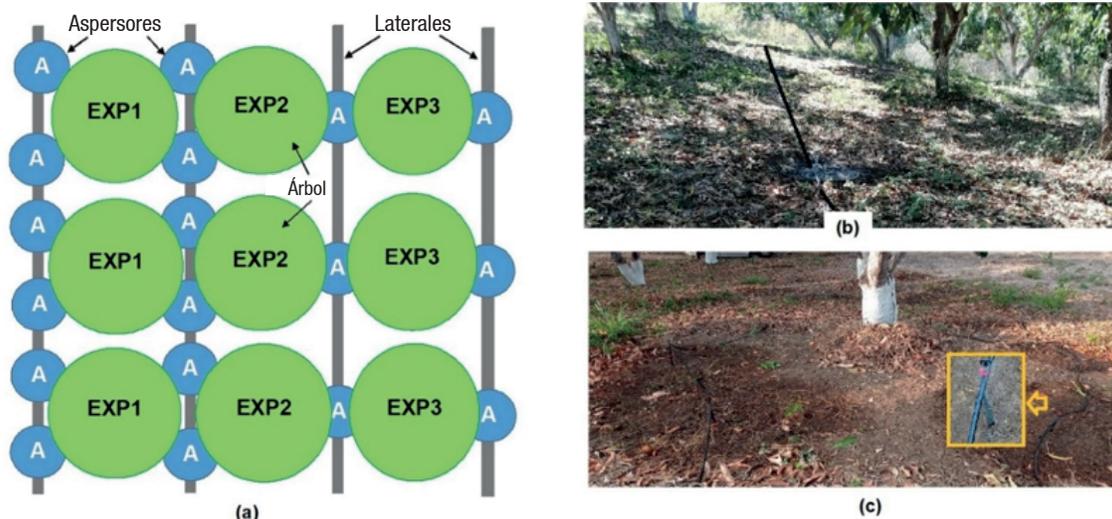


Figura 1. (a) Laterales con diferentes cantidades de micro-aspersores para cada experimento en árboles de mango; (b) manguera lateral entre árboles; y (c) micro-aspersores colocados alrededor del árbol.

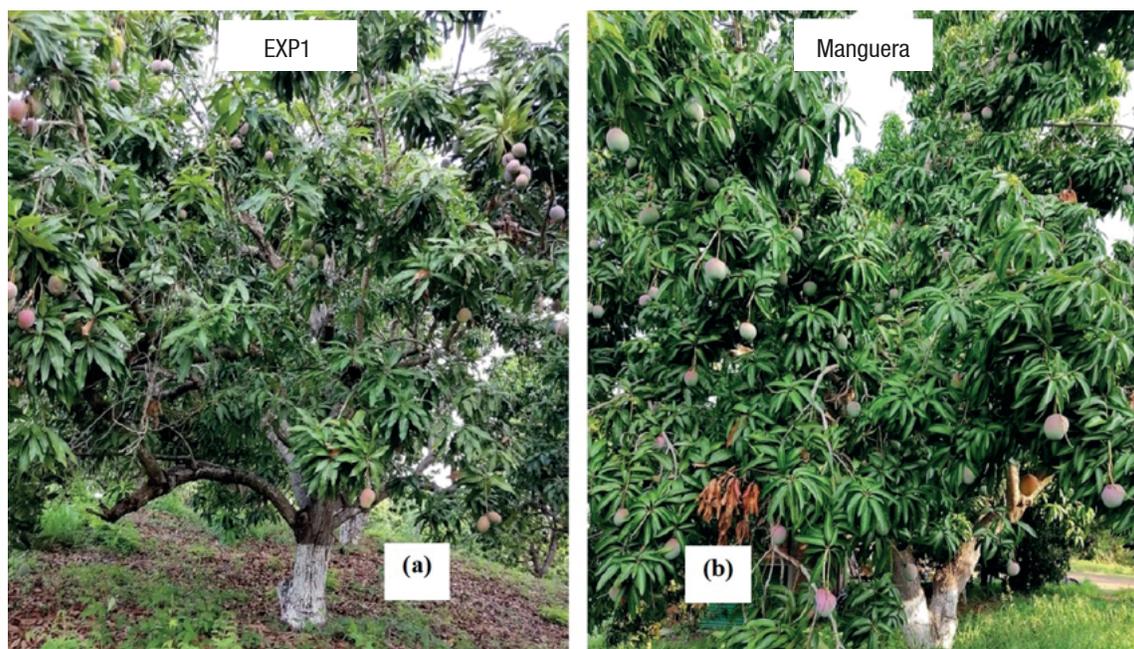


Figura 2. Mangos en el árbol usando riego (a) con cuatro micro-aspersores (EXP1) y (b) con manguera.

un buen rendimiento de frutos y tuvieron contracciones-expansiones de $0.12 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$. El crecimiento diario de las ramas sobre la zona sin humedad en el suelo fue de la mitad y el tronco proporcionaba carbohidratos y agua.

En el Cuadro 1 se observa la productividad y tamaño promedio de frutos para cada opción de riego (manguera y DI-aspersión). Los árboles con menos aspersores (EXP3) produjeron un 80 % menos de mangos. En la comercialización de mango a Europa, el peso de la fruta no debe ser menor a 200 g (Kader, 2008). Los mangos deben ser clasificados de acuerdo a su peso en tres categorías: A (200-350 g); B (351-550 g) y C de 551 a 800 g. Un mango

nunca puede superar los 925 g (Kader, 2008). Los comerciantes de fruta nacional consideran fruta de primera calidad la superior a 450 g y la regular entre 350 y 450 g. Únicamente fruta de primera calidad se obtuvo a partir de árboles regados con manguera, y los mangos cosechados a partir de los experimentos EXP2 y EXP3 no estaban dentro de los límites considerados para su comercialización. La cantidad de mangos en los experimentos 2 y 3 fue igual, aunque el tamaño del fruto fue 13.7 % mayor en el de los tres aspersores (Cuadro 1).

Existe una correlación negativa entre el número de frutos en el árbol y el peso medio de los frutos (Cuadro 1). La

Cuadro 1. Productividad por árbol, longitud y peso promedio por fruto y cantidad cosechada el 1 y 15 de julio del 2020.

	Productividad		Frutos		
	(kg·árbol ⁻¹)	Longitud (cm)	Peso (g)	Cantidad 1/07/2020	Cantidad 15/07/2020
EXP 1	25.9±3.2 ^a	8±1.5 ^a	370±11.8 ^a	20±5 ^a	45±5 ^a
EXP 2	16.5±3.2 ^a	7.5±1.1 ^b	323±7.8 ^a	18±4 ^a	33±9 ^b
EXP 3	11.2±3.2 ^a	7.2±0.7 ^{ab}	282±8.8 ^a	8±3 ^b	34±8 ^{ab}
CONTROL	57.1±10.2 ^b	12.4±0.7 ^c	580±14.2 ^b	5±3 ^b	90±8 ^c

Valores con la misma letra, dentro la misma columna, son estadísticamente iguales, bajo la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

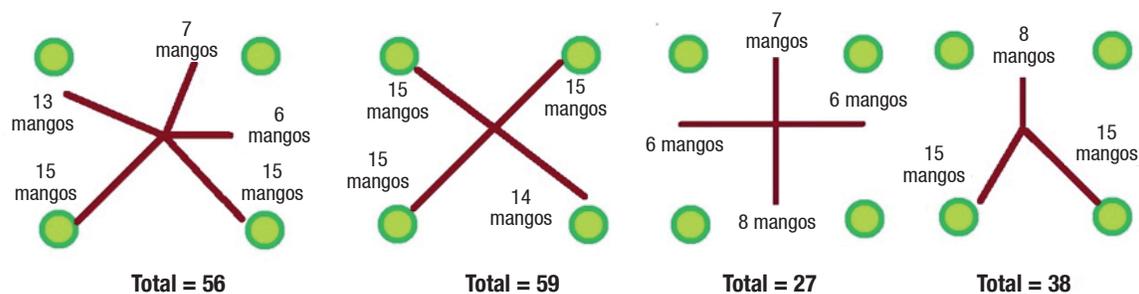


Figura 3. Productividad de mangos por rama con cuatro aspersores y diferentes topologías de árbol.

relación entre longitud y diámetro de la fruta fue similar para los diferentes tratamientos durante el desarrollo de la fruta (Lipan et al., 2021). La sequía induce la caída de la fruta en la etapa tardía y la reducción de masa en la fruta debido a la disminución del tamaño y al número de células (Singh, 2005).

En un sistema de riego automatizado es casi imposible poner todas las mangueras de acuerdo con la topología particular de cada árbol. La productividad de acuerdo con la posición del árbol con respecto al punto de aplicación de agua se muestra en la Figura 3. En el momento que las ramas del árbol no coinciden con la zona de riego, la productividad disminuye. Por ejemplo, 59 frutos se cosecharon en el árbol donde las cuatro ramas coinciden sobre los aspersores, lo que representa más del doble de los mangos (27) cosechados cuando no coinciden.

Al igual que con el rendimiento, el riego influyó en la calidad de los frutos. La firmeza de la cáscara no varió mucho al primer día (Cuadro 2), pero a la semana tuvo variaciones considerables. Se encontró que la firmeza de la cáscara de los mangos cosechados en la primera semana de julio era mayor que la de los mangos tardíos (15 de julio de 2020) tal como lo mencionó Jha et al. (2013). Esto puede deberse a la menor cantidad de agua en los frutos de árboles regados con tres y dos aspersores (EXP2 y EXP3). La fruta con menos SST fue la que más agua recibió y la más dulce la de EXP3 (Cuadro 2), siendo similar al mango niño Ataulfo, el cual es más dulce y más pequeño. Esto correspondió a los resultados obtenidos en mango Osteen (Durán Zuazo, V. H., Pleguezuelo, C. R. R., & Tarifa, D. F., 2011), donde había una mayor acumulación de azúcares

en frutos que recibían una menor cantidad de agua. El pH mostró una mayor acidez en frutos con un riego de 100 % ET, tendiendo a un valor más neutro de 5.1 en el EXP3. En cuanto a la acidez, esta fue mayor con el riego con manguera y menor en el EXP2. Este resultado coincidió con lo expuesto por diversos investigadores (Durán Zuazo et al., 2021). No obstante, Aly et al. (2018) trabajaron con mangos Keitt y obtuvieron valores de SST y acidez mayor al aplicar mayor cantidad de agua.

En el suelo por debajo del dosel están enterradas y desparadas las raíces finas del árbol entre 0.5 y 5 m (Figura 4 a) a partir del tronco. Estas raíces, cuyo diámetro varía entre 0.55 y 2.05 mm, son las que más contribuyen en la absorción de agua y nutrientes. Las raíces finas presentan el 9 % del contenido radicular en el primer metro longitudinal desde el tronco (Figura 4 b). En esta figura se aprecia que la mayor concentración radicular (76 %) se encuentra a una distancia del tronco que varía entre 2 y 3.5 m. La zona regada por los micro-aspersores contiene un 15 % de contenido radicular. Estas raíces finas representan el 75 % en la zona donde no hay humedad y del 80.5 % para la zona con humedad alrededor de los aspersores, tal como reportaron Santos, M. R. dos, Martinez, M. A., Donato, S. L. R. y Coelho, E. F. (2014). En las zonas sin riego, el contenido radicular disminuyó y algunas raíces murieron como consecuencia del estrés hídrico del suelo, el cual, al encontrar la mayor concentración radicular a una distancia de 2.50 m del tronco, representa el lugar donde debe ponerse el sensor de medición de humedad. El suelo tiene una capa de tepetate a 60 cm de profundidad, por lo que dificulta la penetración de las raíces finas. Al desarrollarse las raíces con mayor densidad entre 2 y 3 m se recomienda

Cuadro 2. Firmeza, SST, acidez, pH de la pulpa y días después de que la fruta cuajó para cada tratamiento de riego.

	DDC(d)	Firmeza (N)	SST (° Brix)	Acidez (g)	pH
EXP 1	112	32.2±1.8 ^a	17.8±0.3 ^a	0.32±0.01 ^a	4.2±0.1 ^a
EXP 2	112	36.5±0.3 ^a	18.3±0.1 ^b	0.39±0.01 ^a	4.8±0.1 ^a
EXP 3	112	36.4±0.5 ^{ab}	18.4±0.3 ^{ab}	0.45±0.01 ^a	5.1±0.1 ^a
CONTROL	125	34.4±1.9 ^{ab}	16.2±0.8 ^a	0.48±0.01 ^a	3.7±0.1 ^a

DDC: Días después cuajado; valores con la misma letra, dentro la misma columna, son estadísticamente iguales, bajo la prueba Tukey $P \leq 0.05$.

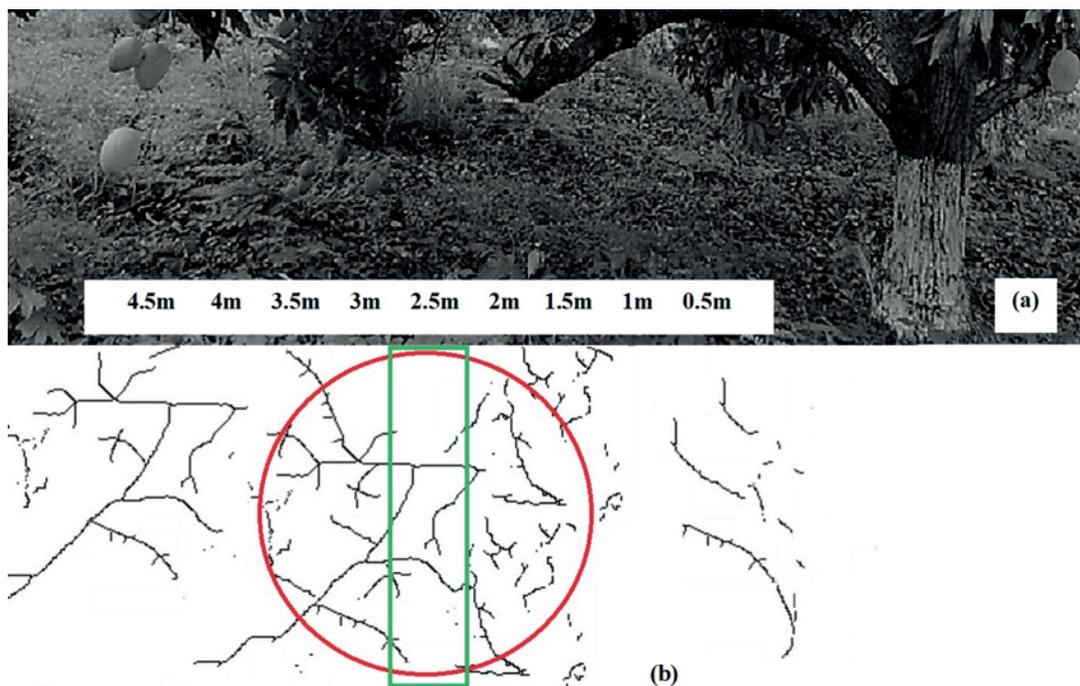


Figura 4. Árbol de mango con (a) hojas y frutos a lo largo de la rama, y (b) concentración radicular fina a 10 cm de profundidad.

aplicar fertilizantes (cuadro verde) en una zanja de 20 cm de profundidad en el suelo. El círculo con línea roja, en la Figura 4 b, muestra la zona que mojaría el micro-aspersor propiamente colocado.

Después de ver la imagen del contenido radicular, se concluyó que una sola lateral no puede usarse para regar dos columnas de árboles (Figura 1 a). Las laterales deben de pasar a 2.5 m del tronco y tener tres aspersores en cada mitad del dosel. Esto asegura que toda el área donde haya contenido radicular esté húmeda. La introducción del micro-riego tiene un tiempo de recuperación menor a cinco años y el uso del riego parcial en la zona radicular (PRD) resulta en el sistema más económico (Satiemperakul, K., Manochai, P., Ongprasert, S., Spreer, W., & Müller, J., 2009). En el futuro, será necesario analizar los patrones de resistividad eléctrica en la zona radicular resultante de diferentes estrategias de riego. En Italia se probó este sistema con naranjas regadas por RDI, obteniéndose variaciones en el orden de $10 \Omega \cdot m$ en la resistividad eléctrica, dependiendo de la presencia del agua (Mary, B., Vanella, D., Consoli, S., & Cassiani, G., 2019).

Conclusiones

El mejor rendimiento y calidad se obtuvo con riego del 100 % ET y de forma homogénea debajo del área delimitada bajo el dosel. Al utilizar el riego deficitario y sin cubrir toda el área con los aspersores se obtuvieron mangos de bajo tamaño y menor calidad. En aplicaciones de riego deficitario con micro-aspersores se presenta un diferente rendimiento de acuerdo a la topología del árbol. Asimismo, la cantidad de aspersores por árbol tiene un efecto en el tamaño, cantidad y tiempo de maduración. Los árboles regados con menos micro-aspersores produjeron mangos pequeños, con altos SST, acidez y pH. Al estar el mayor contenido radicular a 2.5 m del tronco es necesario centrar allí la lateral, el micro-aspersor y aplicar en esa región los fertilizantes.

Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento a sus estudiantes, Luis Lombera y a la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo, México, que hizo posible el trabajo con el proyecto 21013-DTT-65.

Referencias

- Abu, M., Abbey, L. D., & Amey, N. K. (2021). Relation of harvesting time on physicochemical properties of Haden, Kent, Palmer and Keitt mango varieties for export and local. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 4(1), 87–100. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2020.3170.1126>
- Aly, M. A. M., Abdel-Nasser, G., Ismaeil, A. A., & Bayoumi, G. F. M. (2018). Effect of different irrigation levels on growth, yield and fruit quality of mango cv. Keitt grown under screen house. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 23(1), 148–167.
- AOAC. (2000). *Methods of Analysis*. 17va. Edición. Association of Official Analytical Chemists. Washington, USA.
- Durán Zuazo, V. H., Franco Tarifa, D., Cárceles Rodríguez, B., Gálvez Ruiz, B., Cermeño Sacristán, P.,..., García-Tejero, I. F. (2021). Mango fruit quality improvements in response to water stress: implications for adaptation under environmental constraints. *Horticultural Science*, 48(1), 1–11. <https://doi.org/10.17221/45/2020-HORTSCI>
- Durán Zuazo, V. H., Pleguezuelo, C. R. R., & Tarifa, D. F. (2011). Impact of sustained-deficit irrigation on tree growth, mineral nutrition, fruit yield and quality of mango in Spain. *Fruits*, 66(4), 257–268. <https://doi.org/10.1051/fruits/2011038>
- FAOSTAT. (2021). *Food and agriculture data*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/>
- Galán-Sauco, V., & Lu, P. (2018). *Achieving sustainable cultivation of mangoes*. Burleigh Dodds Science Publishing Limited.
- Hahn, F. (2021). Soil moisture and dendrometer sampling of Kent trees irrigated with micro-sprinklers. *American Journal of Biomedical Science & Research*, 13(6), 697–700. <https://doi.org/10.34297/AJBSR.2021.13.001940>
- Jha, S. N., Narsaiah, K., Sharma, A. D., Singh, M., Bansal, S., & Kumar, R. (2010). Quality parameters of mango and potential of non-destructive techniques for their measurement – a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0004-6>
- Jha, Shyam Narayan, Jaiswal, P., Narsaiah, K., Kaur, P. P.,..., Kumar, R. (2013). Textural properties of mango cultivars during ripening. *Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1047–1057. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0431-z>
- Kader, A. (2008). *Mango quality attributes and grade standards: A review of available information and identification of future research needs. (Report to the National Mango Board)*. <http://www.mango.org/>
- Koumanov, K. S., Hopmans, J. W., & Schwankl, L. W. (2006). Spatial and temporal distribution of root water uptake of an almond tree under microsprinkler irrigation. *Irrigation Science*, 24(4), 267–278. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0027-3>
- Lipan, L., Carbonell-Pedro, A. A., Cárceles Rodríguez, B., Durán-Zuazo, V. H., Franco Tarifa, D.,..., Hernández, F. (2021). Can Sustained Deficit Irrigation Save Water and Meet the Quality Characteristics of Mango? *Agriculture*, 11(5), 448. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050448>
- Mary, B., Vanella, D., Consoli, S., & Cassiani, G. (2019). Assessing the extent of citrus trees root apparatus under deficit irrigation via multi-method geo-electrical imaging. *Scientific Reports*, 9(1), 9913. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46107-w>
- Nassur, R. de C. M. R., González-Moscoso, S., Crisosto, G. M., Lima, L. C. de O., Vilas Boas, E. V. de B., & Crisosto, C. H. (2015). Describing quality and sensory attributes of 3 Mango (*Mangifera indica* L.) cultivars at 3 ripeness stages based on firmness. *Journal of Food Science*, 80(9), S2055–S2063. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12989>
- Santos, M. R. dos, Martinez, M. A., Donato, S. L. R., & Coelho, E. F. (2014). Fruit yield and root system distribution of “Tommy Atkins” mango under different irrigation regimes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(4), 362–369. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000400002>
- Satienperakul, K., Manochai, P., Ongprasert, S., Spreer, W., & Müller, J. (2009). Economic evaluation of different irrigation regimes in mango production in northern Thailand. *Acta Horticulturae*, 831, 293–300. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.831.34>
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M.,..., Cardona, A. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 676–682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
- Schulze, K., Spreer, W., Keil, A., Ongprasert, S., & Müller, J. (2013). Mango (*Mangifera indica* L. cv. Nam Dokmai) production in Northern Thailand – Costs and returns under extreme weather conditions and different irrigation treatments. *Agricultural Water Management*, 126, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.04.010>
- Singh, Z. (2005). Embryo abortion in relation to fruit size, Quality, and concentrations of nutrients in skin and pulp of mango. *Journal of Plant Nutrition*, 28(10), 1723–1737. <https://doi.org/10.1080/01904160500250771>
- Spreer, W., Ongprasert, S., Hegele, M., Wünsche, J. N., & Müller, J. (2009). Yield and fruit development in mango (*Mangifera indica* L. cv. Chok Anan) under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 96(4), 574–584. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.09.020>
- Wei, J., Liu, G., Liu, D. & Chen, Y. (2017). Influence of irrigation during the growth stage on yield and quality in mango (*Mangifera indica* L). *PLOS ONE*, 12(4), e0174498. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174498>