

Riego capilar por mecha en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema combinado de solución hidropónica y suelo, como alternativa en la agricultura urbana de Bolivia

Capillary irrigation by wick in the lettuce crop (Lactuca sativa L.) in a combined system of hydroponic solution and soil, as an alternative in urban agriculture of Bolivia

Medrano-García, P.^{a1}, Chipana-Rivera, R.^{a2}, Moreno-Pérez, M. F.^{b1}, Roldán-Cañas, J.^{b2}

^aFISAR - Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. E-mail: ^{a1}pam_medrano03@hotmail.com, ^{a2}renechipana@yahoo.com

^bUniversidad de Córdoba, España, E-mail: ^{b1}mfatima@uco.es, ^{b2}jroldan@uco.es

Recibido: 09/08/2018

Aceptado: 12/12/2018

Publicado: 31/01/2019

Citar como: Medrano-García, P., Chipana-Rivera, R., Moreno-Pérez, M. F., Roldán-Cañas, J. 2019. Capillary irrigation by wick in the lettuce crop (*Lactuca sativa* L.) in a combined system of hydroponic solution and soil, as an alternative in urban agriculture of Bolivia. *Ingeniería del agua*, 23(1), 53-63. <https://doi.org/10.4995/la.2019.10602>

RESUMEN

Algunas de las principales ciudades de Bolivia se encuentran ubicadas en zonas semiáridas y áridas, donde se tiene sequías en forma recurrente que provocan racionamiento en la dotación de agua. El presente estudio fue realizado en el centro Experimental de Cota Cota, dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, ubicado en la ciudad de La Paz a 3400 m.s.n.m. En tal sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el riego por mecha en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema combinado de suelo y solución hidropónica, durante dos ciclos de cultivo. Para ello se usaron recipientes desechables de plástico de 5 litros de capacidad. En una parte del envase se puso el sustrato (arena o suelo franco) y en la otra la solución hidropónica (FAO, La Molina y la Local) y mecha de algodón. El consumo de agua por transpiración en los sistemas de riego con y sin mecha fue similar, sin embargo, hubo diferencias altamente significativas en el rendimiento y productividad del agua a favor de la solución FAO, principalmente en el segundo ciclo. En este tipo de sistemas de riego se observó una gran reducción del consumo de agua, además no existe gasto de energía adicional, por lo que se constituye en una alternativa para el cultivo de hortalizas de hoja, en pequeñas superficies de terreno.

Palabras clave | riego por mecha; cultivo de lechuga; solución nutritiva y suelo; Bolivia.

ABSTRACT

Some of the main cities of Bolivia are located in semiarid and arid zones, where there are recurrent droughts that cause rationing in the water supply. The present study was carried out in the Cota Cota Experimental Center, dependent on the Universidad Mayor de San Andrés, located in the city of La Paz at 3400 m.s.n.m. In that sense, the objective of the present work was to evaluate the wick irrigation in the lettuce crop (*Lactuca sativa* L.) in combined system of soil and hydroponic solution, during two crop cycles. To do this, disposable plastic containers of 5 liters capacity were used. In one part of the container was placed the substrate (sand or loam) and in the other the hydroponic solution (FAO, La Molina and the Local) and cotton wick. Water consumption by transpiration in irrigation systems with and without wick was similar, however, there were highly significant differences in water yield and productivity in favor of the FAO solution, mainly in the second cycle. In this type of irrigation systems there was a great reduction in water consumption, and there is no additional energy expenditure, which is why it is an alternative for the cultivation of leafy vegetables, in small areas of land.

Key words | wick irrigation; lettuce crop; nutritive solution and soil; Bolivia.

INTRODUCCIÓN

Más de 800 millones de agricultores de subsistencia en el mundo dependen del acceso al agua barata para aumentar la productividad y aliviar su pobreza. Sin embargo, debido a que la disponibilidad de recursos hídricos está disminuyendo cobra importancia el uso eficiente del agua en el riego. Adicionalmente, se debe minimizar el consumo de energía en los sistemas de riego, que sumado a lo anterior es fundamental para mantener los costos de operación bajos (Kuntz, 2013).

Por otro lado, el sector hortícola representa una actividad importante en Bolivia, en particular la producción en sistemas protegidos que se ha incrementado notablemente en los últimos años, siendo el cultivo de lechuga uno de los principales (Macías, 2010). En la zona occidental de este país, los grandes centros urbanos de consumo, en concreto el conjunto de las ciudades de La Paz y El Alto, se encuentran “alejados” de las principales zonas de producción de hortalizas, debido al mal estado de las carreteras, además de estar en zonas de topografía accidentada, afectando el tiempo de transporte, la calidad y el precio de los vegetales. Como consecuencia, la agricultura urbana y periurbana de hortalizas se está haciendo cada vez más popular, existiendo diferentes sistemas de cultivo sin suelo, con el uso de soluciones nutritivas (Gutiérrez, 2011). Asimismo, esta región se caracteriza por ser semiárida y árida, siendo que en los últimos años se tuvieron sequías que provocaron racionamiento en el abastecimiento de agua a las ciudades. En ese sentido, es necesario buscar opciones que permitan usar eficientemente el agua en la agricultura, así como técnicas adecuadas de nutrición de las plantas.

Como una alternativa, se tiene la producción de cultivos en invernadero que suele acompañarse de tecnología hidropónica, en donde en vez de suelo se usa un sustrato y los fertilizantes se agregan una solución nutritiva con el riego (Sánchez y Escalante, 1988). Sin embargo, además de la inversión inicial en capital se requiere energía adicional para la recirculación y aireación de la solución nutritiva que, de por sí, se constituye en un inconveniente en áreas con deficiencias en el suministro de energía eléctrica y/o carencia de mano de obra.

En teoría, los sistemas de riego por mecha pueden reducir sustancialmente las necesidades de bombeo de agua para riego, puesto que la absorción de agua depende del potencial hídrico negativo del continuum solución de agua, mecha, suelo, raíz, tallo, hojas y atmósfera (Kuntz, 2013).

Por otro lado, el cultivo de lechuga, variedad Waldman's Green por ser de ciclo corto se adapta a condiciones de invernadero donde se utilizan soluciones nutritivas para su mejor desarrollo, y tiene preferencia por parte de los consumidores al tener hojas abiertas de tamaño mediano y color verde semi oscuro, con épocas de siembra durante prácticamente todo el año, siendo su siembra ya sea directa o en almácigo. El consumo de agua del cultivo de lechuga depende de la variedad, por ejemplo, en variedades de hoja, en su máximo estado de desarrollo, consumen 300 cm³ por planta/día, por tanto, si en un metro cuadrado se tiene 25 plantas el consumo sería 7.5 litros/día. (Rodríguez, 2009).

Bajo las circunstancias descritas el riego capilar por mecha ha venido probándose con cierto éxito, puesto que requiere baja inversión de capital, y sobre todo porque las necesidades de agua de los cultivos pueden ser cubiertas por el flujo ascendente de agua a través de las mechas.

En tal sentido el objetivo del presente trabajo fue evaluar el riego por mecha en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema combinado de suelo y solución hidropónica.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en un invernadero del Centro Experimental de Cota Cota, dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, ubicado en la ciudad de La Paz, Bolivia a una altura de 3445 m.s.n.m., cuyas coordenadas son 16°32'04" de Latitud Sur y 68°03'44" de longitud oeste.

Las condiciones agroclimáticas son de cabecera de valle con temperatura media de 13.5 °C, los veranos son calurosos con temperatura máxima media de 21.5 °C, en tanto en la época invernal desciende hasta -6 °C. En el mes de agosto se presentan

vientos con velocidades mayores a 3 m/s, con dirección Este. La precipitación media anual alcanza a los 488.53 mm concentrados entre los meses de diciembre a marzo, la humedad relativa media es de 46%

El material vegetal usado fue lechuga (*Lactuca sativa* L.) Var. Waldman's Green. Los insumos químicos empleados (que contenían macro y micronutrientes) fueron diluidos en soluciones hidropónicas (SH) de diferente composición (ver Tablas 1 a 3): 1) Solución hidropónica FAO; 2) Solución hidropónica La Molina; y 3) Solución hidropónica Local.

Tabla 1 | Cantidad de sales en la preparación de la solución hidropónica FAO en g/L de agua (FAO, 2003).

| | Fertilizante |
|-----------|-----------------------|
| Nitrógeno | 0.101 |
| Fósforo | 0.016 |
| Potasio | 0.084 |
| Calcio | 0.080 |
| Magnesio | 0.009 |
| Azufre | 0.012 |
| Boro | 2.2×10^{-4} |
| Cobre | 2.45×10^{-5} |
| Manganeso | 1.67×10^{-4} |
| Molibdeno | 1.30×10^{-4} |
| Zinc | 5.47×10^{-5} |

Tabla 2 | Cantidad de sales en la preparación de la solución hidropónica La Molina (LM) en g/ L de agua (UNALM, 2005).

| Macronutrientes | Micronutrientes |
|---------------------|-----------------------------------|
| Nitrógeno (N) 0.19 | Boro (B) 5×10^{-4} |
| Fósforo (P) 0.035 | Cobre (Cu) 1×10^{-4} |
| Potasio (K) 0.21 | Hierro (Fe) 1×10^{-3} |
| Cálcio (Ca) 0.15 | Manganeso (Mn) 5×10^{-4} |
| Magnesio (Mg) 0.045 | Molibdeno (Mo) 5×10^{-5} |
| Azufre (S) 0.070 | Zinc (Zn) 1.5×10^{-4} |

Tabla 3 | Concentración de la solución hidropónica Local (HL) en g/ L de (elaboración propia).

| Macronutrientes | Micronutrientes |
|---------------------|--------------------------------------|
| Nitrógeno (N) 0.21 | Boro (B) 7.79×10^{-5} |
| Fósforo (P) 0.05 | Cobre (Cu) 7.95×10^{-4} |
| Potasio (K) 0.24 | Hierro (Fe) 5.76×10^{-4} |
| Cálcio (Ca) 0.20 | Manganeso (Mn) 3.85×10^{-4} |
| Magnesio (Mg) 0.024 | Molibdeno (Mo) 1.92×10^{-5} |
| Azufre (S) 0.031 | Zinc (Zn) 7.98×10^{-5} |

Los equipos empleados fueron PH-metro, conductivímetro, termómetros, probetas, pipetas y balanza analítica, en tanto que los principales materiales de campo utilizados fueron los recipientes contenedores del sustrato y las soluciones hidropónicas, bandejas para almacigo, tierra del lugar, turba y arena

El estudio fue realizado durante dos ciclos de cultivo, se denominaron Factor A a la solución hidropónica aplicada (a1=FAO, a2=LM, a3=HL), Factor B al sustrato elegido (b1=Arena, b2=Suelo franco) y Factor C a la utilización o no utilización de mecha (c1=con mecha, c2=sin mecha), y se realizó el diseño experimental de completamente al azar con arreglo bifactorial en el primer

ciclo y trifactorial en el segundo, constando el experimento de seis tratamientos con ocho repeticiones. En el primer ciclo solo se consideró “riego con mecha” en tanto que en el segundo se incluyó el “riego sin mecha”, con los factores y tratamientos que se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4 | Tratamientos para el primer y segundo ciclo de cultivo.

| Tratamientos | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1 ^{er} ciclo | 2 ^{do} ciclo |
| T1=a1 , b1 , c1 | T1=a1 , b1 , c1/c2 |
| T2=a2 , b1 , c1 | T2=a2 , b1 , c1/c2 |
| T3=a3 , b1 , c1 | T3=a3 , b1 , c1/c2 |
| T4=a1 , b2 , c1 | T4=a1 , b2 , c1/c2 |
| T5=a2 , b2 , c1 | T5=a2 , b2 , c1/c2 |
| T6=a3 , b2 , c1 | T6=a3 , b2 , c1/c2 |

Las características del área experimental son las siguientes:

- Ancho de la unidad experimental: 1.10 m
- Largo de la unidad experimental: 3.90 m
- Área total de la unidad Experimental: 4.29 m²
- Número total de plantas: 48
- Número total de plantas por m²: 20
- Número total de tratamientos: 6
- Número total de repeticiones: 8

En el desarrollo de la investigación se utilizaron 48 recipientes que consistieron en botellas plásticas, cultivándose una planta de lechuga por botella. Asimismo, para medir la evaporación del agua desde los sustratos se tomaron 6 envases (3 con arena y 3 con suelo franco), pero sin cultivo.

Para construir los recipientes contenedores de los cultivos se utilizaron botellas desechables de 5 litros de capacidad, con base cuadrada de 15 cm de lado y 30 cm de altura, como se muestra en la Figura 1. La mecha atraviesa la abertura del cuello hasta llegar a la solución hidropónica.

Las mechas se trenzaron con material de algodón, por la poca elasticidad de dicho material, elevada absorbencia de agua y por la cantidad de poros que posee, lo que favorece el flujo ascendente de agua.

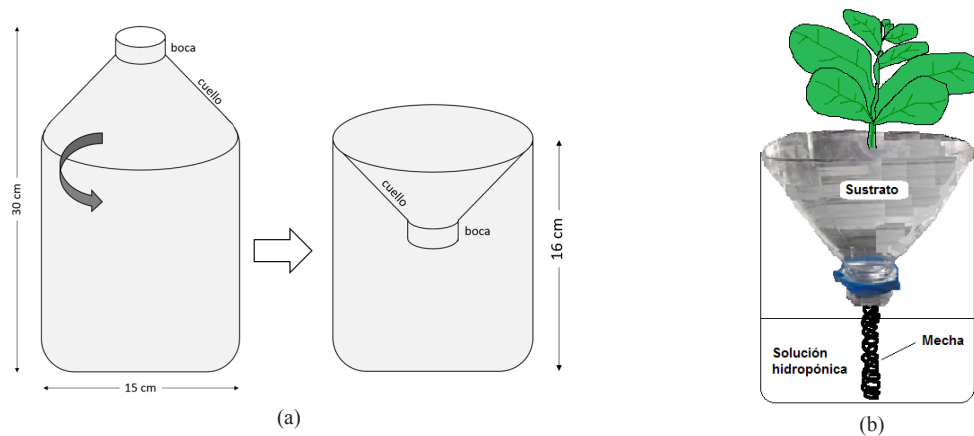


Figura 1 | a) Esquema de transformación de una botella de plástico en el recipiente utilizado, con la boca y cuello invertidos, y b) recipiente conteniendo la solución hidropónica, el sustrato y el cultivo.

Para los sustratos se utilizó tierra del lugar, suelo franco (con 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla), mezclada con turba a una relación de 1:1, realizándose previamente la desinfección con formol al 3%. En la parte superior de cada recipiente se colocaron 0.75 kg de suelo franco o 1.50 kg de arena, según el tratamiento. Una vez que se pusieron los dos diferentes sustratos, se añadieron 650 mL de agua en el suelo franco, hasta capacidad de campo, y 250 mL de agua en el suelo arenoso.

En cada recipiente se añadieron por una sola vez 2700 mL de solución hidropónica, con las formulaciones siguientes:

- La solución nutritiva FAO por recipiente fue preparada inicialmente colocando 5 mL de solución mayor A (macronutrientes) por cada litro de agua y 3 mL de solución menor B (micronutrientes) por cada litro de agua. Cada botella de 2700 mL de solución contenía 13.5 mL de solución mayor y 8.1 mL de solución menor.
- La solución nutritiva La Molina se preparó poniendo en cada botella 5 mL de solución mayor por cada litro de agua y 3 mL de solución menor por cada litro de agua.
- En el caso de la solución nutritiva Local se pusieron 5 mL de solución mayor y 5 mL de solución menor por litro.

Para cada tipo de solución hidropónica se midió el pH y la conductividad eléctrica, siendo el pH medio igual a 6.35 para la FAO, 6.33 para la Molina y 6.27 para la Local, en tanto que la conductividad eléctrica fue de 2.05 para la FAO, 2.26 para la Molina y 2.04 para la Local. Posteriormente, se hizo una única aplicación de agua y nutrientes (solución hidropónica) durante todo el ciclo de cultivo.

Para evitar la evaporación del agua desde los recipientes, así como la incidencia directa del sol, se cubrió la superficie del suelo con láminas delgadas de aluminio.

El trasplante se realizó cuando la plántula alcanzó una altura de entre 5 a 10 cm, con tres hojas verdaderas. En el primer ciclo se efectuó el 26 de marzo y la cosecha el 16 de mayo de 2016 (con una duración de una semana); en el segundo, el trasplante se efectuó el 22 de septiembre y la cosecha el 7 de noviembre de 2016 (también con una semana de duración).

Se determinaron las características agronómicas del cultivo, tales como altura de planta, número de hojas por planta, ancho de hoja, diámetro del tallo, peso fresco y seco de la lechuga cosechada. También se determinaron, en periodos semanales las siguientes variables: el agua consumida por el cultivo (para ello se registró el nivel de descenso del agua en los recipientes que posteriormente fueron convertidos a volumen mediante una probeta), el agua no consumida de los recipientes, la evapotranspiración del cultivo, la transpiración (valor correspondiente al agua consumida puesto que se anuló el componente de evaporación al cubrirse el suelo con láminas de aluminio) y la evaporación (en los envases sin cultivo, a suelo desnudo, se registró el nivel de descenso del agua producto de la evaporación).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA), y cuando se encontraron diferencias significativas en las variables de estudio se procedió a efectuar la prueba de Duncan (Gacula y Singh, 1984).

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos relativos a la altura promedio de las plantas (m), el número promedio de hojas por planta, el ancho promedio de las hojas (cm), el diámetro promedio del tallo (cm), el peso fresco promedio y el peso seco promedio de la parte aérea (g).

El ANOVA para un $p=0.01$ para el primer y segundo ciclo, se muestran en la Tabla 6.

De acuerdo con los registros de altura de plantas, en el primer ciclo se verificaron diferencias altamente significativas entre las soluciones hidropónicas y los sustratos, así como en la interacción solución - sustrato. Según la prueba de Duncan, la mayor altura se obtuvo con la solución hidropónica FAO, siguiéndole La Molina y la Local. Con relación a los sustratos, en el suelo franco se tuvo mejor comportamiento que en la arena. En el segundo ciclo se observaron diferencias altamente significativas para las soluciones hidropónicas, sustratos, y para las interacciones solución - sustrato, mecha - sustrato y mecha - solución - sustrato, pero no se observaron diferencias con mecha y sin mecha, y en la interacción mecha - solución. La altura media de las plantas siguió la

misma tendencia que en el primer ciclo, siendo superior cuando se utilizó la solución hidropónica FAO. Con relación a los sustratos, el suelo arenoso dio mejores resultados que el franco.

Tabla 5 | Valores promedio relativos a la altura de las plantas (m), el número de hojas por planta, el ancho de las hojas (cm), el diámetro del tallo (cm), el peso fresco y el peso seco de la parte aérea (gr), en cada tratamiento, para el primer ciclo (PC), y el segundo ciclo con mecha y sin mecha (SCcm y SCsm, respectivamente).

| Tratamiento | Altura de plantas (m) | | Número de hojas por planta | | Ancho de hojas (cm) | | Diámetro del tallo (cm) | | Peso fresco de la parte aérea (g) | | Peso seco de la parte aérea (g) | |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------------|----------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|
| | PC | SCcm | PC | SCcm | PC | SCcm | PC | SCcm | PC | SCcm | PC | SCcm |
| | T1 | 18.28 | 28.96 26.90 | 21.13 | 25.67 26.33 | 18.33 | 21.98 21.45 | 2.23 | 2.58 2.35 | 91.64 | 99.67 103.87 | 9.57 |
| T2 | 15.75 | 22.65 23.15 | 19.50 | 21.83 21.67 | 15.20 | 16.07 16.10 | 1.93 | 2.02 1.95 | 66.52 | 71.25 73.58 | 7.93 | 8.43 8.41 |
| T3 | 16.68 | 19.95 19.80 | 17.38 | 20.00 18.67 | 13.43 | 14.83 14.58 | 1.32 | 1.67 1.47 | 57.32 | 60.34 59.57 | 5.28 | 5.22 5.12 |
| T4 | 22.15 | 26.89 28.07 | 20.75 | 26.83 23.17 | 17.35 | 20.87 20.97 | 2.21 | 2.52 2.45 | 88.36 | 98.21 95.02 | 9.44 | 10.70 10.49 |
| T5 | 17.31 | 23.33 23.85 | 19.38 | 21.67 20.67 | 16.28 | 17.13 16.62 | 2.08 | 2.15 2.13 | 62.81 | 80.08 80.50 | 6.06 | 6.55 6.60 |
| T6 | 15.68 | 22.10 22.75 | 17.88 | 20.50 19.17 | 12.85 | 14.07 13.57 | 1.51 | 1.53 1.65 | 59.48 | 63.90 61.17 | 4.50 | 4.80 4.49 |
| CV | 4.08 | 2.63 | 6.73 | 3.63 | 5.47 | 4.89 | 10.56 | 11.42 | 3.48 | 6.01 | 10.21 | 13.6 |

CV=Coefficiente de variación.

Tabla 6 | Resultado del Análisis de Varianza para la altura de las plantas (m), el número de hojas por planta, el ancho de las hojas (cm), el diámetro del tallo (cm), el peso fresco y el peso seco de la parte aérea (gr), en cada tratamiento, en el primer y el segundo ciclo.

| Fuente de variación | Altura de plantas (m) | | Número de hojas por planta | | Ancho de hojas (cm) | | Diámetro del tallo (cm) | | Peso fresco de la parte aérea (g) | | Peso seco de la parte aérea (g) | |
|-------------------------|-----------------------|----|----------------------------|----|---------------------|----|-------------------------|----|-----------------------------------|----|---------------------------------|----|
| | PC | SC | PC | SC | PC | SC | PC | SC | PC | SC | PC | SC |
| Mecha | - | NS | - | ** | - | NS | - | NS | - | NS | - | NS |
| Solución | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| Sustrato | ** | ** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | ** | NS |
| Mecha-Solución | - | NS | - | NS | - | NS | - | NS | - | NS | - | NS |
| Mecha-Sustrato | - | ** | - | ** | - | NS | - | NS | - | NS | - | NS |
| Solución-Sustrato | ** | ** | ** | NS | NS | ** | NS | NS | NS | ** | ** | NS |
| Mecha-Solución-Sustrato | - | ** | - | ** | - | NS | - | NS | - | NS | - | NS |

**=Diferencia altamente significativa; NS=Diferencia no significativa.

Respecto al número medio de hojas por planta en el primer ciclo se determinaron diferencias altamente significativas en la solución y en la interacción solución - sustrato, pero no en el sustrato. Dichos valores fueron superiores para la solución FAO, luego La Molina y finalmente la Local. En el segundo ciclo hubo diferencias altamente significativas para la variable mecha (con y sin), para la solución, y para las interacciones mecha – sustrato, mecha – solución – sustrato, en cambio no hubo diferencias significativas en el sustrato, en la interacción mecha – solución, y solución – sustrato. En el sistema de cultivo con mecha el número medio de hojas por planta fue de 22.75 y sin mecha fue 21.61, con referencia a las soluciones, al igual que en el primer ciclo, se obtuvo mejores resultados para la solución FAO.

De acuerdo con los valores medios de ancho de hoja, en el primer ciclo hubo diferencias altamente significativas únicamente para la solución hidropónica, obteniéndose valores más altos para la solución FAO, La Molina y Local (en ese orden). En el segundo ciclo hubo diferencias altamente significativas para la solución y para la interacción solución – sustrato. En cambio, no se detectaron

diferencias para la mecha, sustrato y para las interacciones mecha – solución, mecha – sustrato, y mecha – solución – sustrato. La tendencia de resultados fue la misma en el segundo ciclo. Respecto a la interacción solución – sustrato, los valores más altos fueron alcanzados para la interacción solución FAO – suelo franco, y el menor valor para la Local – arena.

Con relación al diámetro del tallo, en el primer ciclo se encontraron diferencias altamente significativas únicamente para la variable solución hidropónica, con valores superiores para la solución FAO, luego La Molina y Local. De la misma manera en el segundo ciclo solamente se observaron diferencias altamente significativas para la solución hidropónica, con la misma tendencia que el primer ciclo.

Respecto a los valores medios de peso fresco de las hojas de lechuga, en el primer ciclo solamente hubo diferencias altamente significativas entre las soluciones, y no así para el sustrato ni para la interacción solución – sustrato, siendo superiores los valores para la solución FAO. En el segundo ciclo hubo diferencias altamente significativas para la solución y para la interacción solución – sustrato, y no así para la mecha, para el sustrato, tampoco para las interacciones mecha – solución, mecha – sustrato y mecha – solución – sustrato. Los pesos medios también fueron superiores cuando se utilizó la solución FAO. En cuanto a la interacción solución – sustrato se encontraron valores mayores para la solución FAO – suelo franco, y los valores más bajos para la solución Local – suelo franco.

Con relación al peso seco de las hojas de lechuga, en el primer ciclo hubo diferencias altamente significativas en las variables solución, sustrato y para la interacción solución - sustrato. Los valores medios fueron superiores para la solución FAO, luego La Molina y Local. En cuanto a los sustratos en la arena se obtuvo mejores resultados que en el suelo franco. En la interacción solución – sustrato el que mejor se comportó fue la solución FAO - arena. En el segundo ciclo en la solución FAO se obtuvo los mejores resultados.

Por tanto, la solución hidropónica que permitió obtener mayores rendimientos y mejores características agronómicas fue la recomendada por la FAO, seguida por la solución la Molina y la Local, toda vez que la primera probablemente fue la mejor balanceada pero la más onerosa y la última fue la que tuvo menor costo.

Debido a que las condiciones climáticas fueron mejores durante el segundo ciclo (principalmente temperatura), el cultivo mostró mejores características agronómicas y rendimiento, así como una menor duración del periodo vegetativo.

Respecto a las variables de rendimiento y productividad del agua por transpiración, en las tablas 7 y 8 están expuestos, respectivamente, los resultados obtenidos en el primer y en el segundo ciclo del cultivo, utilizando el riego por mecha. Además, la segunda cifra de cada casilla de la Tabla 8 muestra los resultados obtenidos para los mismos tratamientos, pero sin el uso del riego por mecha, en el segundo ciclo de cultivo. En el primer ciclo la productividad del agua varió de 25.33 g de peso fresco/L (Local) a 40.16 g/L (FAO), en tanto que en el segundo ciclo dicha variación fue de 25.91 g/L (Local) a 42.07 g/L (FAO). Al respecto Sammis *et al.* (1988) encontraron una productividad para la lechuga de 24 g/L, en condiciones de riego por goteo y frecuencia diaria de riego. Por su parte, Gallardo *et al.* (1996) obtuvieron 48 g/L bajo riego por aspersión, pero para la lechuga crespa arropollada, que se caracteriza por su elevado rendimiento.

Tabla 7 | Resultados obtenidos en el primer ciclo de cultivo aplicando riego por mecha.

| | Rendimientos promedio de materia fresca (g/planta) | Rendimientos promedio de materia seca (g/planta) | Consumo total de agua promedio (cm ³ /planta) | Productividad del agua (g/litro) |
|-------|--|--|--|----------------------------------|
| A-FAO | 91.64 | 9.57 | 2281.88 | 40.16 |
| A-LM | 66.52 | 7.93 | 2301.38 | 28.90 |
| A-HL | 57.32 | 5.28 | 2262.88 | 25.33 |
| F-FAO | 88.36 | 9.44 | 2335.13 | 37.84 |
| F-LM | 62.81 | 6.06 | 2333.00 | 26.92 |
| F-HL | 59.48 | 4.50 | 2294.88 | 25.92 |

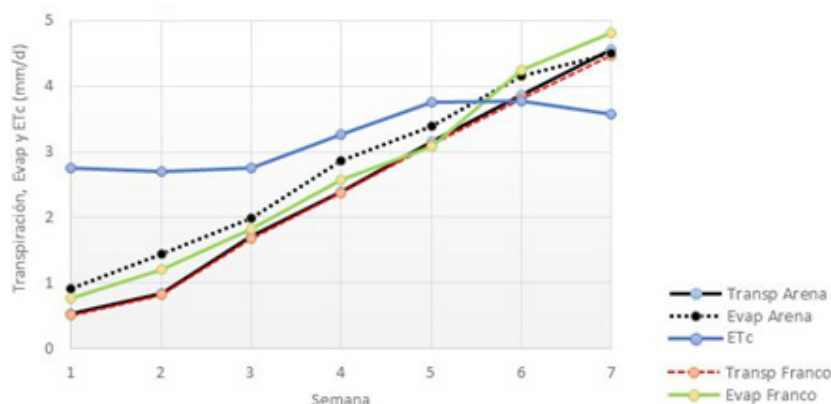
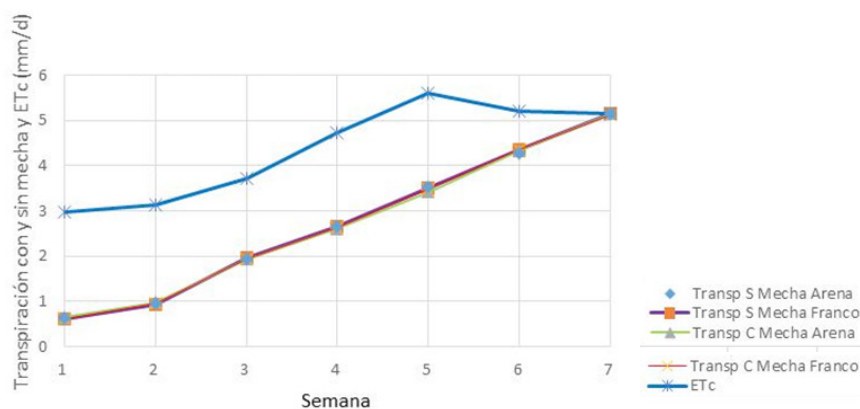
A=Suelo arenoso; F=Suelo franco; FAO=Solución hidropónica FAO; LM=Solución hidropónica La Molina; HL=Solución hidropónica local.

Tabla 8 | Resultados obtenidos en el segundo ciclo de cultivo aplicando riego por mecha / sin riego por mecha.

| | Rendimientos promedio de materia fresca (g/planta) | Rendimientos promedio de materia seca (g/planta) | Consumo total de agua promedio (cm ³ /planta) | Productividad del agua (g/litro) |
|-------|--|--|--|----------------------------------|
| A-FAO | 98.21 / 95.02 | 10.70 / 10.49 | 2468.83 / 2442.33 | 39.78 / 38.91 |
| A-LM | 80.08 / 80.50 | 6.55 / 6.60 | 2353.67 / 2373.33 | 34.02 / 33.92 |
| A-HL | 64.04 / 61.17 | 4.80 / 4.49 | 2246.17 / 2295.50 | 28.51 / 26.65 |
| F-FAO | 99.67 / 103.87 | 10.39 / 10.57 | 2465.17 / 2469.17 | 40.43 / 42.07 |
| F-LM | 71.25 / 73.58 | 8.43 / 8.41 | 2327.50 / 2359.17 | 30.61 / 31.19 |
| F-HL | 60.34 / 59.57 | 5.22 / 5.12 | 2291.00 / 2299.00 | 26.34 / 25.91 |

En las Figuras 2 a 4 se muestran las intensidades de transpiración, evaporación y evapotranspiración del cultivo (ETc) para los dos ciclos de producción. Cabe aclarar que la ETc calculada representa al consumo de agua por evaporación y transpiración, sin embargo, en los recipientes con cultivo sólo hubo consumo de agua por transpiración, por lo que no se determinó la influencia del Kc sobre los umbrales de ETc.

La intensidad transpirativa fue similar en ambos ciclos y para los dos tratamientos, con y sin mecha, sin embargo, en las primeras semanas después del trasplante hubo mayor consumo de agua en los sistemas con mecha, posteriormente, se invirtió el proceso debido a que en los sistemas sin mechas para la absorción de agua descendió un abundante sistema radicular hasta la solución nutritiva, funcionando este como mecha. Escarabajal-Henarejos *et al.* (2015), observaron una buena relación entre la profundidad radicular y el porcentaje de suelo cubierto por la planta de lechuga. Con referencia a la intensidad evaporativa del suelo se puede advertir que fue mayor en el suelo arenoso en ambos ciclos, y en el segundo ciclo fue mayor en los sistemas con mecha.

**Figura 2** | Intensidad de transpiración, evaporación y ETc en el cultivo de lechuga, con riego por mecha (primer ciclo).**Figura 3** | Intensidad de transpiración con y sin mecha, y ETc en el cultivo de lechuga (segundo ciclo).

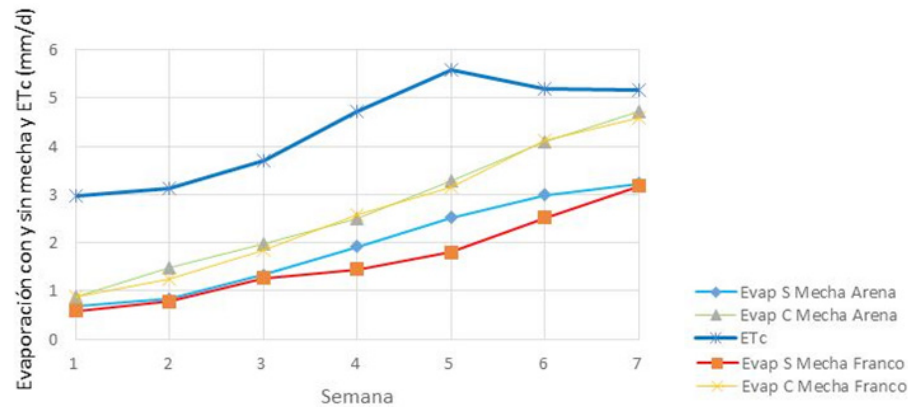


Figura 4 | Intensidad de evaporación con y sin mecha, y ETC en el cultivo de lechuga (segundo ciclo).

Respecto a la cantidad total de agua transpirada por las plantas, en el segundo ciclo fue mayor, motivo por el cual se obtuvieron mejores rendimientos.

En cuanto al consumo de agua por transpiración por el cultivo en el primer ciclo hubo diferencias altamente significativas para las variables solución y sustrato, y no así para la interacción solución – sustrato. El consumo medio total de agua por planta fue de 2317.19 cm³, 2308.51 cm³ y 2278.88 cm³, para La Molina, FAO y Local, respectivamente. Los consumos fueron similares en la FAO y La Molina, pero mayores que la Local. En el suelo franco se tuvo el mayor consumo medio (2321.00 cm³) que en arena (2282.05 cm³). En el segundo ciclo hubo diferencias altamente significativas solamente para la solución y no así para las otras variables e interacciones. El consumo medio total de agua por planta fue de 2467.00 cm³ con mecha y 2455.75 cm³ sin mecha para la solución FAO; 2340.59 cm³ con mecha y 2366.25 cm³ sin mecha para la solución La Molina; y 2268.59 cm³ con mecha y 2297.25 cm³ sin mecha para la Local.

Comparando los volúmenes y láminas de agua consumidas por transpiración y evaporación (Figuras 5 y 6) se puede indicar que en general la evaporación fue mayor que la transpiración, a excepción del sistema sin mecha en el segundo ciclo, donde la transpiración superó a la evaporación, por el descenso del sistema radicular. Respecto a la evaporación del agua en los dos tipos de suelos, esta variable fue mayor en el suelo arenoso, en tanto que la transpiración fue similar en ambos suelos. Kamalam (2016) afirma que en el riego por mecha el humedecimiento ocurre en la parte inferior del sustrato (zona radicular) y la superficie permanece normalmente seca, actuando como “mulch” siendo casi nula la pérdida de agua por evaporación, además se crea un ambiente adecuado en la zona radicular por la aireación del suelo.

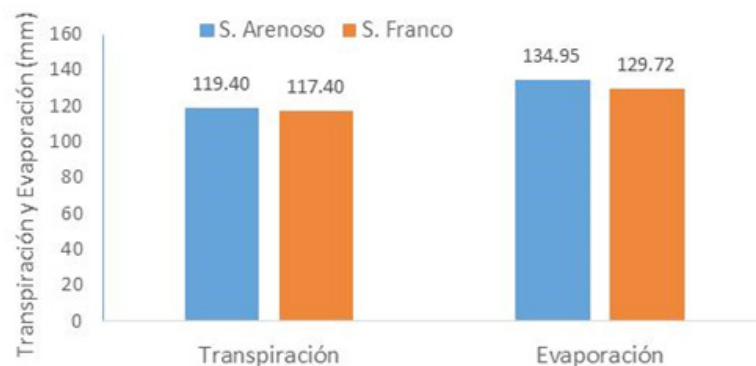


Figura 5 | Lámina de agua consumida por transpiración y evaporación en el cultivo de lechuga, con riego por mecha (primer ciclo).

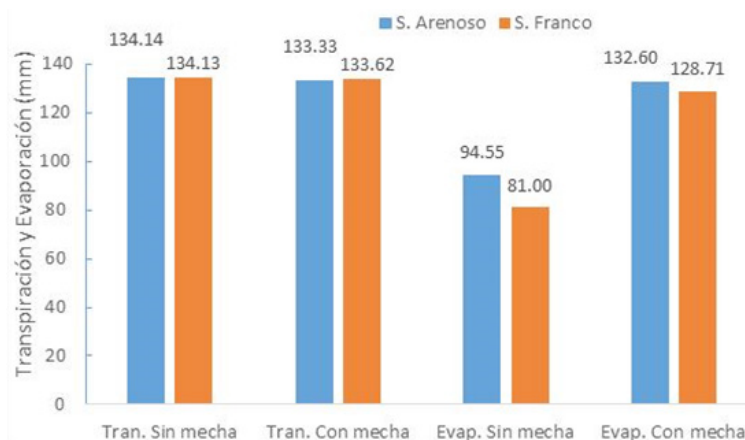


Figura 6 | Lámina de agua consumida por transpiración y evaporación en el cultivo de lechuga, con y sin mecha (segundo ciclo).

Con base en los resultados expuestos se puede indicar que en el riego por mecha el uso consuntivo del agua se circunscribió a la transpiración, haciendo que el consumo de agua sea bajo en relación con otros sistemas de cultivo de lechuga, como por ejemplo riego por goteo, hidroponía, etc. Al respecto Kamalam (2016) indica que el riego por mecha es una tecnología de bajo costo/sin costo cuando se compara con otros métodos de riego, además no está involucrado ningún costo de electricidad. Se suma a estas ventajas el reciclaje de las botellas de plástico.

CONCLUSIONES

Las características agronómicas (altura de plantas, número de hojas, ancho de hojas y diámetro de tallo) fueron superiores en el segundo ciclo, lo que permitió obtener mejores rendimientos.

Al tratarse de soluciones hidropónicas, el tipo de suelo solo afectó significativamente la altura de las plantas, peso seco de la parte aérea (primer ciclo) y consumo de agua por evaporación

El consumo de agua en los sistemas de riego con mecha y sin mecha, fue similar, y al cubrirse la superficie del suelo de los recipientes, se disminuyó notablemente la evaporación, siendo el único uso consuntivo el correspondiente a la transpiración.

El rendimiento y características agronómicas del cultivo fueron superiores en la solución nutritiva de la FAO, comparado con La Molina y con la Local.

En el sistema de riego por mecha, se hizo una sola aplicación de agua y nutrientes, por lo que hubo ahorro de mano de obra y energía..

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo proporcionado por el Proyecto de Establecimiento del Centro de Capacitación e Investigación en Gestión Sostenible del Agua y Riego en Regiones Áridas y Semiáridas (FISAR), financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

REFERENCIAS

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper 56*, FAO, Rome.
- Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J.M., Fernández-Pacheco, D.G., García-Mateos, G. 2015. Methodology for obtaining prediction models of the root depth of lettuce for its application in irrigation automation. *Agricultural Water Management*, 151, 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.012>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2003. *La Huerta Hidropónica Popular*, Manual Técnico. 3ra Edición. Santiago, Chile. p. 131.
- Gacula, M.C., Singh, J. 1984. *Statistical methods in food and consumer research*. Academic Press Inc., Orlando. P. 505.
- Gallardo, M., Jackson, L.E., Schulbach, K. 1996. Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irrigation Science*, 16, 125-137. <https://doi.org/10.1007/BF02215620>
- Gutiérrez, T.J. 2011. *Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México. 66 p.
- Kamalam, J. 2016. *Wick Irrigation – A smart and user – friendly irrigation method for container grown plants*. SB Academic Review. XIX. OA1.: 17-21.
- Kuntz, L.B. 2013. *Wick Irrigation Systems for Subsistence Farming*. Massachusetts Institute of Technology. U.S.A. 61 p.
- Rodríguez, D. 2009. *El consumo de agua del cultivo en su máximo estado de desarrollo*. Lima, Perú. p. 35.
- Sammis, T.W., Kratky, B.A., Wu, I.P. 1988. Effects of limited irrigation on lettuce and chinese cabbage yields. *Irrigation Science*, 9, 187-198. <https://doi.org/10.1007/BF00275431>
- Sanchez, F., Escalante, E. 1988. *Hidroponía: Principios y métodos de cultivo*. Ed. Imprenta Universitaria, Universidad Autónoma de Chapingo, México. p 194.
- UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina). 2005. Centro de Investigación de Hidroponía y nutrición Mineral. Solución Nutritiva La Molina. Lima – Perú. Disponible en http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol_presentacion.htm