

# 07

Fecha de presentación: enero, 2021

Fecha de aceptación: marzo, 2021

Fecha de publicación: abril, 2021

## IMPACTO DEL RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL EN LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA EN MAÍZ (*ZEAMAYS L.*)

### THE IMPACT OF SUBSURFACE DRIP IRRIGATION ON WATER USE EFFICIENCY IN CORN (*ZEAMAYS L.*)

José Lauro Conde Solano<sup>1</sup>

E-mail: [jconde@utmachala.edu.ec](mailto:jconde@utmachala.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2538-1770>

Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta<sup>2</sup>

E-mail: [usanchez.luz@gmail.com](mailto:usanchez.luz@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3108-0296>

Ciols Beatriz Colmenares de Ortega<sup>2</sup>

E-mail: [ciolysc@gmail.com](mailto:ciolysc@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8545-2959>

Edison Ramiro Vásquez<sup>3</sup>

E-mail: [edison.vasquez@unl.edu.ec](mailto:edison.vasquez@unl.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1316-8411>

Jorge Ortega Alcalá<sup>2</sup>

E-mail: [jortegaa@gmail.com](mailto:jortegaa@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3623-0540>

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela.

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Loja. Ecuador.

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

Conde Solano, J. L., Sánchez Urdaneta, A. B., Colmenares de Ortega, C. B., Ramiro Vásquez, E., & Ortega Alcalá, J. (2021). Impacto del riego por goteo subsuperficial en la eficiencia de uso del agua en maíz (*Zeamays L.*). *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 50-58.

#### RESUMEN

Con el objetivo de mejorar la eficiencia de uso del agua en la agricultura, debido a que en este sector se consumen grandes cantidades de agua y, una gran cantidad de esta, es consumo no beneficioso; se estableció un ensayo en el campo experimental de la Universidad Técnica de Machala, Ecuador, sembrando 1200 m<sup>2</sup> de maíz híbrido, distribuido en bloques completamente al azar, con 12 unidades experimentales. Los tratamientos fueron riego por goteo subsuperficial a 10 (T1), 20 (T2) y 30 (T3) cm de profundidad y cuatro repeticiones. Hubo diferencias estadísticas para todas las variables evaluadas ( $P < 0,01$ ), excepto para volumen de agua y tiempo total de riego por efecto de los tratamientos. El volumen total de riego fue de 55,69; 52,24 y 51,67 m<sup>3</sup>. Tiempo total de riego 36,48; 34,78 y 34,08 horas; ambas variables sin diferencias estadísticas significativas. Presentaron diferencias estadísticas significativas las variables frecuencia de riego con 3,0; 3,60 y 3,60 días; diámetro del bulbo húmedo con 42,0; 44,2 y 44,7 cm y superficie del bulbo húmedo con 13,8; 15,3 y 15,7 cm<sup>2</sup>; el rendimiento con 9232,8; 10337,5 y 10181,1 kg•ha<sup>-1</sup> y la eficiencia de uso del agua con 6,63; 7,93 y 7,89 kg•m<sup>-3</sup>, para los tratamientos de riego por goteo subsuperficial a los 10, 20 y 30 cm de profundidad, respectivamente. La eficiencia de uso del agua, el rendimiento y la superficie del bulbo húmedo fueron mayores a 20 cm de profundidad, mientras que en todas las variables estudiadas a 10 cm de profundidad se presentaron los menores valores.

#### Palabras clave:

Uso eficiente, riego subsuperficial, riego por goteo, escasez de agua.

#### ABSTRACT

With the aim of improving the efficiency of water use in agriculture, due to the fact that in this sector large quantities of water are consumed and a large amount of this is non-beneficial consumption, a trial was carried out in the experimental field of the Technical University of Machala, Ecuador, planting 1200 m<sup>2</sup> of hybrid corn, distributed in completely randomized blocks, with 12 experimental units. The treatments were subsurface drip irrigation at 10 (T1), 20 (T2) and 30 (T3) cm depth and four replications. There were statistical differences for all variables evaluated ( $P < 0.01$ ), except for water volume and total irrigation time due to the effect of treatments. The total irrigation volume was 55.69, 52.24 and 51.67 m<sup>3</sup>. The total irrigation time was 36.48, 34.78 and 34.08 hours; both variables showed no significant statistical differences. Significant statistical differences were found in irrigation frequency with 3.0, 3.60 and 3.60 days; wet bulb diameter with 42.0, 44.2 and 44.7 cm and wet bulb surface with 13.8, 15.3 and 15.7 cm<sup>2</sup>; yield with 9232.8; 10337.5 and 10181.1 kg•ha<sup>-1</sup> and water use efficiency with 6.63; 7.93 and 7.89 kg•m<sup>-3</sup>, for the subsurface drip irrigation treatments at 10, 20 and 30 cm depth, respectively. Water use efficiency, yield and wet bulb area were higher at 20 cm depth, while for all variables studied at 10 cm depth the lowest values were presented.

#### Keywords:

Efficient use, subsurface irrigation, drip irrigation, water scarcity.

## INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2013), manifiesta que *“los recursos del agua a nivel global son escasos y lo serán gradualmente aún más en el futuro, esto representa una amenaza para la seguridad alimentaria”*. El Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO (2019), destacan que para el 2050 de mantenerse la degradación del ambiente y de los recursos hídricos a nivel mundial, estarán en riesgo el 45% del PIB global, el 52% de la población mundial y el 40% de la producción mundial de cereales; por lo que, la disminución del agua entre otros recursos naturales ha sido considerado como un elemento generador de migración local, nacional e internacional. Se estima que para la década 2019-2028 se prevé que el consumo de productos agrícolas se incrementará 15%, por supuesto generará un impacto importante particularmente sobre la tierra, el agua y la biodiversidad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019).

Según [Qadir, et al. \(2007\)](#), para el 2025 el 60% de la población mundial sufrirá escasez de agua, particularmente en las zonas semiáridas y áridas (p. 3). En la agricultura se han propuesto algunas estrategias para reducir el uso del agua (García et al., 2011, p. 275) en las que se incluyen disminuir la evaporación, la transpiración, optimizar los métodos y el programa de riego (Geerts & Raes, 2009; Sun, et al., 2012). En este sentido, el riego por goteo subsuperficial tiene alto potencial de ser un sistema de riego más eficiente, ya que genera la humedad óptima y disminuye el consumo de agua excesivo al reducir las pérdidas de agua por percolación profunda y la evaporación de la superficie del suelo (Siyal & Skaggs, 2009). En relación a las pérdidas de agua por evaporación. Lucero, et al. (2017), concluyeron que la diferencia es considerable entre el riego subterráneo y superficial.

El principal problema en el mundo referente al riego es la escasez de agua, y en la mayoría de casos su inadecuado uso. La agricultura es el sector económico donde se destina el 70% del total de agua utilizada, en Ecuador alcanza hasta el 82% (Zapatta & Gasselín, 2005). En este sentido, para todas las regiones del mundo aumentar la productividad del agua en la agricultura es una estrategia imperativa a implementar con urgencia, para mejorar la seguridad alimentaria y reducir la pobreza. La agricultura debe buscar mejorar la eficiencia de uso de este recurso, que puede definirse como el rendimiento del cultivo por unidad de uso de agua para riego.

En Ecuador la superficie agropecuaria bajo riego, según la Secretaría del Agua de Ecuador (2019), es de 1.152.000 ha, que representa un poco más de la

tercera parte de la superficie que podría ser regada que es de 3.136.085 ha, predominando el riego por surcos, llegando a tener eficiencias de riego entre 15 y 25%. En la región sur del país, existen amplias zonas áridas y semiáridas cuyas precipitaciones oscilan entre 200 y 600 mm anuales, existiendo un marcado déficit de agua que limita severamente la producción agrícola, por tal razón se debe concienciar al usuario del agua para riego, a los expertos en planificación y manejo de este recurso, a los diseñadores de los sistemas de riego, como a los gobernantes a implementar alternativas de riego que permitan una mejor eficiencia de uso, y así coadyuvar a contrarrestar la escasez de agua.

Las ventajas del riego por goteo corresponden al ahorro del consumo de agua, con esto se reduce la superficie evaporante, pérdidas por escorrentía, y la percolación profunda, aplicación de fertilizantes a través de los goteros, con lo que los minerales van directamente a la zona radical de la planta, es adaptable a todo tipo de suelo y clima, al no verse afectado por el viento se puede aplicar a cualquier tipo de zona, pendiente y textura, disminución de arvenses al aplicarse agua solo a una porción del suelo, ahorro de mano de obra debido a que es un sistema fijo y con cierto grado de automatización. Ausencia de fenómenos erosivos debido a que no requiere movimiento de tierra. Ahorro de energía por su alta eficiencia y baja presión de operación, y menor caudal de manejo. Reducción de enfermedades fungosas al no mojarse el follaje y tallo de las plantas.

El maíz ocupa la primera posición en el mundo como cultivo de mayor importancia en producción de granos, con la salvedad que el trigo y arroz son los principales productos agrícolas para consumo humano directo. En Ecuador, el maíz (*Zea mays* L.) corresponde a uno de los principales cultivos de ciclo corto, se desarrolla en diferentes pisos altitudinales, por lo que se adapta a diversos ambientes. El Instituto Nacional de Estadística y Censos (2019), señaló que la superficie sembrada de maíz duro seco a nivel nacional en el 2019 fue de 334.399 ha en el 2019. La producción dominante de maíz amarillo se concentró en la costa debido a las condiciones favorables del clima, en las provincias de Los Ríos con el 38,56%, Manabí representa el 29,60%, Guayas el 16,52% y Loja con el 8,5% de la producción total. La producción nacional fue de 1'479.770 toneladas.

El uso del agua en la agricultura se debe realizar de manera eficiente, productiva, equitativa y respetuosa con el ambiente; por lo que, se busca producir más alimentos utilizando menos agua. Con base a estos antecedentes el objetivo fue evaluar el impacto del riego por goteo subsuperficial en la eficiencia de uso del agua en maíz (*Zea mays* L.)

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue conducida en el campo experimental de la Hacienda Santa Inés, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, ubicada en el km 5 1/2 vía Pasaje, provincia de El Oro, Zona de planificación 7, Ecuador; entre las coordenadas 620000 O y 9638000 S, Zona geográfica 17 S, Proyección Universal Transversa de Mercator, donde termina la planicie aluvial de la cuenca del río Jubones.

El clima es tropical megatérmico semi-húmedo, ubicado a 5 msnm, la temperatura media oscila alrededor de 25 °C, mientras que la precipitación media es alrededor de 600 mm con dos periodos pluviométricos bien marcados, el período lluvioso inicia generalmente en enero y termina en abril, y el período seco que va de mayo a diciembre. La evapotranspiración potencial de referencia en esta zona es de 1300 a 1500 mm, el déficit hídrico anual oscila entre 225 y 925 mm.

La semilla utilizada fue maíz híbrido duro PIONEER 30K75, sembrado a 80 cm entre surcos y 40 cm entre plantas, con dos semillas por punto. Las características vegetativas de este híbrido son hojas semi-erectas, altura promedio 2,50 m, periodo vegetativo semi-tardío entre 125 y 135 días, inserción de la mazorca a 1,30 m, relación grano/mazorca desgranada 85/15, pureza varietal es alta, y la analítica mayor a 98%, capacidad germinativa muy alta, contenido de humedad de 13%, color de las semillas anaranjado. Es tolerante a enfermedades fungo-foliales, con excelente resistencia al acamen.

El diseño del experimento fue, bloques completos al azar, con tres tratamientos (riego por goteo subsuperficial a 10 (T1), 20 (T2), y 30 (T3) cm de profundidad) y cuatro repeticiones. El experimento se desarrolló en una superficie total de 1200 m<sup>2</sup>, conteniendo 12 unidades experimentales de 100 m<sup>2</sup> (10 m de largo x 10 m de ancho) (figura 1).



Figura 1. Cultivo de maíz (*Zea mays* L.) híbrido duro PIONEER 30K75 irrigado por goteo subsuperficial, A) 10 cm de profundidad, B) 20 cm de profundidad y C) 30 cm de profundidad.

El diseño del sistema de riego, para cubrir una superficie de 1200 m<sup>2</sup>, consistió de una tubería principal de PVC de 40 mm de diámetro, con tuberías secundarias de polietileno de 32 mm de diámetro que alimentaron a los laterales de riego (cintas de riego) de 16 mm, instalados cada 80 cm y los goteros ubicados cada 50 cm, la energía fue suministrada al sistema a través de una electrobomba alimentada por un pozo subterráneo. El caudal de los emisores (goteros) fue de 1,65 L·h<sup>-1</sup>. El sistema de riego fue independiente para cada tratamiento, el flujo fue controlado a través de válvulas de compuerta, y para registrar los volúmenes aplicados se utilizaron válvulas volumétricas de precisión. El sistema de riego también estuvo equipado con un venturímetro para el suministro de fertilizantes, que funcionó con la misma energía del sistema. Para el control de las frecuencias y tiempos de riego se utilizaron tensiómetros (Irrrometer) equipados con un manómetro de vacío, calibrado antes de su instalación (figura 2a).



Figura 2. Equipo utilizado para el funcionamiento del sistema de riego en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) híbrido duro PIONEER 30K75 irrigado a través de riego por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad. A) Instalación y lectura de tensiómetros y B) Instalación y lectura de las válvulas volumétricas.

En lo referente al volumen de agua utilizada, se registraron los valores acumulados suministrados por los tratamientos de riego por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad, a través de válvulas volumétricas de precisión (figura 2). Para determinar el rendimiento del cultivo de maíz, se registró la biomasa del grano seco de 40 plantas previamente seleccionadas por tratamiento, dando un total de 120 plantas registradas producto de tres tratamientos. Para evaluar la eficiencia de uso del agua a través del riego por goteo subsuperficial para cada uno de los tratamientos aplicados, este se fundamentó en función del rendimiento en biomasa del grano seco de maíz (kg) y la cantidad de agua suministrada a cada tratamiento ( $m^3$ ), se utilizó la ecuación:

$$\text{Eficiencia de uso del agua} = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Agua utilizada (m}^3\text{)}}$$

Para determinar la humedad del suelo disponible para la planta y así conocer el punto óptimo de riego, se instalaron tensiómetros (Irrrometer) equipados con un manómetro de vacío cuyas lecturas indicaron el potencial hídrico del agua en el suelo, o la tensión con que el suelo retuvo a las partículas de agua, todos los tensiómetros fueron instalados a 20 cm de profundidad dentro del bulbo húmedo del gotero. El riego fue suministrado cuando la lectura del manómetro indicó 45 cbar y cuando éste marcó 10 cbar el suministro de riego se interrumpió, que fue el indicador de que el contenido de humedad estuvo a capacidad de campo. El diámetro y superficie del bulbo humedecido por los emisores (goteros instalados subsuperficialmente a 10, 20 y 30 cm de profundidad) se registró cuando el cultivo terminó su ciclo, para no interferir en el desarrollo normal de la planta.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para las variables volumen total de agua de riego aplicado y tiempo total de riego, no se presentaron diferencias estadísticas ( $P > 0,5895$  y  $P > 0,6479$ , respectivamente) por efecto de los tratamientos. En este sentido, los volúmenes totales de agua de riego aplicados hasta los 100 días después de la siembra (dds) fueron de 55,69; 52,14 y 51,67  $m^3$  (figura 3); no obstante, hubo una diferencia de 3,55 y 4,02  $m^3$  de volumen de agua gastados al comparar entre el tratamiento de riego subsuperficial a 10 cm de profundidad y los tratamientos de 20 y 30 cm de profundidad; mientras que, entre estos dos últimos la diferencia fue de 0,47  $m^3$ . Estas diferencias fueron equivalentes a 88,75 y 100,5  $m^3 \cdot ha^{-1}$  al mantener la misma comparación entre el riego por goteo subsuperficial a 10 cm de profundidad con respecto al riego por goteo subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad y entre estos dos últimos tratamientos fue de 11,75  $m^3 \cdot ha^{-1}$ , respectivamente.

En otras palabras, el ahorro de agua correspondió a 6,37 y 7,21% para el riego por goteo subsuperficial a los 20 y 30 cm de profundidad al compararlo con el riego a 10 cm de profundidad. Montemayor, et al. (2007), "indicó que en el sistema de riego subsuperficial al compararlo con el riego por gravedad en maíz forrajero el

ahorro de agua representó el 27,4%” (p. 166). Lamm & Trooien (2003), compararon el riego tradicional (surcos y aspersión) con el riego por goteo subsuperficial concluyendo que en maíz el agua de riego aplicado disminuyó 55 y 35%, respectivamente. Lo cual permitió concluir que en ambas investigaciones el riego por gravedad presentó la mayor pérdida de agua.

A partir de los 62 dds se incrementó el volumen total de agua en el tratamiento de 10 cm de profundidad con respecto a los otros dos tratamientos (20 y 30 cm de profundidad). Para los tratamientos de 20 y 30 cm de profundidad estas diferencias se apreciaron a partir de los 72 dds. El comportamiento mostrado en la figura 3 correspondió a un polinomio de primer orden ( $Y = Y_0 + aX$ ). Se destaca que los volúmenes de agua utilizados para riego dependen entre otros factores del clima (temperatura, humedad), del tipo de suelo (liviano o pesado), de las necesidades hídricas de los cultivos, incluidas las diferentes etapas fenológicas por las cuales deben transcurrir e incluso de la disponibilidad de agua existente

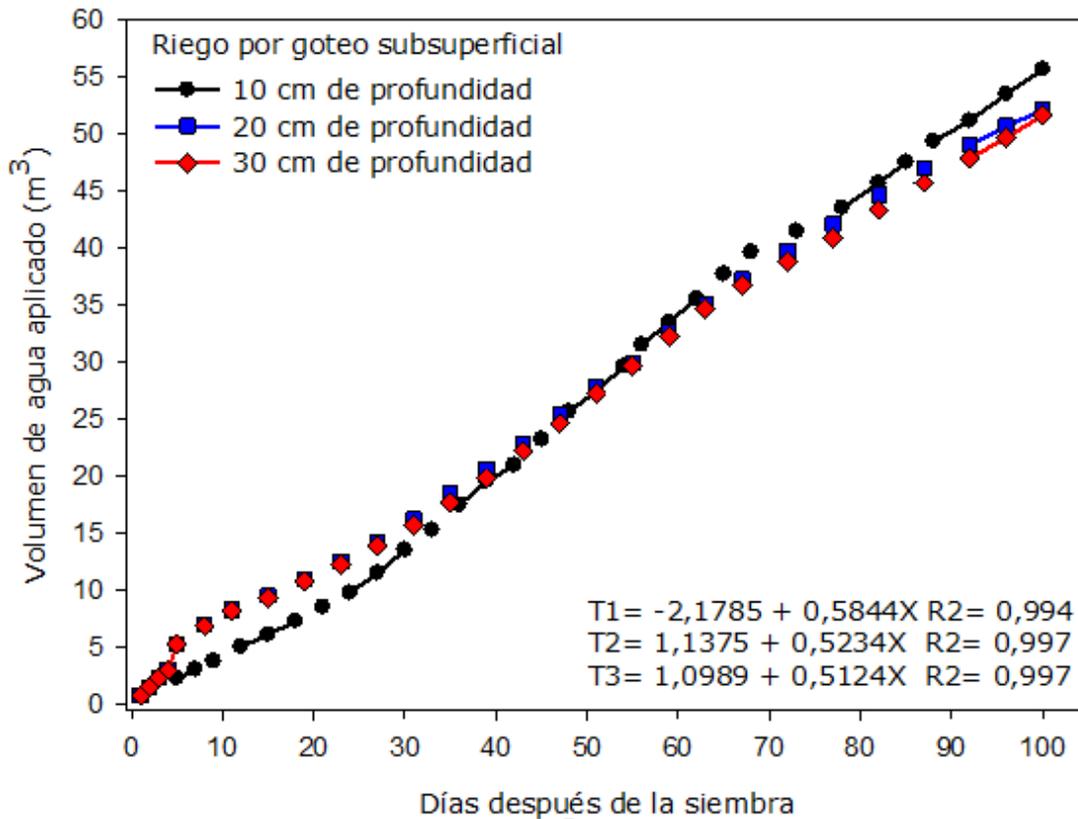


Figura 3. Volumen total de agua de riego aplicado ( $m^3$ ) al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) híbrido duro PIONEER 30K75 irrigado a través de riego por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad.

Con respecto al tiempo total de riego entre el riego por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad este fue de 36,48; 34,78 y 34,08 horas, respectivamente; lo que fue equivalente a 1,7 y 2,4 horas más entre el riego subsuperficial a 10 cm de profundidad comparado con el riego subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad, entre estos dos últimos la diferencia fue de 0,7 horas. Esto equivalió a 4,7 y 6,6% más de tiempo de riego para el riego subsuperficial a 10 cm de profundidad y 2,01% más de tiempo de riego entre el riego subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad.

Se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,0001$ ) para la frecuencia de riego por efecto de los tratamientos. El riego por goteo subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad no presentó diferencias estadísticas entre ellos, pero fueron diferentes estadísticamente al riego por goteo subsuperficial a 10 cm de profundidad. La frecuencia de riego fue de 3,0 días para el riego por goteo subsuperficial a 10 cm de profundidad y de 3,6 días para el riego por goteo subsuperficial a los 20 y 30 cm de profundidad (figura 4A). Montemayor, et al. (2007), señalaron que la *“frecuencia de riego en maíz forrajero bajo riego por goteo subsuperficial (40 cm de profundidad) fue en promedio cada tercer día”* (p. 166). Por otro lado, Zhang, et al. (2019), señalaron que el riego por goteo de alta frecuencia (cada tres días) originó en los 20 primeros cm del suelo más humedad que a mayor profundidad del suelo; mientras que el riego por goteo de baja frecuencia (cada 10 días) favoreció la

infiltración de agua a capas más profundas y lateralmente; no obstante, el suministro de agua no fue oportuno y la humedad superficial del suelo fue menor.

La baja frecuencia de riego correspondió a intervalos de riego excesivamente largos y podría inducir estrés hídrico, particularmente en suelos arenosos. Sugirieron Zhang, et al. (2019), que también podría conducir a una percolación sustancial debajo de la zona de las raíces durante el riego porque la cantidad de agua en cada riego excedió la capacidad de almacenamiento de agua por el suelo. Por el contrario, una frecuencia de riego excesivamente alta podría conducir a condiciones deseables para la absorción de agua por las raíces, pero al precio de mayores costos de energía y mano de obra.

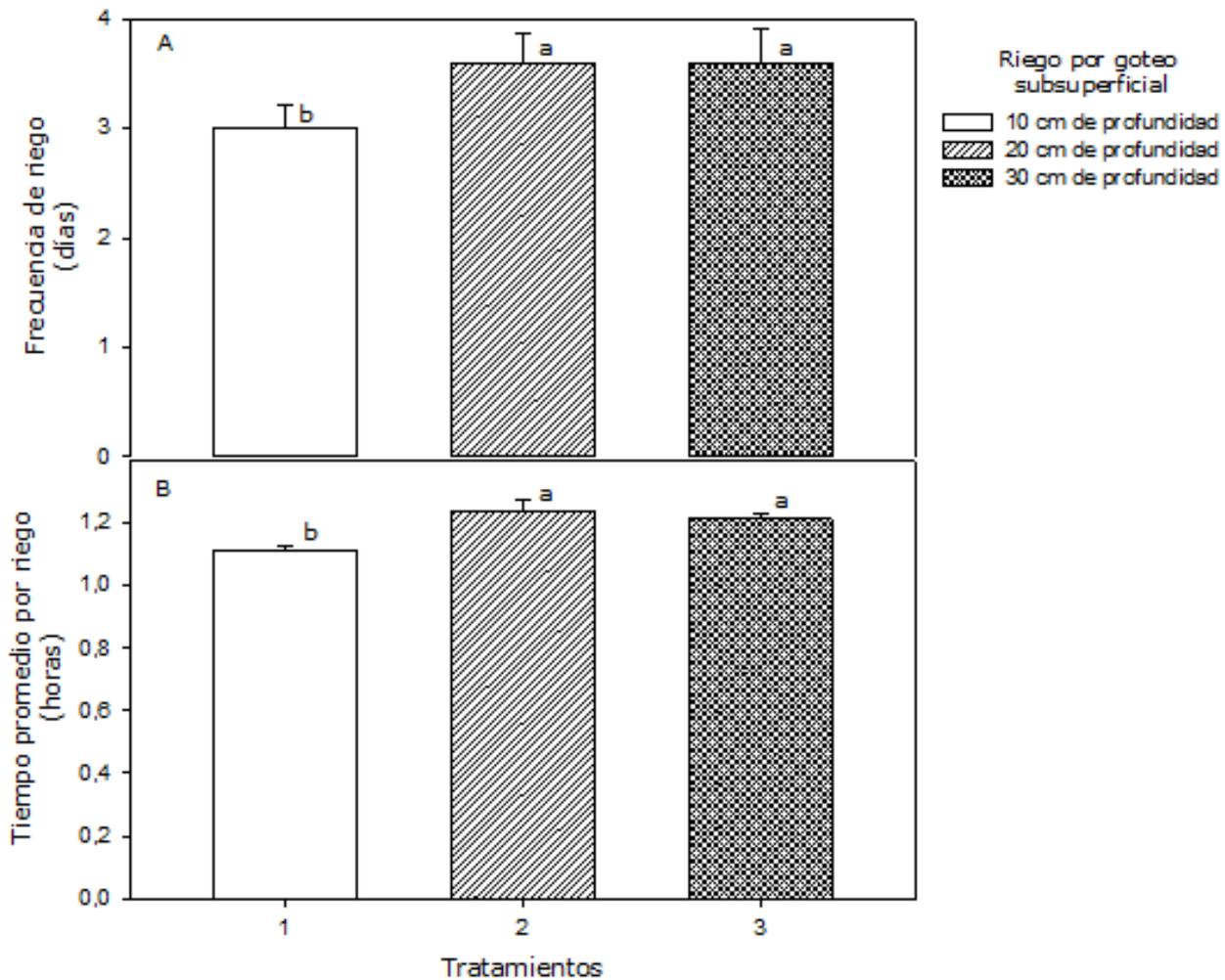


Figura 4. Frecuencia (A) y tiempo promedio de riego (B) aplicado al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) híbrido duro PIONEER 30K75 irrigado a través de riego por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad.

Hubo diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,001$ ) para el tiempo promedio de riego por efecto de los tratamientos. El tiempo promedio de riego fue de 1,1; 1,24 y 1,21 horas-riego<sup>-1</sup> para los tratamientos riego por goteo subsuperficial para las profundidades de 10, 20 y 30 cm, respectivamente; el riego por goteo subsuperficial a 10 cm de profundidad fue estadísticamente diferente al de 20 y 30 cm de profundidad, sin diferencias estadísticas entre estos dos últimos tratamientos (figura 4B). Con el riego subsuperficial a 20 cm de profundidad se presentó el mayor tiempo promedio de riego el cual fue 11,29 y 2,42% mayor que las profundidades de 10 y 30 cm, respectivamente.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,002$ ) para las variables diámetro y superficie del bulbo húmedo por efecto de los tratamientos. Con respecto, al diámetro del bulbo humedecido fue de 42,0; 44,2 y 44,7 cm; mientras que la superficie del bulbo humedecido fue de 13,8; 15,3 y 15,7 m<sup>2</sup> para el riego subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad; respectivamente (figura 5). En ambas variables las diferencias se presentaron entre el riego por goteo subsuperficial a 10 cm de profundidad al compararlo con la profundidad de 20 y 30 cm, entre estos dos últimos tratamientos no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

Sobre la superficie del suelo se observó el humedecimiento realizado por el emisor subsuperficial a 10 cm de profundidad; no obstante, a las profundidades de 20 y 30 cm no se observó humedad en el perfil superficial. Esto guardó relación con lo indicado por **Bonachela, et al. (2001)**, que señaló que mientras el bulbo húmedo estuvo en contacto con la radiación solar directa, la evaporación fue mayor, existiendo un consumo no beneficioso para la planta, considerado en hasta un 43% para cultivos jóvenes.

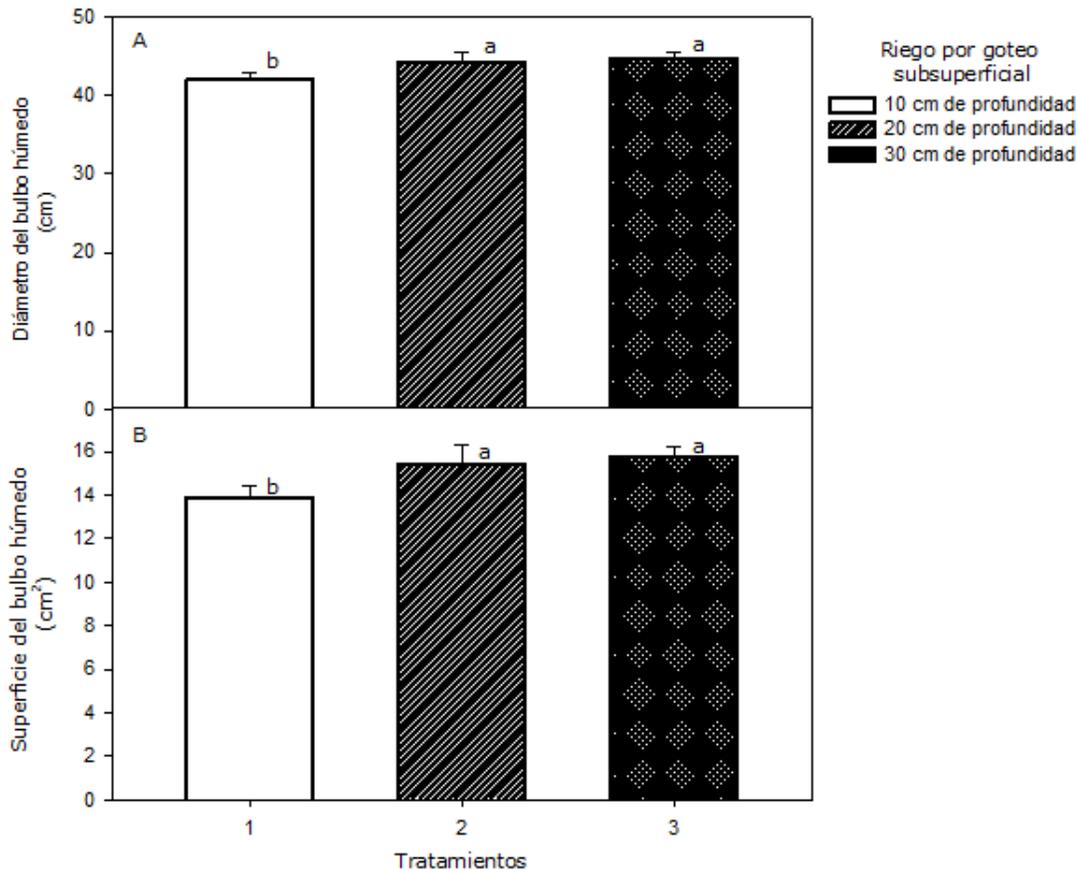


Figura 5. Diámetro (A) y superficie del bulbo húmedo (B) por el riego aplicado al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) híbrido duro PIONEER 30K75 irrigado a través de riego por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,043$  y  $P < 0,05$ ) para las variables rendimiento ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) y eficiencia de uso del agua ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) por efecto de los tratamientos, respectivamente. En lo referente al rendimiento del grano seco de maíz, las diferencias se presentaron entre los tratamientos de riego por goteo subsuperficial a los 20 y 30 cm de profundidad, con respecto al tratamiento de 10 cm de profundidad, entre los dos primeros tratamientos mencionados no hubo diferencias estadísticas (figura 6). El rendimiento fue de 9.232,8; 10.337,5 y 10.189,1  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Al comparar los resultados obtenidos en esta investigación con los rendimientos nacionales que fueron de 4420,3  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2019), esto representó más del doble de la producción nacional, incluso con el tratamiento que presentó los menores resultados que correspondió con el riego por goteo subsuperficial a 10 cm de profundidad. Esto constituyó un incremento de 2,08; 2,34 y 2,30 veces con respecto a los rendimientos nacionales, con respecto a los tratamientos de riego por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad, respectivamente.

La diferencia entre el tratamiento de 20 cm de profundidad fue de 1.104,7 y de 148,4  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  al compararlo con el riego a 10 y 30 cm de profundidad, respectivamente, Zamora, et al. (2007), reportaron rendimientos de maíz duro sembrado en México, utilizando riego por goteo entre 6.061,00 y de 9.271,58  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , igualmente. **Caicedo, et al. (2017)**, indicaron rendimientos de maíz durante el periodo de lluvia, en Portoviejo, Manabí, Ecuador de 7.740  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (p. 40), estos resultados fueron inferiores a los encontrados en esta investigación. En este sentido, Zamora, et al. (2007), señalan que una producción comercial de maíz bajo riego con rendimientos entre 6.000 y 9.000  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  podría ser considerada aceptable; además, de alcanzar entre 10 y 13% de humedad del grano.

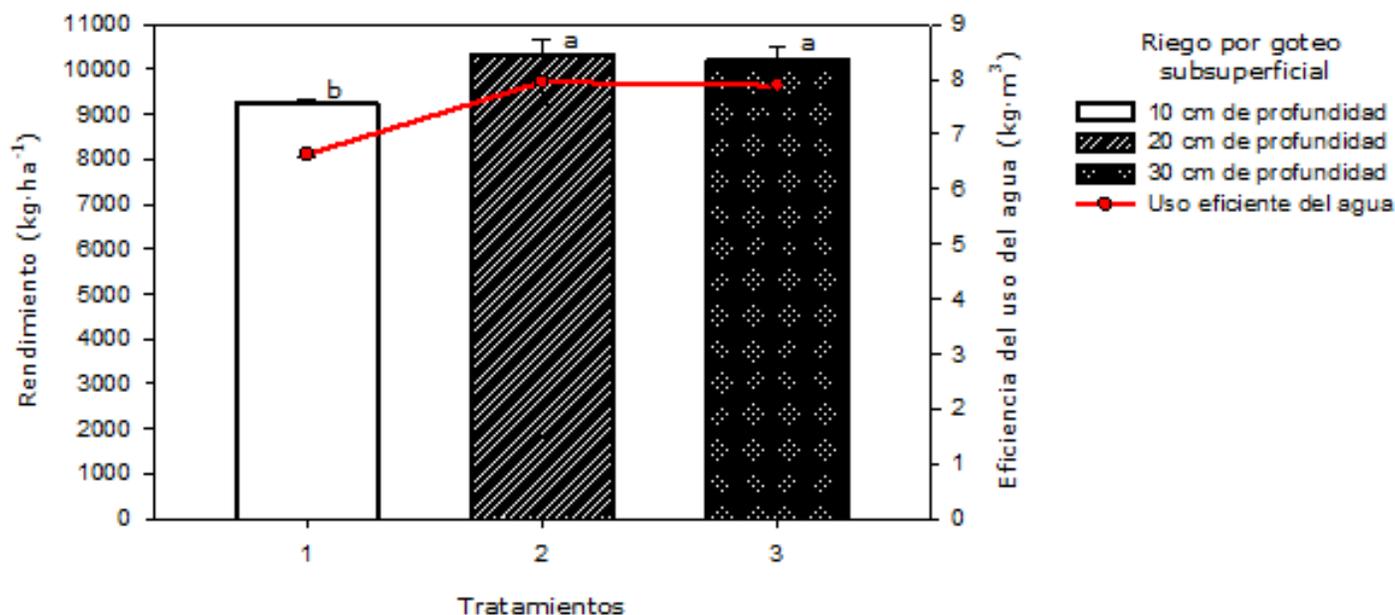


Figura 6. Rendimiento (kg·ha<sup>-1</sup>) y eficiencia de uso del agua (kg·m<sup>-3</sup>) por el riego aplicado al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) híbrido duro PIONEER 30K75 irrigado a través de riego por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad.

Hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de 20 y 30 cm de profundidad al compararlos con el de 10 cm de profundidad. La eficiencia de uso del agua o productividad del agua suministrada fue de 6,63; 7,95 y 7,89 kg·m<sup>-3</sup>, para los tratamientos de riego por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad, respectivamente (figura 6). Los tratamientos de riego por goteo subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad no presentaron diferencias estadísticas entre ellos. No obstante, el riego por goteo subsuperficial a 20 cm de profundidad mostró los mayores valores de eficiencia en el uso del agua y rendimiento en el cultivo de maíz. La productividad máxima del agua fue de 7,95 kg·m<sup>-3</sup> en el riego subsuperficial a 20 cm de profundidad, lo cual correspondió a 0,13 y 16,08% de un mayor ahorro de agua al compararlo con riego por goteo subsuperficial a 30 y 10 cm de profundidad.

Zamora, et al. (2007), encontraron valores de eficiencia en el uso del agua en maíces híbridos regados por goteo entre 1,9 y 2,96 kg·m<sup>-3</sup> (p. 35). Por otro lado, Salomó, et al. (2019), encontraron una eficiencia de uso del agua aplicado por goteo en el cultivo de maíz híbrido entre 2,99 y 2,70 kg·m<sup>-3</sup> a profundidades de 25 y 35 cm, respectivamente; el riego por inundación presentó una eficiencia de 1,80 kg·m<sup>-3</sup>.

Es de resaltar que con el riego por goteo subsuperficial a 10 cm de profundidad se observó área humedecida en el perfil superior del suelo, mientras que en el riego por goteo subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad se observa el perfil superior del suelo totalmente seco (figura 1). Al respecto, Thompson, et al. (2009), demostraron que hubo un control significativo de arvenses, y los rendimientos fueron mayores al compararlos con el riego superficial, atribuyendo a que el agua y los nutrientes alcanzaron la parte más activa de las raíces.

## CONCLUSIONES

Con la utilización de riego por goteo subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad el maíz híbrido duro PIONEER 30K75 presenta el menor volumen total de agua aplicado, el menor tiempo total de riego, la menor frecuencia de riego, el mayor diámetro y superficie de bulbo húmedo, el mayor rendimiento y eficiencia de uso del agua, aun cuando en estas dos profundidades no hubo diferencias estadísticas significativas, con 20 cm de profundidad en general, se presentaron los mayores resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F. J., & Fereres, E. (2001). Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards. *Irrigation Science*, 20(2), 65–71.
- Caicedo, M., Villavicencio, P., & Saltos, E. (2017). Aptitud combinatoria general y específica de líneas puras de maíz amarillo duro y selección de híbridos simples. In *Ecuador es calidad: Revista Científica Ecuatoriana*. 4(2), 36-52.

- Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2019). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. INEC: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf)
- Ecuador. Secretaría del Agua. (2019). Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027. <https://www.agricultura.gob.ec/el-plan-nacional-de-riego/>
- García, I., Durán, V., Jiménez, J., & Muriel J. (2011). Improved Water-Use Efficiency by Deficit-Irrigation Programmes: Implications for Saving Water in Citrus Orchards. *Scientia Horticulturae*, 128(3), 274-282.
- Geerts, S., y Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96(9), 1275–1284.
- Lamm, F. R., & Trooien, T. P. (2003). Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation Science*, 22(3), 195–200.
- [Lucero, G., Troyo-Diéguez, E., & Murillo-Amador, B. \(2017\). Diseño de un sistema de riego subterráneo para abatir la evaporación en suelo desnudo comparado con dos métodos convencionales. \*Agrociencia\*, 51\(5\), 487-505.](#)
- Montemayor, J. A., Olague, J., Fortis, M., Sam, R., Leos, J. A., Salazar, E., Castruita, J., Rodríguez, J. C., & Chavarría, J. A. (2007). Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 163–168.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2013). Informe sobre Temas Hídricos. Afrontar la Escasez de Agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. FAO. <http://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2019). Perspectivas Agrícolas 2019-2028, 1-344. OCDE-FAO. <https://doi.org/10.1787/7b2e-8ba3-es>.
- Qadir, M., Sharma, B. R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., & Karajeh, F. (2007). Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural Water Management*, 87(1), 2–22.
- Salomó, J., Sanmartín, J.M., Pérez, C., Maresma, A., & Llovetas, J. (2019). Riego por goteo subterráneo en cultivos de maíz y alfalfa. Estudio técnico-económico comparativo entre riego por inundación y riego por goteo enterrado. *Vida Rural*, 1, 43-48.
- Siyal, A. A., & Skaggs, T. H. (2009). Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. *Agricultural Water Management*, 96(6), 893–904.
- Sun, H., Shao, L., Liu, X., Miao, W., Chen, S., & Zhang, X. (2012). Determination of water consumption and the water-saving potential of three mulching methods in a jujube orchard. *In European Journal of Agronomy*. 43, 87–95).
- Thompson, T.L., Huan-cheng PANG, Yu-yi LI. (2009). The Potential Contribution of Subsurface Drip Irrigation to Water-Saving Agriculture in the Western USA, *Agricultural Sciences in China*, 8 (7), 850-854.
- Zamora, S., Fenech, L., Ruiz, F., Pérez, W., López, A. (2007). Eficiencia en el uso del agua en maíz (*Zea mays* L.) con riego por goteo, en el Valle de la Paz, Baja California Sur. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 33-36.
- Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). El riego en el Ecuador: Problemática, debate y políticas. Sistema de capacitación para el manejo sostenible de los recursos naturales renovables. CAMAREN. <https://hal.inrae.fr/hal-02833506/document>
- Zhang, G., Shen, D., Ming, B., Xie, R., Jin, X., Liu, C., Hou, P., Xue, J., Chen, J., Zhang, W., Liu, W., Wang, K., & Li, S. (2019). Using irrigation intervals to optimize water-use efficiency and maize yield in Xinjiang, northwest China. *The Crop Journal*, 7(3), 322–334.