



Sexto
Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



Artículo: COMEII-21032

Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021

MANEJO DEL RIEGO PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN Y LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE TOMATE

Javier Ezcequiel Colimba Limaico^{1*}; Sergio Zubezu Mingez²; Leonor Rodríguez Sinobas³

¹Doctorante, Grupo de investigación Hidráulica del Riego, Universidad Politécnica de Madrid. Av. Complutense s/n, C.P. 28040, Madrid, España.

javier.colimba.limaico@alumnos.upm.es - +593 999571363 (*Autor de correspondencia)

²Profesor Asistente, Grupo de investigación Hidráulica del Riego, Universidad Politécnica de Madrid. Av. Complutense s/n, C.P. 28040, Madrid, España.

³Profesor Titular, Grupo de investigación Hidráulica del Riego, Universidad Politécnica de Madrid. Av. Complutense s/n, C.P. 28040, Madrid, España.

Resumen

El tomate es una hortaliza que se cultiva en todo el mundo, y se considera como un producto de consumo masivo. En el Ecuador la mayor producción de este cultivo se concentra en la región Sierra, donde es cultivado a campo abierto y bajo invernadero. Uno de los principales problemas que enfrentan los productores aparte de la escasez de agua, es el manejo inadecuado de este recurso. En este sentido el objetivo de esta investigación fue desarrollar una estrategia que permita obtener un balance entre la producción, calidad del fruto y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de tomate de invernadero. La investigación se llevó a cabo en la localidad de Natabuela, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura. En el primer experimento se evaluaron cuatro láminas de agua y dos frecuencias de riego; en el segundo experimento se evaluaron las dos mejores láminas de agua del primer ensayo con cuatro frecuencias de riego. Los resultados evidencian que una disminución en la dosis de riego disminuye el rendimiento, pero incrementa la calidad del fruto y la eficiencia en el uso del agua. Por otra parte, un incremento en la frecuencia de riego proporciona una mayor estabilidad de la humedad del suelo, lo que minimiza el riesgo de estrés hídrico en la planta. Finalmente se logró desarrollar una estrategia de riego que permite obtener un balance entre la producción, calidad del fruto y la eficiencia en el uso del agua.

Palabras claves: láminas de agua, frecuencias de riego, riego por goteo, dosis de riego.



Introducción

El tomate es una hortaliza ampliamente cultivada a nivel mundial. Siendo China, India y Nigeria los países que tienen una mayor área cosechada. Mientras que, Ecuador cuenta con una superficie cosechada de 1401 ha (FAOSTAT, 2021). A nivel nacional, la región Sierra abarca el 76.6% del área sembrada de tomate. Las provincias de Carchi, Chimborazo y Azuay cuentan con una mayor área de producción (INEC, 2019).

En la provincia de Imbabura, Antonio Ante es el cantón que cuenta con una mayor área de producción de tomate. De la cual el 85.71% se hace bajo invernadero (Vinueza, 2007). El tomate es un cultivo que demanda altas cantidades de agua para su producción (Patané et al., 2011; Nangare et al., 2016; Du et al., 2017). A nivel mundial el agua se ha convertido en un recurso económico escaso en muchas regiones especialmente en zonas áridas y semi áridas (Buttaro et al., 2015 citados por Wu et al., 2021).

En el Ecuador este problema también se hace visible. Para el año 2010 la demanda de agua de riego a nivel país fue de 13 045 hm³ y se estima que este valor ascenderá a 16 796 hm³ en 2025 (SENAGUA, 2019). Según el Instituto Espacial Ecuatoriano (2013) solo el 50.54% de la zona de producción agropecuaria del cantón Antonio Ante cuenta con agua de riego. Por lo tanto, la escasez de este recurso se ha convertido en un factor limitante para la producción agrícola en este cantón.

Además de la escasez de agua, los productores agrícolas del cantón Antonio enfrentan otro problema, el uso inadecuado de este recurso. En primer lugar, no conocen el requerimiento hídrico del cultivo. Lo que les conlleva a aplicar agua en exceso o en defecto, siendo el exceso lo que se encuentra con mayor frecuencia.

Este problema no es específico de esta zona. A nivel mundial este problema lo tienen la mayoría de agricultores. Li et al. (2017) citado por Wu et al. (2021) manifiestan que los agricultores de la localidad donde realizaron su investigación regaban siempre en exceso el tomate de invernadero para lograr un alto rendimiento. Esto, no solo conduce al desperdicio de agua de riego, sino que también empeora el equilibrio entre oferta y demanda de los recursos hídricos.

En segundo lugar, los productores de tomate riegan con frecuencias que no han sido establecidas técnicamente. Sino en función de factores ajenos al cultivo, como, por ejemplo: alargan la frecuencia de riego, afirmando que no tienen tiempo para regar todos los días. Y en otros casos, proporcionan riegos diarios con grandes cantidades de agua, con la creencia de que al mantener el suelo saturado de humedad obtendrán una mejor producción. Esto resulta contradictorio en una zona que carece de agua de riego, donde la mitad de los suelos agrícolas no cuenta con este recurso para poder producir.

Al ser este un problema global, muchos investigadores ha realizado trabajos que persiguen establecer una dosis de agua (Abdel-Razzak et al., 2016; Wang & Xing, 2017; Al-Harbi et al., 2018; Shabbir et al., 2020; Wu et al., 2021) que permita mejorar la eficiencia en el uso del agua en tomate, y que a su vez mejore la calidad interna de la fruta. Sin embargo, pese a lograr esto, en la mayoría de los casos el volumen de producción se ve seriamente afectado, ya que no es posible que una alta eficiencia en el uso del agua vaya acompañada de altos rendimientos (Wang & Xing, 2017).

Por otra parte, Liu et al. (2013), Rebouças et al. (2017), Fara et al. (2019), Liu et al. (2019), Oke et al. (2020) han realizado investigaciones en las cuales además establecer la dosis

de agua adecuada también han tratado de establecer la mejor frecuencia de riego para el cultivo de tomate bajo invernadero.

Si bien es cierto, según las investigaciones antes citadas, al reducir la dosis de agua se aumenta su eficiencia de uso, y también se mejora la calidad interna de la fruta. Esto hasta cierto punto podría considerarse como beneficioso, sin embargo, no es viable desde el punto de vista de la sustentabilidad. Puesto que, si por obtener una alta eficiencia en el uso del agua se obtienen bajos rendimientos, la rentabilidad del agricultor se vería seriamente afectada.

En este sentido el objetivo principal de esta investigación es establecer una estrategia que permita obtener un balance entre la producción, calidad y eficiencia en el uso del agua, en el cultivo de tomate de invernadero. Y así de esta manera poder hacer un uso racional del agua sin afectar la producción y la economía del agricultor.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en dos campañas. La primera, de septiembre de 2019 a marzo de 2020, y la segunda de junio a diciembre de 2020. Ambas campañas se llevaron a cabo en un invernadero metálico con cubierta de plástico, ubicado en la parroquia de Natabuela, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura.

El invernadero tiene 24.50 m de largo y 14.50m de ancho, con una superficie de 355 m²; las parcelas de siembra tuvieron una superficie de 8.96 m² (6.40m x 1.40m).

La localidad se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas: latitud 0° 20' 16.67" N y longitud 78° 12' 0.65" O, a una altitud de 2445 msnm.

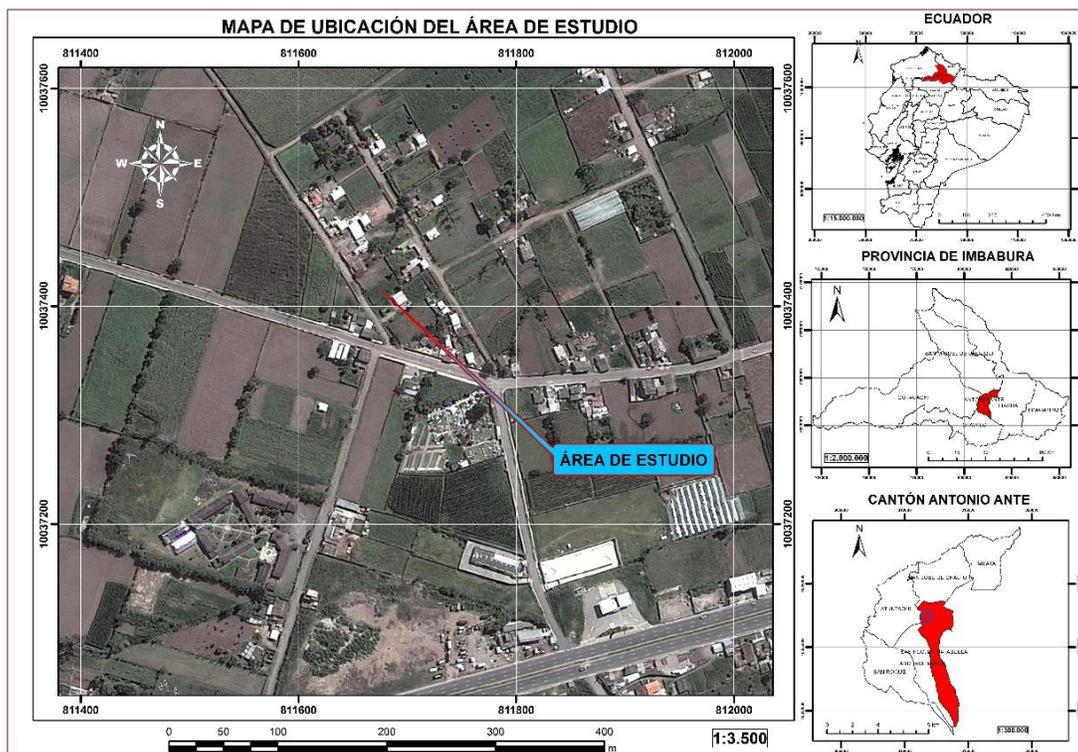


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



Diseño experimental

En la primera campaña, los factores estudiados fueron; frecuencias de riego (uno y dos riegos al día) y cuatro láminas de agua (80, 100 y 120% de la ETc diaria, lámina del agricultor).

En total se evaluaron 8 tratamientos, para el efecto se utilizó un diseño de parcelas divididas bajo una distribución de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Los factores estudiados en la segunda campaña fueron dos dosis de agua correspondientes al 100 y 120% de la ETc (las mejores del primer ensayo), y cuatro frecuencias de riego, dos riegos al día, un riego cada día, un riego cada dos días y un riego cada tres días.

Los 8 tratamientos fueron evaluados mediante un diseño factorial 2 x 4 bajo una distribución de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones.

En ambos experimentos, para la separación de medias se utilizó la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

Estimación de las necesidades hídricas del cultivo

Para estimar la evapotranspiración del cultivo en condiciones de invernadero, se utilizó la siguiente fórmula (Allen, 2006):

$$ETc = ETo * Kc \quad (1)$$

Donde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹),
ETo= Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹),
Kc= Coeficiente de cultivo.

Así mismo para estimar la ETo se usó la fórmula:

$$ETo = Epan * kp \quad (2)$$

Donde:

E_{pan}= Evaporación del tanque evaporímetro (mm día⁻¹),
kp= Coeficiente del tanque evaporímetro.

La medición de la E_{pan} se realizó mediante una cubeta de evaporación plástica de 20 L de capacidad, que ha sido calibrada en el Ecuador con el tanque de evaporación clase A (Sivisaca, 2013). Esta cubeta tiene 0.31m de diámetro y 0.31m de profundidad, y estuvo ubicada en la parte central del invernadero, se realizaron mediciones diarias (7:00 de la mañana). El valor de la evaporación fue multiplicado por el coeficiente del tanque (Kp) que en este caso tuvo el valor de 1.0 (AAIC, 2004; Macías, 2009; Zhai, et al., 2010).

Una vez obtenida la ETo, fue multiplicada por el Kc, valores tomados de Allen (2006) y Llumiluisa (2017).



Variables evaluadas

En los dos experimentos las variables evaluadas fueron las siguientes:

Altura de plantas

En el primer ensayo la altura de plantas se midió a los 150 días después del trasplante, se seleccionaron 10 de las 16 plantas de cada parcela (parcela neta), dejando fuera 3 plantas del inicio y tres del final. Se utilizó una cinta métrica con la cual se midió en centímetros desde la base del tronco hasta el punto de inserción del último racimo.

Para el segundo ensayo se utilizó la misma metodología, con la única diferencia que las mediciones se hicieron a los 60 y 90 días después del trasplante.

Diámetro de tallo (vigor de la planta)

En los dos experimentos para medir el diámetro del tallo se utilizó un calibrador digital tipo vernier (0.005mm de tolerancia), con el cual se midió en milímetros a la altura del octavo racimo. Las mediciones se hicieron las 150 y 137 días, en el primer y segundo experimento, respectivamente.

Grados Brix

Para medir los grados Brix, se tomaron 3 frutos de cada parcela neta, teniendo en cuenta que todos tuvieran el mismo tamaño y color (grado de madurez). En seguida se extrajo el jugo de los tres tomates utilizando un extractor marca Homissi modelo PC-700. Posteriormente se tomó una muestra de jugo y se midió directamente en un refractómetro digital marca HANNA modelo HI96801, con escala de 0 – 85%.

Acidez titulable

Con el mismo extracto utilizado para medir los grados Brix, se determinó la acidez titulable siguiendo la metodología utilizada por Rivera (2011). El resultado se expresó en porcentaje de ácido cítrico.

Tanto la acidez titulable como los grados Brix, se midieron por dos ocasiones en el primer ensayo, y por tres ocasiones en el segundo experimento.

Rendimiento

Para el cálculo de la producción se sumó la producción obtenida de la parcela neta en todas las cosechas. Posteriormente se clasificó en 6 categorías, 4 por peso y dos por calidad externa (partidos y deformes). La producción total correspondió a la suma de las 6 categorías, mientras que, para la producción comercial se tomó en cuenta las categorías primera, segunda y tercera. La producción se cuantificó en kilogramos por planta.

Cuadro 1. Categorías para clasificación de tomate

Categoría	Peso (g)
Primera	> 150
Segunda	100 – 150
Tercera	70 - 100
Bolas	< 70

Fuente: Mercado mayorista, Ibarra, Ecuador.

Eficiencia en el uso del agua

Para determinar la eficiencia en el uso del agua se utilizó la siguiente fórmula (Macías, 2009):

$$EUA = \frac{Pt}{I} \quad (3)$$

Donde:

EUA= Eficiencia en el uso del agua

Pt= Producción total /comercial (kg planta⁻¹),

I= Volumen total de agua aplicado (m³ planta⁻¹).

Resultados y Discusión

Requerimiento hídrico del cultivo

La figura 2 muestra los resultados de la medida diaria de la evaporación correspondiente al primer experimento. Se observa que tienen gran variabilidad, dado que en la zona de estudio las condiciones climáticas puedan variar drásticamente, de un día para otro. Las variaciones máxima y mínima observadas fueron 5.50 y 0.40mm, respectivamente.

Así mismo en la figura 2 se presenta el comportamiento de la evapotranspiración del cultivo en el primer experimento. Observándose que también puede variar de un día para otro al igual que la evaporación de la cubeta, dado que la primera se obtiene a partir de la segunda multiplicada por el Kc. Sin embargo, visto desde otra perspectiva, la ETc es menor en la fase inicial del cultivo, aunque la evaporación fuera alta, puesto que su Kc (0.55) es el menor de todas las fases fisiológicas.

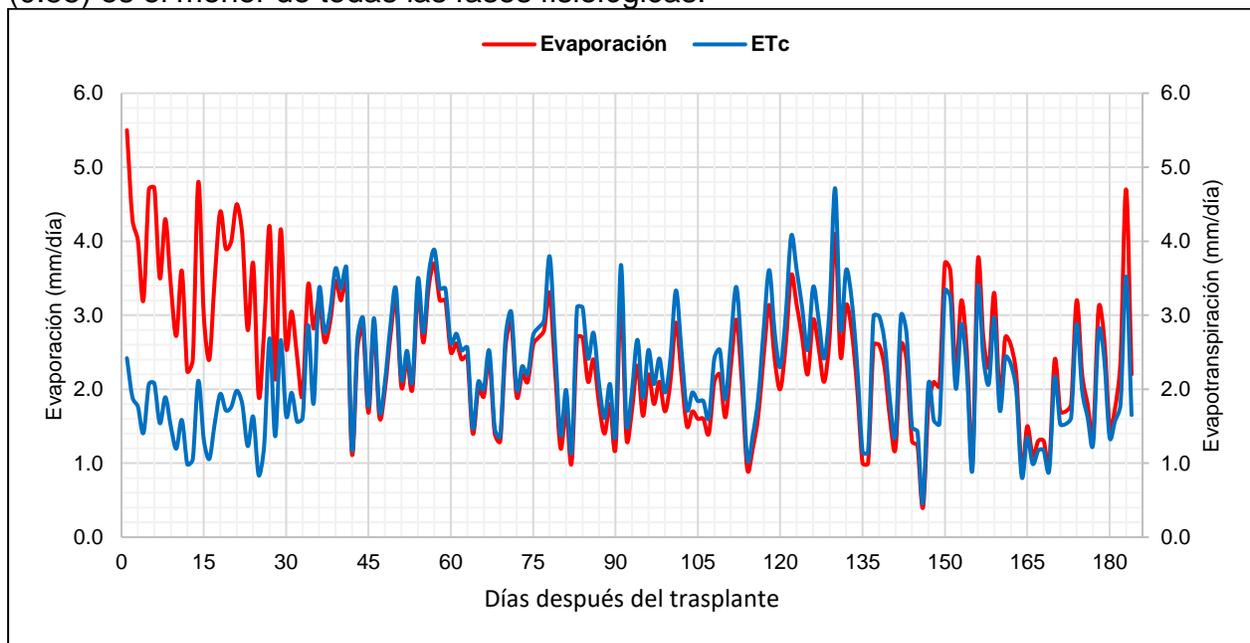


Figura 2. Comportamiento diario de la evaporación y evapotranspiración, primer experimento.

En la figura 3 se observa, que durante el segundo experimento, al igual que en el primero, existe una alta variabilidad en el comportamiento de la evaporación y de la evapotranspiración del cultivo, debido a la gran variabilidad climática de la zona.

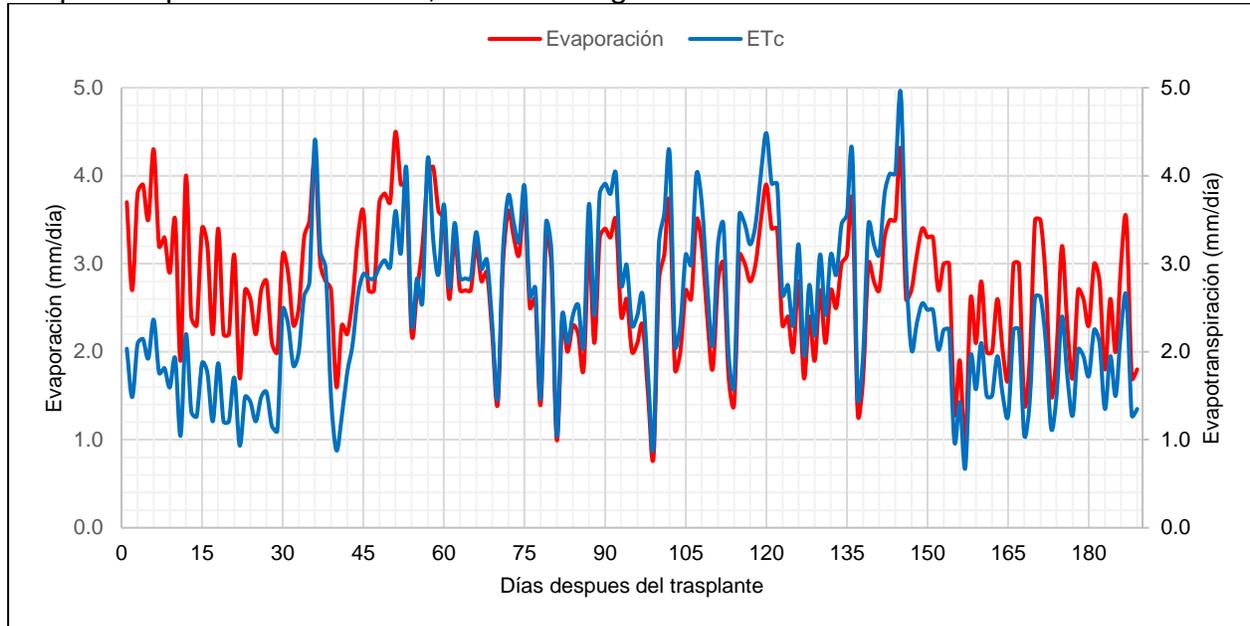


Figura 3. Comportamiento diario de la evaporación y evapotranspiración, segundo experimento.

Altura de planta

En el primer experimento, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas para frecuencias de riego, pero si para las dosis de agua. El cuadro 2 muestra que la lámina aplicada por el agricultor de la zona (516mm) y la correspondiente al 120% de la ETc (428mm) obtuvieron plantas con mayor altura 179.9 y 176.32 cm, respectivamente, mientras que, la menor altura correspondió a la lámina del 80% de la ETc (294mm).

Cuadro 2. Prueba de Duncan ($p < 0.05$) para láminas de agua en la variable altura de planta.

Láminas (mm)	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)	
	Media	Rango	Media	Rango
516 (L4)	179.90	A	13.34	A
428 (L3)	176.32	AB	13.19	A
362 (L2)	174.06	BC	11.63	B
294 (L1)	172.45	C	10.40	C

Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes

En el segundo experimento, no se detectaron diferencias significativas para ninguno de los factores de estudio.

Diámetro de tallo

En el primer experimento, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas para frecuencia de riegos, pero si para láminas de agua. En el cuadro 2 se observa las diferencias existentes en el diámetro del tronco para cada lámina de agua, siendo las



láminas L4 y L3 las que presentan un mayor diámetro con 13.34 y 13.19mm, respectivamente, mientras que, la lámina L1 fue la menor con 10.40mm.

En el segundo experimento, se encontraron diferencias altamente significativas tanto para láminas como para frecuencias de riego. La lámina L2 presenta el valor más alto de diámetro de tallo, este resultado coincide con el obtenido en el primer experimento, en el cual la dosis del 120% de la ETc también fue superior a la de 100% de la ETc. Los resultados son similares a los obtenidos en el primer experimento, sin embargo, hay diferencia en los valores. En el segundo experimento el 120% ETc obtuvo un diámetro de tallo de 11.44 mm y el 100% ETc obtuvo 9.93 mm, mientras que, los valores obtenidos en el primer experimento para 120 y 100% ETc fueron 13.19 y 11.63 mm, respectivamente.

Cuadro 3. Prueba de Duncan ($p < 0.05$) para láminas de agua en la variable diámetro de tallo, segundo experimento.

Láminas (mm)	Diámetro de tallo (mm)	
	Media	Rango
427,3 (L2)	11.44	A
361,0 (L1)	9.93	B

Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes

Cuadro 4. Prueba de Duncan ($p < 0.05$) para frecuencias de riego en la variable diámetro de tallo, segundo experimento.

Frecuencias de riego	Diámetro de tallo (mm)	
	Media	Rango
Dos riegos al día (F1)	11.56	A
Un riego al día (F2)	11.16	A B
Un riego cada dos días (F3)	10.37	B C
Un riego cada tres días (F4)	9.63	C

Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes

En el cuadro 4 se observa que las frecuencias F1 y F2 tienen los mayores diámetros de tallo, mientras que, la frecuencia F4 tiene el menor valor. Resultados similares se observaron en el primer experimento, las frecuencias de uno y dos riegos al día presentaron el mismo diámetro.

Grados Brix

En el primer experimento, no se encontraron diferencias estadísticas para frecuencias de riegos, pero si para dosis de agua.

Cuadro 5. Prueba de Duncan ($p < 0.05$) para láminas de agua en la variable Grados Brix y Acidez titulable, primer experimento.

Láminas (mm)	Grados Brix		% de Ácido cítrico	
	Media	Rango	Media	Rango
294 (L1)	4.32	A	0.27	AB



362 (L2)	4.11	B	0.28	A
428 (L3)	3.88	C	0.25	C
516 (L4)	3.71	D	0.23	D

Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes

Según el cuadro 5 la lámina L1 obtiene el mayor valor de grados Brix con 4.32, mientras que, la lámina L4 tiene el menor con 3.71 grados Brix.

Como se observa a menor cantidad de agua aplicada mayor grados Brix, estos resultados coinciden con Machado & Oliveira (2005), Patanè, Tringali & Sortino (2011), Abdel-Razzak et al. (2016), Lahoz et al. (2016), Zhang et al. (2017), Shabir et al. (2020), Wu et al. (2021) quienes obtuvieron los valores más altos de sólidos solubles totales en tomate, con las menores dosis de agua que aplicaron en sus experimentos. De su parte LIU et al. (2013) manifiesta que a una mayor dosis de agua los sólidos solubles del tomate decrecen. De la misma forma Kuscu et al. (2014) y Agbemaflé et al. (2014) observaron que al disminuir la dosis de agua incrementaron los sólidos solubles totales en tomate. En el segundo experimento, no se encontró diferencia significativa para láminas de agua, pero si para frecuencias de riego. Esto concuerda con Hossain (2020) que tampoco observo incidencia significativa de dos frecuencias de riego en los sólidos solubles del tomate.

Cuadro 6. Prueba de Duncan ($p < 0.05$) para láminas de agua en la variable Grados Brix, segundo experimento.

Láminas (mm)	Grados Brix	
	Media	Rango
361.0 (L1)	5.36	A
427.3 (L2)	5.12	B

Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes

De acuerdo a la prueba de Duncan (cuadro 6) la lámina L1 tiene un contenido mayor de grados Brix que la lámina L2. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el primer experimento, donde, no hubo significancia para frecuencias de riego, pero si para láminas de agua. Así mismo, la lámina de 100% ETC obtuvo más grados Brix que la lámina de 120% ETC.

Como se ve en el primer y segundo experimento, al aplicar una menor cantidad de agua al cultivo de tomate se obtiene un mayor contenido de grados Brix.

Acidez titulable

En el primer experimento, no se detectaron diferencias significativas para frecuencia de riegos, pero si existieron diferencias estadísticas para láminas de agua. El cuadro 5 presenta las diferencias de porcentaje de ácido obtenidas con las láminas de riego. Se observan cuatro rangos, siendo las láminas L2 y L1 las de mayor porcentaje de ácido con 0.28 y 0.27%, respectivamente; mientras que, la lámina L4 obtuvo el menor porcentaje con 0.23%. Esto concuerda con Kuscu et al. (2014) y Agbemaflé et al. (2014) quienes observaron que al disminuir la dosis de agua incrementaron los valores de acidez titulable.



Así mismo Patané et al. (2011) y Abdel-Razzak et al. (2016) obtuvieron los valores más altos de acidez titulable en tomate, en los tratamientos con dosis de riego inferiores al 100% ETc. Existe una concordancia parcial entre lo manifestado por los autores y los resultados de la presente investigación. Si bien es cierto en el presente trabajo los valores más altos de acidez titulable se los obtuvo con las dos dosis de riego más bajas (80 y 100% ETc). No se obtuvieron diferencias significativas entre estas dos láminas, así como si las obtuvieron los investigadores antes citados.

En el segundo experimento se detectó significancia para láminas de agua, pero no para frecuencias de riego. El coeficiente de variación fue de 8.68% con una media general de 0.274% de ácido cítrico.

Cuadro 7. Prueba de Duncan ($p < 0.05$) para láminas de agua en la variable Acidez titulable, segundo experimento.

Láminas (mm)	% de Acido cítrico	
	Media	Rango
361.0 (L1)	0.28	A
427.3 (L2)	0.26	B

Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes

En el cuadro 7 se observa que la lámina L1 es superior estadísticamente a la lámina L2 por lo tanto tiene un contenido mayor de ácido cítrico. Estos resultados son similares a los obtenidos en el primer experimento, en el cual la lámina de 100% de la ETc también fue estadísticamente superior a la lámina de 120%, y con valores similares.

Al igual que con los grados Brix, se observa tanto en el primero como en el segundo experimento que al aplicar menos agua al cultivo aumenta el porcentaje de ácido en los frutos de tomate, esto coincide con Kuscu et al. (2014) y Agbemafle et al. (2014) quienes observaron que al disminuir la dosis de agua incrementaron los valores de acidez titulable.

Rendimiento

En el primer experimento, no se observaron diferencias significativas para frecuencias de riego, pero si para las dosis de agua. En el cuadro 8 se presentan los resultados tanto para producción total, como para producción comercial. Así, la L4 (516mm) obtuvo la mayor producción total y comercial, mientras que, con la L1 (294mm) se obtuvieron los más bajos rendimientos.

Cuadro 8. Prueba de Duncan ($p < 0.05$) para láminas de agua en las variables rendimiento y eficiencia en el uso del agua, primer experimento.

Láminas (mm)	Producción total (kg/planta)		Producción comercial (kg/planta)		E.U.A. Total (kg.m ⁻³)		E.U.A. Comercial (kg.m ⁻³)	
	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
294 (L1)	9.62	D	8.69	D	58.32	A	55.22	A
362 (L2)	11.00	C	9.97	C	54.26	AB	51.60	AB
428 (L3)	11.95	B	11.15	B	49.89	BC	48.88	BC
516 (L4)	13.27	A	12.21	A	45.97	C	45.03	C

Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes



Los resultados obtenidos coinciden con Sezen et al. (2010), Cervantes (2018) y Liu et al. (2019) quienes obtuvieron los más altos rendimientos con las dosis de agua más altas que aplicaron en sus experimentos, 150%, 120% y 110%, respectivamente.

Todos estos resultados evidencian que al aplicar una mayor dosis de riego los rendimientos van a aumentar. Esto puede deberse a que con una dosis más alta de riego incrementa el número de frutos, peso promedio del fruto, diámetro y longitud del fruto (LIU et al. 2013).

En el segundo experimento, se encontraron diferencias significativas para dosis de agua y frecuencias de riego, tanto en producción total como comercial.

Cuadro 9. Prueba de Duncan ($p < 0.05$) para láminas de agua en las variables rendimiento y eficiencia en el uso del agua, segundo experimento.

Láminas (mm)	Producción total (kg planta ⁻¹)		Producción comercial (kg planta ⁻¹)		E.U.A. Total (kg m ⁻³)		E.U.A. Comercial (kg m ⁻³)	
	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
361.0 (L1)	6.99	B	5.36	B	34.46	A	26.51	A
427.3 (L2)	8.25	A	6.68	A	34.59	A	27.92	A

Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes

En el cuadro 9 se observa que L2 es superior a L1 en producción total y comercial. Estos resultados son similares a los obtenidos en el primer experimento. Sin embargo, las dos láminas presentan la misma eficiencia en el uso del agua.

Cuadro 10. Prueba de Duncan ($p < 0.05$) para frecuencias de riego en las variables rendimiento y eficiencia en el uso del agua, segundo experimento.

Frecuencias de riego	Producción total (kg planta ⁻¹)		Producción comercial (kg planta ⁻¹)		E.U.A. Total (kgm ⁻³)		E.U.A. Comercial (kg m ⁻³)	
	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
F1	8.32	A	6.77	A	37.69	A	30.55	A
F2	7.68	A B	6.13	A	34.73	A B	27.71	A B
F4	7.39	B	5.84	A B	33.45	B	26.34	A B
F3	7.08	B	5.34	B	32.22	B	24.26	B

Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes

Las frecuencias F1 y F2 obtuvieron los valores más altos para producción total, mientras que, en producción comercial las frecuencias F1, F2 y F4 fueron las mejores. Al igual que en el primer experimento, no se observaron diferencias significativas entre las frecuencias de uno y dos riegos al día.

Estos resultados concuerdan con Rebouças et al. (2017) quienes obtuvieron los más altos rendimientos con la mayor de seis frecuencias de riego (2 días), en el cultivo de tomate.

Por otra parte, en el cuadro 10 se observa que la frecuencia de riego F4 obtiene una mayor producción que la frecuencia F3, inclusive es estadísticamente igual en producción comercial a las frecuencias F1 y F2. Esto no tendría sentido, sin embargo, Fara et al. (2019) evaluaron 5 frecuencias de riego (1, 3, 5, 7 y 9 días) en tomate a campo abierto. El máximo rendimiento lo obtuvieron con la frecuencia de riego cada siete días y no con las frecuencias mayores. El rendimiento más bajo lo obtuvieron con la frecuencia de riego



cada día. Según estos autores esto se debió a que al aplicar riego con una mayor frecuencia existió una mayor lixiviación de nutrientes en el suelo, llevándolos fuera del alcance de las raíces. Así mismo, aseguran que el sistema radicular estuvo menos desarrollado en el tratamiento con la mayor frecuencia de riego. Además, señalan que el tratamiento con un mayor intervalo de riego indujo un mayor desarrollo en el sistema radicular, permitiendo una mayor ramificación de la raíz secundaria y profundización de la raíz principal. De la misma forma, observaron que las raíces mostraron mayor desarrollo con el aumento del intervalo de riego, según ellos, posiblemente por su plasticidad. Por último, estos autores indican que, en los tratamientos con menor intervalo de riego, el sistema radicular se concentró en las capas de suelo de 0 a 0,20 cm con abundancia de raíces laterales delgadas en la capa superior.

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

En el primer experimento, no se observaron diferencias significativas para frecuencias de riego, pero si para dosis de agua. Según como se observa en el cuadro 8 la eficiencia en el uso del agua total y comercial fue mayor con las láminas L1 y L2, siendo la L4 la de menor eficiencia.

En el segundo experimento, no se detectaron diferencias significativas para láminas de agua, pero si para frecuencias de riego. En lo que se refiere a láminas de agua, los resultados coinciden con los obtenidos en el primer experimento, debido a que tampoco se observaron diferencias significativas entre las láminas del 100 y 120% ETC.

Los resultados obtenidos en el primer ensayo con las láminas de agua coinciden con los obtenidos por Abdel-Razzak et al. (2016), DU et al. (2017), Wang & Xing (2017), da Silva et al. (2019), Mendonça et al. (2020), Abd-Elhakim et al. (2021) y Wu et al. (2021), que obtuvieron las mejores EUA en tomate con las dosis de riego más bajas evaluadas en sus investigaciones. Sin embargo, esto no siempre sucede; Liu et al. (2019) obtuvieron la mejor EUA con el 70% ETC y no con el 50% ETC. Esto puede ocurrir debido a que una cantidad de riego en exceso o en déficit tiende a disminuir el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua (LIU, 2013). De igual manera, Kuscu et al. (2014) obtuvo la mejor EUA con el 75% ETC y no con el 50% ETC, Abdelhady et al. (2017) obtuvieron la más alta EUA con el 80% ETC y no con el 60% ETC, resultados similares los obtuvo Ullah et al. (2021). En el cuadro 10 se observa que las frecuencias de riego F1 y F2 obtienen los valores más altos con respecto a EUA con producción total, mientras que, para EUA con producción comercial las frecuencias de riego F1, F2 y F4 son las que obtuvieron una mayor eficiencia.

No se observaron diferencias significativas entre las frecuencias F1 y F2 lo que coincide con lo obtenido en el primer experimento, que tampoco se observó diferencia de EUA entre las frecuencias de uno y dos riegos al día.

En el caso de producción comercial, la frecuencia de riego F4 obtiene la misma EUA que F1 y F2, por encima de F3. Esto concuerda en parte con Fara et al. (2019) que obtuvieron la más alta EUA en tomate con las frecuencias de riego de 7 y 9 días, por encima de las frecuencias de 1, 3 y 5 días. Se dice que la coincidencia es en parte porque en el presente estudio la frecuencia de riego más baja F4 (un riego cada tres días) solo supera a la frecuencia F3 (un riego cada dos días) y no a las dos frecuencias más altas F1 y F2.



Conclusiones

- La evapotranspiración del cultivo fue muy variable en los dos experimentos debido a la alta variabilidad de las condiciones climáticas de la zona, por lo que se hace necesario hacer programaciones de riego diarias con la finalidad de ser más precisos a la hora de aportar agua al cultivo.
- El incremento de la dosis de riego incide favorablemente en el desarrollo y producción del cultivo, sin embargo, la incidencia es negativa en la calidad del fruto y en la eficiencia en el uso del agua.
- Una aplicación de riego con mayor frecuencia permite tener una humedad del suelo más estable en el tiempo lo que minimiza el riesgo de estrés hídrico para la planta.
- Se recomienda una dosis de agua correspondiente al 100% de la evapotranspiración aplicada cada día, considerando una programación de riego hecha para cada día, para lograr un equilibrio entre la producción, la calidad y la eficiencia en el uso del agua. De esta forma, aparte de conseguir un uso racional del agua, el rendimiento del cultivo y por ende la economía del productor, no se ve afectada.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento al Gobierno de la República del Ecuador y a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt) por otorgarme una beca para realizar mis estudios Doctorales.



Referencias Bibliográficas

- Abd-Elhakim, A., Elmeadawy, M., El-Sybaee, I. & Egel, M. (2021). Effect use of pulsed deficit drip irrigation for tomato crop in greenhouse powered by solar energy. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 38(1), 1 – 14. <http://dx.doi.org/10.21608/mjae.2020.48883.1014>
- Abdelhady, S. A., El-Azm, N. A., & El-Kafafi, E. S. H. (2017). Effect of deficit irrigation levels and NPK fertilization rates on tomato growth, yield and fruits quality. *Middle East J*, 6(3), 587-604. Recuperado de <http://www.curreweb.com/mejar/mejar/2017/587-604.pdf>
- Abdel-Razzak, H., Wahb-Allah, M., Ibrahim, A., Alenazi, M., & Alsadon, A. (2016). Response of cherry tomato to irrigation levels and fruit pruning under greenhouse conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 1091 – 1103. Recuperado de <http://ir.jkuat.ac.ke/handle/123456789/3943>
- Agbemafle, R., Owusu-Sekyere, J., Bart-Plange, A., & Otchere, J. (2014). Effect of deficit irrigation and storage on Physicochemical quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. Pechtomech). *Food Science Quality Management*, 34(2), 113-8. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/342591441>
- Al-Harbi, A., Al-Omran, A., Alqardaei, T., Abdel-Rassak, H., Alharbi, K., Obadi, A. & Saad, M. (2018). Grafting affects tomato growth, productivity, and water use efficiency under different water regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(6), 1227-1241. Recuperado de <http://jast.modares.ac.ir/article-23-20094-en.pdf>
- Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56)*. Food & Agriculture Org.
- Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar (AAIC). (2004). *Proceso de fertirrigación en el cultivo de tomate en invernadero*. Abya Yala, Quito, Ecuador.
- Cervantes, L. (2018). *Análisis de cuatro láminas de riego en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum L. cv Katya) bajo condiciones de Cañete*. (Tesis de grado), Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3521/cervantes-garzon-luis-andres-alonso.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Da Silva, C. J. D., Frizzone, J. A., da Silva, C. A. D., Golynski, A., da Silva, L. F., & Megguer, C. A. (2019). Tomato yield as a function of water depths and irrigation suspension periods. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(8), 591-597. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n8p591-597>
- DU, Y. D., CAO, H. X., LIU, S. Q., GU, X. B., & CAO, Y. X. (2017). Response of yield, quality, water and nitrogen use efficiency of tomato to different levels of water and nitrogen under drip irrigation in Northwestern China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(5), 1153-1161. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61371-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61371-0)
- FAOSTAT, 2021. *Statistical databases*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (Accesed 5 april 2021).



- Fara, S. J., Delazari, F. T., Gomes, R. S., Araújo, W. L., & da Silva, D. J. H. (2019). Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. *Scientia Horticulturae*, 255, 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.025>
- Hossain, F. (2020). Effect of organic fertilizer and irrigation intervals on the yield and quality of cherry tomato. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 7 (4), 327 – 324. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.303299.370>
- INEC. (2019). *Estadísticas Agropecuarias. Información estadística, Tabulados*. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2013). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000. Memoria Técnica, Cantón Antonio Ante, componente 4: Sistemas productivos*. Quito, Ecuador. Recuperado de: http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PDOT/ZONA1/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/IMBABURA/ANTONIO_ANTE/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_antonio_ante_sistemas_productivos.pdf
- Kuscu, H., Turhan, A., Ozmen, N., Aydinol, P., & Demir, A. O. (2014). Optimizing levels of water and nitrogen applied through drip irrigation for yield, quality, and water productivity of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(2), 103-114. <https://doi.org/10.1007/s13580-014-0180-9>
- Lahoz, I., Pérez-de-Castro, A., Valcárcel, M., Macua, J. I., Beltrán, J., Roselló, S., & Cebolla-Cornejo, J. (2016). Effect of water deficit on the agronomical performance and quality of processing tomato. *Scientia Horticulturae*, 200, 55-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.051>
- LIU, H., DUAN, A. W., LI, F. S., SUN, J. S., WANG, Y. C., & SUN, C. T. (2013). Drip irrigation scheduling for tomato grown in solar greenhouse based on pan evaporation in North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(3), 520-531. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60253-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60253-1)
- Liu, H., Li, H., Ning, H., Zhang, X., Li, S., Pang, J., Wang, G. & Sun, J. (2019). Optimizing irrigation frequency and amount to balance yield, fruit quality and water use efficiency of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, 226, 1 – 11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105787>
- Llumiluisa, D. (2017). *Determinación del coeficiente del cultivo (Kc) para tomate (Lycopersicon esculentum L.), bajo invernadero en la Granja Santa Inés*. Tesis de grado. Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador.
- Machado, R.M.A., & Oliveira, M.d.R.G. (2005). Tomato root distribution, yield and fruit quality under different subsurface drip irrigation regimes and depths. *Irrigation Science*, 24(1), 15-24. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0002-z>
- Macias, R. (2009). *Estimación de la evapotranspiración del cultivo y requerimientos hídricos del tomate (Solanum lycopersicum Mill. Cv. El Cid) en invernadero*. (Tesis de Maestría), Instituto Politécnico Nacional, Jiquilpan, México. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8587/106.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- Mendonça, T. G., da Silva, M. B. D., Pires, R. C. D. M., & Souza, C. F. (2020). DEFICIT IRRIGATION OF SUBSURFACE DRIP-IRRIGATED GRAPE TOMATO. *Engenharia Agrícola*, 40(4), 453-461. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n4p453-461/2020>
- Nangare, D., Singh, Y., Suresh Kumar, P. & Minhas, P. (2016). Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon sculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agricultural Water Management*. 171, 73 – 79.
- Oke, A. M., Osilaechuu, A. P., Aremu, T. E., & Ojediran, J. O. (2020, February). Effect of drip irrigation regime on plant height and stem girth of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 445, No. 1, p. 012016). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/445/1/012016>
- Patanè, C., Tringali, S., & Sortino, O. (2011). Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 590-596.
- Rebouças, M., Moreira, B., Viana, T., Vieira, D. & Vieira, C. (2017). Irrigation frequency on economic performance and productivity of tomato in the coast of Ceará, Brazil. *Revista Caatinga*, 30 (4), 971 – 979. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n418rc>
- Rivera, J. (2011). *Parámetros físicoquímicos para la obtención de modelos de predicción en la calidad poscosecha del tomate (Solanum lycopersicum L.)*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, México. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/2732/1/1080221578.pdf>
- Secretaría del Agua (SENAGUA). (2019). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027*. Quito, Ecuador. Recuperado de: http://prefecturadeesmeraldas.gob.ec/docs/8_plan_nacional_de_riego_y_drenaje.pdf
- Sezen, S. M., Yazar, A., Tekin, S., & Kapur, B. (2010). Effect of irrigation management on yield and quality of tomatoes grown in different soilless media in a glasshouse. *Scientific Research and Essays*, 5(1), 041-048. Recuperado de <https://academicjournals.org/journal/SRE/article-full-text-pdf/2B3BCEA16161.pdf>
- Shabbir, A., Mao, H., Ullah, I., Buttar, N. A., Ajmal, M., & Lakhari, I. A. (2020). Effects of drip irrigation emitter density with various irrigation levels on physiological parameters, root, yield, and quality of cherry tomato. *Agronomy*, 10(11), 1685. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111685>
- Sivisaca, J. (2013). *Efecto de tres frecuencias de riego por goteo en la producción del cultivo de fréjol (Phaseolus vulgaris L.), según la evaporación del tanque evaporímetro Clase A*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.
- Ullah, I., Mao, H., Rasool, G., Gao, H., Javed, Q., Sarwar, A., & Khan, M. I. (2021). Effect of Deficit Irrigation and Reduced N Fertilization on Plant Growth, Root Morphology, and Water Use Efficiency of Tomato Grown in Soilless Culture. *Agronomy*, 11(2), 228. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020228>



- Vinueza, M. (2007). *Producción y comercialización de tomate riñón en Imbabura*. (Monografía de Diplomado Superior). Instituto de Altos Estudios Nacionales. Quito, Ecuador. Recuperado de:
<https://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/4090/1/Vinueza%20Ruiz%20Miguel%20%C3%81ngel.pdf>
- Wang, X., & Xing, Y. (2017). Evaluation of the effects of irrigation and fertilization on tomato fruit yield and quality: a principal component analysis. *Scientific reports*, 7(1), 1-13. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-00373-8>
- Wu, Y., Yan, S., Fan, J., Zhang, F., Xiang, Y., Zheng, J., & Guo, J. (2021). Responses of growth, fruit yield, quality and water productivity of greenhouse tomato to deficit drip irrigation. *Scientia Horticulturae*, 275, 1- 10.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109710>
- Zhai, Y., Shao, X., Xing, W., Wang, Y., Hung, T. y Xu, H. (2010). Effects of drip irrigation regimes on tomato fruit yield and water use efficiency. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(3&4), 709-713. Recuperado de
<https://www.researchgate.net/publication/253953506>
- Zhang, H., Xiong, Y., Huang, G., Xu, X., & Huang, Q. (2017). Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soil of the Hetao Irrigation District. *Agricultural Water Management*, 179, 205-214.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.022>