

Efecto de la pendiente del terreno y tuberías terciarias en la uniformidad de riego, bulbo húmedo y rendimiento del cultivo de arveja (*Pisum sativum*)

Effect of the slope of the terrain and tertiary pipes in the uniformity of irrigation, humid bulb and pear crop yield (*Pisum sativum*)

Edgar Condori Valverde^{1*}

Resumen

La región sierra del Perú posee suelos agrícolas con pendientes pronunciadas que no son utilizadas durante todo el año, debido a que existe limitaciones al aplicar el riego tradicional por gravedad que conduce a la baja velocidad de infiltración, erosión de suelos, formación de escorrentía, lixiviación de los fertilizantes aplicados y la baja eficiencia de riego; en ese entender, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias sobre la uniformidad de riego, formación de bulbo húmedo y el rendimiento de cultivo de arveja. Se acondicionaron tres parcelas con pendientes de 10%, 20% y 40%; y en cada parcela se instalaron tres subunidades de riego, insertando 0, 2 y 6 válvulas en las tuberías terciarias, teniendo un total de 09 tratamientos. Las subunidades se instalaron con cintas de riego de 1.6 l/h de caudal de emisor a 20cm entre goteros y a 60cm entre laterales. El coeficiente de uniformidad de riego (CU) se determinó con el método Keller y Karmeli; el tratamiento 7 (pendiente de terreno 40% + tubería terciaria con 06 válvulas) presentó mayor eficiencia CU = 96.30%; valorándose con un calificativo de excelente a la uniformidad de riego. Todos los tratamientos presentan similitud en la formación del bulbo húmedo a 45min de riego; con un radio del suelo mojado ≥ 10 cm, profundidad ≥ 30 cm en suelo tipo franco arenoso. En cuanto al rendimiento, el tratamiento 3 (pendiente de terreno 10% + tubería terciaria con 02 válvulas) presentó 10.75 t/ha.

Palabras clave: Riego por goteo, cintas de riego, coeficiente de uniformidad, diámetro del suelo mojado, arveja.

Abstract

The Sierra of Perú region has agricultural soils with pronounced slopes that are not used throughout the year, because there are limitations when applying traditional gravity irrigation that leads to low infiltration speed, soil erosion, runoff formation, leaching, leaching of applied fertilizers and low irrigation efficiency; In that understanding, the objective of the investigation was to evaluate the effect of the slope of land and the arrangement of tertiary pipes on the uniformity of irrigation, wet bulb formation and the crop yield of peas. Three plots were conditioned with slopes of 10%, 20% and 40%; And in each plot three irrigation subunits were installed, inserting 0, 2 and 6 valves in the tertiary pipes, having a total of 09 treatments. The subunits were installed with irrigation tapes of 1.6 l/h of emitter flow at 20cm between drippers and 60cm between sides. The irrigation uniformity coefficient (CU) was determined with the Keller and Karmeli method; Treatment 7 (slope of land 40% + tertiary pipe with 06 valves) presented greater efficiency Cu = 96.30%; valued with an excellent qualifier to irrigation uniformity. All treatments have similarity in the formation of the humid bulb at 45min of irrigation; With a wet soil radius ≥ 10 cm, depth ≥ 30 cm on sandy frank soil. Regarding performance, treatment 3 (slope of land 10% + tertiary pipe with 02 valves) presented 10.75 t/ha.

Keywords: Drip irrigation, irrigation tapes, uniformity coefficient, wet soil diameter, vetch.

Recibido: 19/06/2023

Aceptado: 16/01/2024

Publicado: 31/01/2024

Sección: Artículo original

***Autor correspondiente:** 203012@unsaac.edu.pe

Introducción

El proyecto de investigación inicia al observar el efecto del cambio climático que viene produciendo la desglaciación de los polos y las cordilleras, donde estos fenómenos a futuro producirán la escasez del agua dulce. Granados A.; H. Edward (2019) en sus estudios concluyen que, por efecto de la variación de la temperatura, se ha reducido el área y el volumen glaciar de la cordillera de Huayhuash – Perú.

Por otro lado; en la región sierra del Perú, existe terrenos agrícolas con pendientes pronunciadas; estas no son utilizadas en el cultivo durante todo el año, debido a las limitaciones que ofrece el riego por gravedad que genera una baja velocidad de infiltración, erosión de suelos, formación de escorrentía, lixiviación de los fertilizantes aplicados, baja eficiencia de riego y la

disminución en el rendimiento del cultivo. Sin embargo, estos aspectos pueden ser controlados con la aplicación de otros métodos de riego y la aplicación de las nuevas tecnologías como el riego por goteo.

Por tanto, la investigación consistió en evaluar los efectos que produce la pendiente del terreno y tuberías terciarias en la uniformidad de riego, formación de bulbo húmedo y en el rendimiento en el cultivo de arveja. Para tales fines; se realizó nivelaciones de

¹ Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5470-3409>

Como citar: Condori Valverde, E. (2024). Efecto de la pendiente del terreno y tuberías terciarias en la uniformidad de riego, bulbo húmedo y rendimiento del cultivo de arveja (*Pisum sativum*). *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 26(1), 5-15. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.536>



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

terreno con pendientes de 10%, 20% y 40%; y en cada parcela se instalaron tres subunidades de riego con la disposición de 0, 2 y 6 unidades de válvulas para regular los caudales, teniendo un total de 9 tratamientos con un diseño factorial de $(3)^2$.

Se concluye, que, en terrenos con pendientes hasta un 40%, se pueden aprovechar normalmente para fines agrícolas empleando la técnica del riego por goteo; previamente para ello, se deberá garantizar un adecuado diseño agronómico, geométrico e hidráulico del sistema de riego; con estos estudios la investigación brinda un aporte y conocimiento a los pequeños y medianos productores de la región sierra del Perú.

Materiales y métodos

Lugar de estudio

El experimento se desarrolló en una parcela acondicionada localizada en la comunidad San Andrés

de Yanacca del distrito de Tambobamba, Cotabambas, Apurímac – Perú, ubicado a 4.5 km de la ciudad de Tambobamba, sus coordenadas corresponden a $13^{\circ}57'49.05''$ S y $72^{\circ}11'31.51''$ O, encontrándose a una altitud de 3,405 msnm.

Diseño experimental y tratamientos

En la presente investigación se empleó el diseño experimental con un arreglo factorial de $(3)^2$, teniendo un total de 09 tratamientos que se describen como sigue.

- T1: Pendiente 10% + tubería terciaria sin válvulas
- T2: Pendiente 10% + tubería terciaria con 6 válvulas
- T3: Pendiente 10% + tubería terciaria con 2 válvulas
- T4: Pendiente 20% + tubería terciaria con 2 válvulas
- T5: Pendiente 20% + tubería terciaria sin válvulas
- T6: Pendiente 20% + tubería terciaria con 6 válvulas
- T7: Pendiente 40% + tubería terciaria con 6 válvulas
- T8: Pendiente 40% + tubería terciaria con 2 válvulas
- T9: Pendiente 40% + tubería terciaria sin válvulas

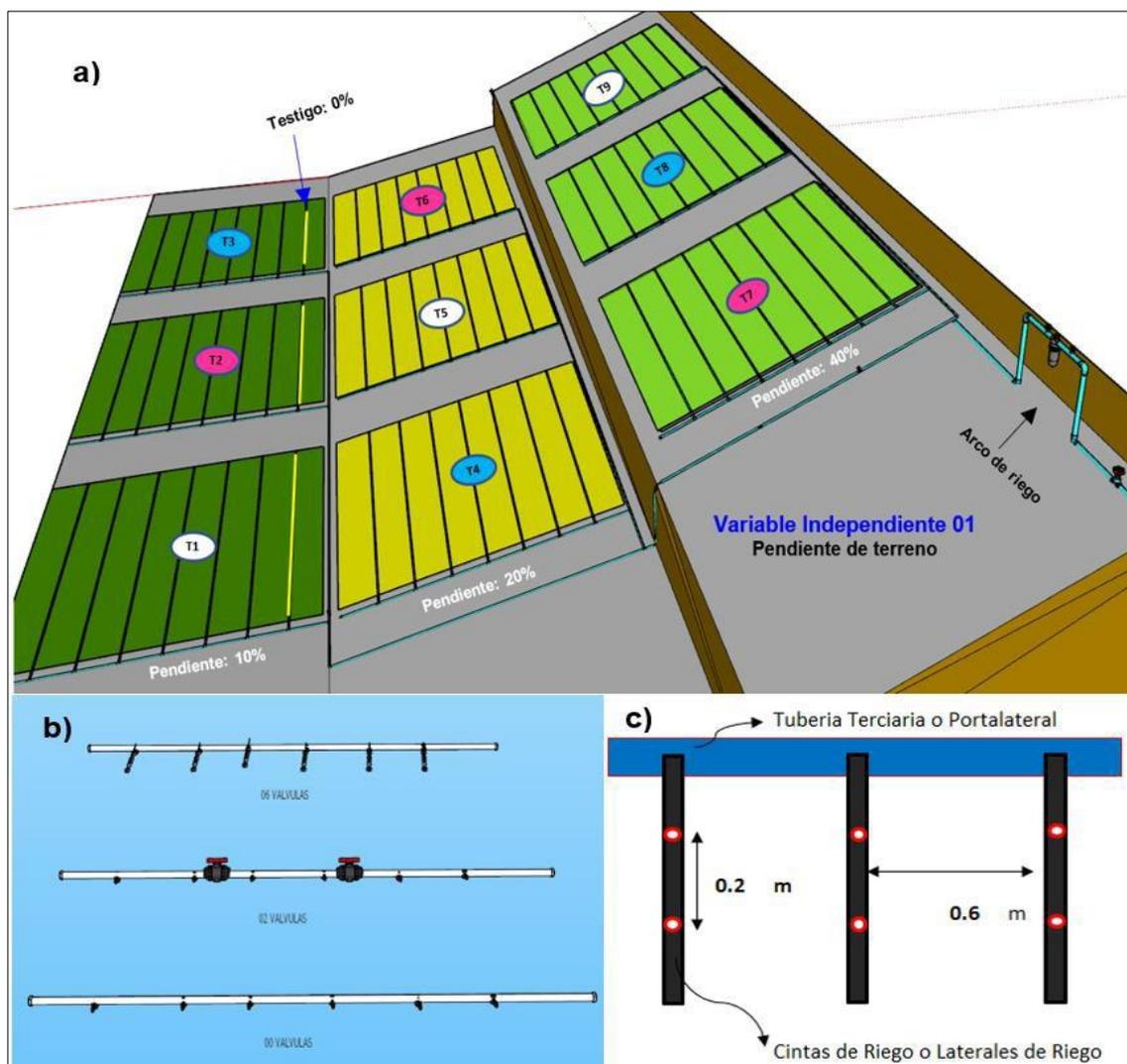


Figura 1. Representación del sistema de riego evaluado. **a)** Parcelas experimentales según el diseño experimental; **b)** Disposición de tuberías terciarias de 03 diferentes formas con incorporación de válvulas manuales; **c)** Diseño de la disposición de laterales con cintas de riego.

Análisis de suelo agrícola

Las muestras se obtuvieron empleando la técnica de rejilla triangular en las tres parcelas, estas se enviaron a un laboratorio privado SLAB S.A.C. Los resultados de la textura del suelo, corresponde a franco arenoso (67.51% de arena, 19.99% de arcilla y 12.5% de limo); capacidad de campo 31%; punto de marchitez 17.94% y una Densidad Aparente 1.35g/cm³.

Análisis de agua de riego

Las muestras se tomaron tres veces del hidrante de riego, ubicado a 30m de la parcela experimental; posteriormente se homogenizaron y se envasaron en un recipiente de botella plástica, para luego enviarlos al laboratorio de SLAB S.A.C para su evaluación de parámetros fisicoquímicos. El agua de riego tuvo un pH 7.06, y la Conductividad eléctrica 146.10 uS/cm; por otro lado, la composición química del agua comparando con los valores reportados por Mendoza (2013) se encuentra dentro de los parámetros máximos normales y es apta para su aplicación en el riego para diferentes cultivos.

Determinación de Coeficiente de Uniformidad (CU)

El CU se determinó con la metodología de Keller y Karmeli (1974) para cada parcela se seleccionó 16 emisores y se eligen los laterales más cercano y más lejano de la subunidad de riego.

Evaluación del bulbo húmedo

Se controló el tiempo de riego para medir la formación del radio del suelo mojado y la profundidad

del mismo, conociendo las características fisicoquímicas del suelo y el caudal del emisor del gotero. Se evaluó a tiempos de 15, 30 y 45min, para luego medir las dimensiones de la formación del bulbo húmedo utilizando la cinta métrica y pala pequeña para extraer el suelo.

Evaluación del cultivo de arveja

La siembra del cultivo se efectuó con la variedad de arveja Chinchucho, que se caracteriza por ser precoz y de buena aceptación comercial; además se ha fertilizado con productos orgánicos e inorgánicos, según los requerimientos mínimos del cultivo de arveja. Las semillas se cultivaron a una densidad de 20cm entre planta y 60cm entre laterales, en un área de 4x4m = 16m² cada tratamiento, en una extensión total de 160m², ocupando un espacio experimental total de 330 m². Se realizó un plan de fertilización, empleando la dosis N-P-K-S-Mg (10.6 –1 –6.2 – 4.4 – 0.4– 0.8), que representa en kg a nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio respectivamente.

El riego de la arveja se desarrolló en forma diaria, para ello se registró en una planilla de riego, para estimar la reposición del agua perdida durante el día, efecto de evapotranspiración del cultivo (ET_c), el agua de riego a reponer se calculó utilizando el método del tanque evaporímetro clase A, con la ayuda del equipo Anemómetro digital Modelo PM6252B, las evaluaciones se realizaron en horarios de 7:30 de la mañana con una variación ± 3min, los riegos se efectuaron por un tiempo promedio de 8 min, el cual varió según el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo de arveja.

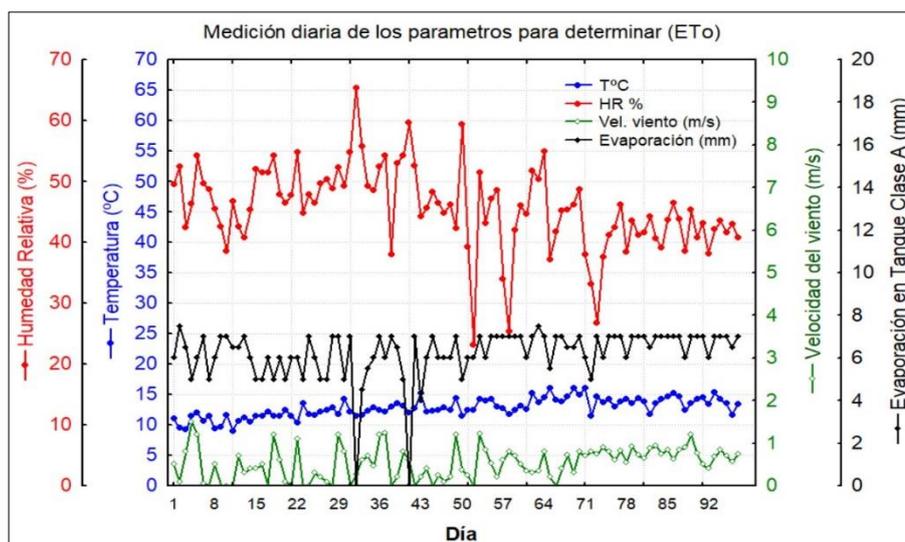


Figura 2. Gráfico del comportamiento diario %HR, T(°C), velocidad del viento (m/s), y evaporación en el tanque clase A (mm); para fines de determinación de evapotranspiración de referencia (ET_o).

Se precisa que la presión en la tubería matriz es de 30mca, y la parcela experimental según el diseño hidráulico requiere un total de 27.85mca. Por tanto, no fue necesario comprar una electrobomba para este sistema; ya que la presión en la tubería secundaria varío

entre 18 – 22mca y en el arco de riego la presión fue mayor a 10mca, con el cual se garantiza el sistema de riego y su uniformidad, en vista que los laterales de riego requerían una presión de operación 8.4mca.

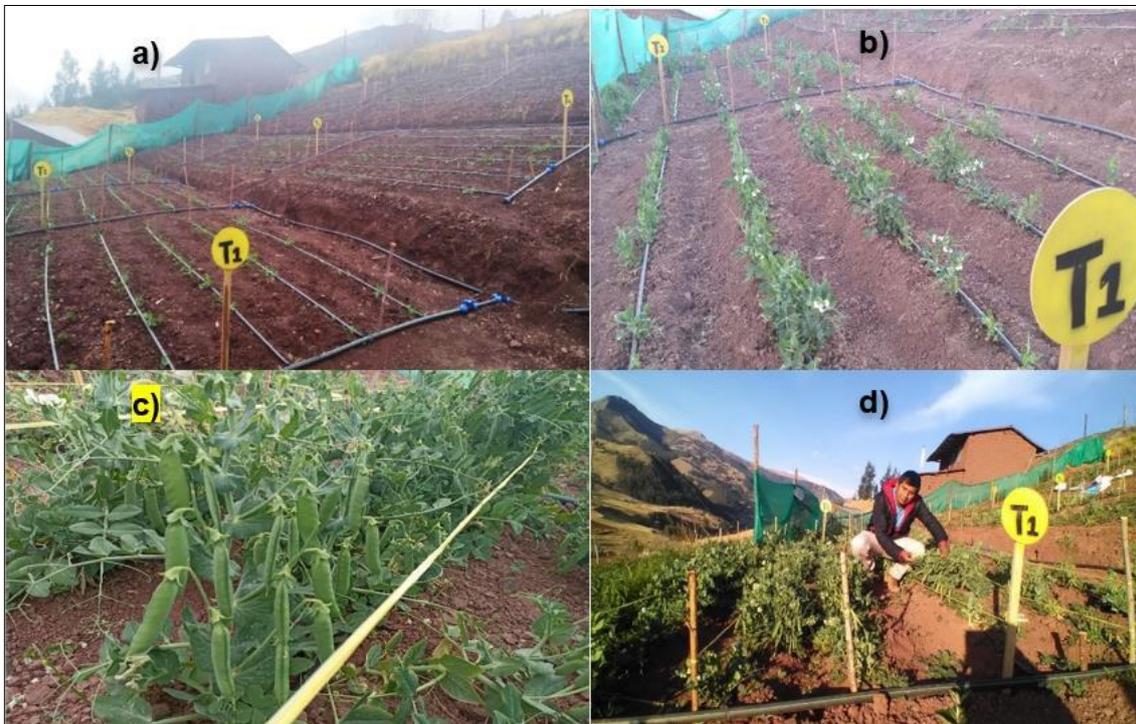


Figura 3. a) Parcela Experimental; b) Inicio de floración de las plantas de arveja; c) Desarrollo de las vainas de arveja; d) Cosecha de arveja variedad chinchucho.

El aporque se realizó cuando la planta tenía una altura de 7 a 8 cm, se ha utilizado una herramienta pico para facilitar la remoción del suelo agrícola. Por otro lado, el mantenimiento del sistema de riego, corresponde a la limpieza de los filtros de anillas de 120 mesh tipo “Y” lavándose manualmente cada 7 días, para evitar la obturación de los emisores y así garantizar el caudal adecuado y la uniformidad de riego. Las plantas de arveja iniciaron su floración a los 50 días después de la siembra. La cosecha de arveja en grano verde, se efectuó a los 97 días después de la siembra, los cultivares presentaron una producción de 12 – 16 vainas/planta; y las vainas tenían entre 6 a 9 granos/vaina, predominado en su mayoría de 8 granos por vaina.

Resultados

Coefficiente de Uniformidad de Riego (CU)

Mediante los resultados de la figura 04, podemos interpretar que la mayor uniformidad de riego se

desempeñó en el tratamiento 7 (pendiente de terreno 40% + tubería terciaria con 06 válvulas) $T7 = 96.30\%$; valorándose con un calificativo de excelente a la uniformidad de riego

Además, según el diseño y la instalación del sistema de riego en las parcelas experimentales (Figura 01-a); se precisa que el caudal ingresa por la parte alta de las subunidades de riego que tiene una pendiente de 40%; razón por el cual, la uniformidad de riego en los tratamientos T7, T8 y T9 son más homogéneas que las otras parcelas con pendiente de 20% y 10%. A este comportamiento hidráulico (Saldarriaga, 2016) relaciona que la pérdida de carga (H_f) es independiente de la posición de la tubería y la presión interna bajo el cual circula el agua; lo que se demuestra que las instalaciones de riego en pendientes pronunciadas, normalmente se pueden emplear bajo condiciones de un diseño adecuado.

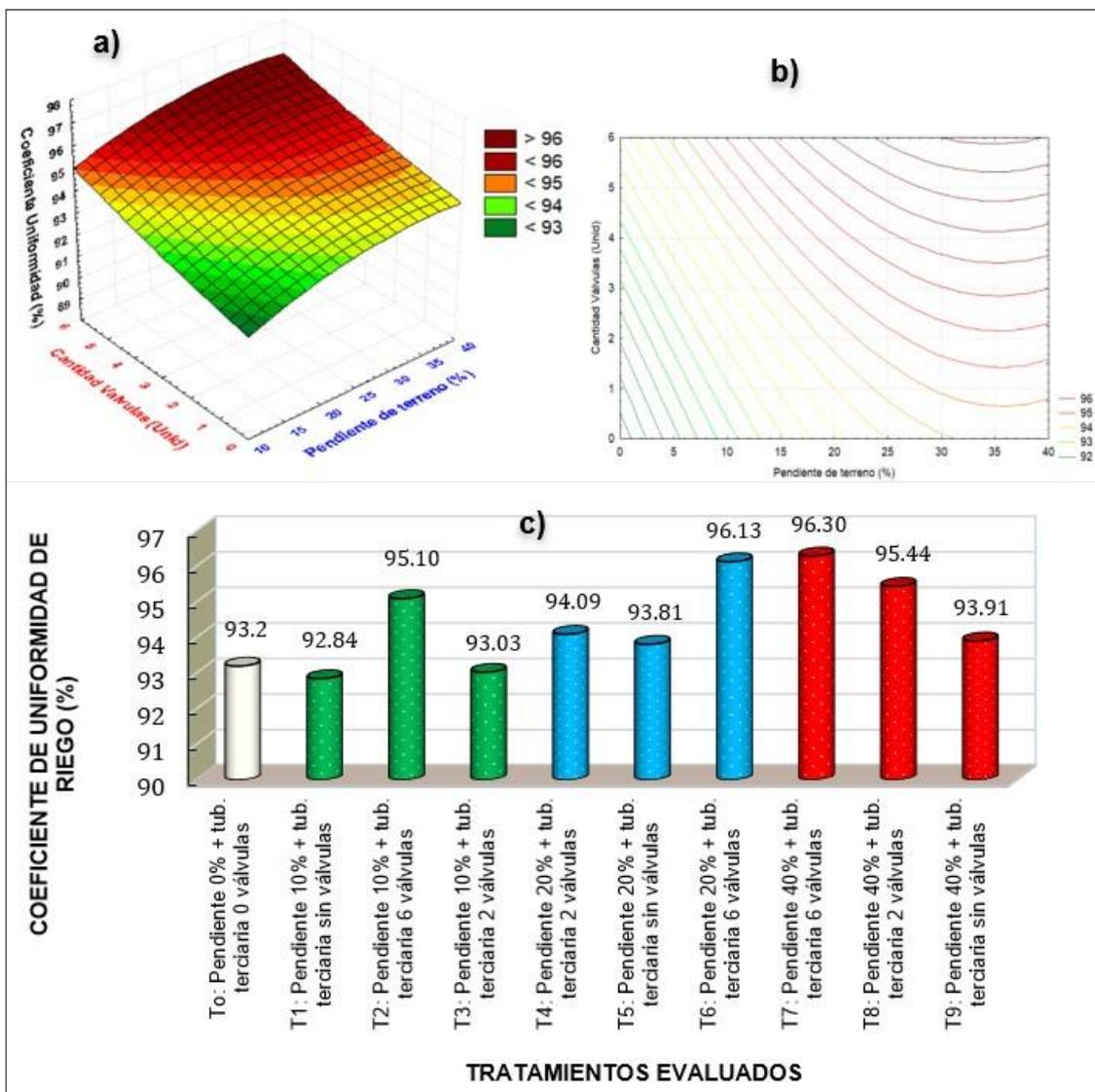


Figura 4. Resultado de Coeficiente de Uniformidad; **a)** Grafico de superficie respuesta, **b)** Gráfico de contornos, **c)** Grafico en barras.

Según los principios de Bernoulli, podemos decir que las parcelas de riego instaladas a una distancia más abajo, tienden a disminuir mínimamente el coeficiente de uniformidad de riego, debido a que, el caudal y la presión van disminuyendo proporcionalmente según las subunidades de riego existentes en todo el sistema. Asimismo, podemos señalar que, al insertar las válvulas en las tuberías terciarias, hasta un pendiente de 40% ayuda a mejorar el coeficiente de uniformidad.

Los resultados de la figura 04, indican que la parcela con pendiente de 40%, tratamientos T7 y T8

presentan un CU=96.30% y 95.44% respectivamente; esto debido a que, el caudal ingresa al sistema de riego por el punto extremo más alta de las parcelas experimentales.

Formación del bulbo húmedo

Para realizar los estudios, se ha puesto en operación el sistema de riego, controlando el tiempo a 15, 30 y 45 minutos; para luego medir el diámetro del suelo mojado y la profundidad de bulbo húmedo generado por el agua irrigada.

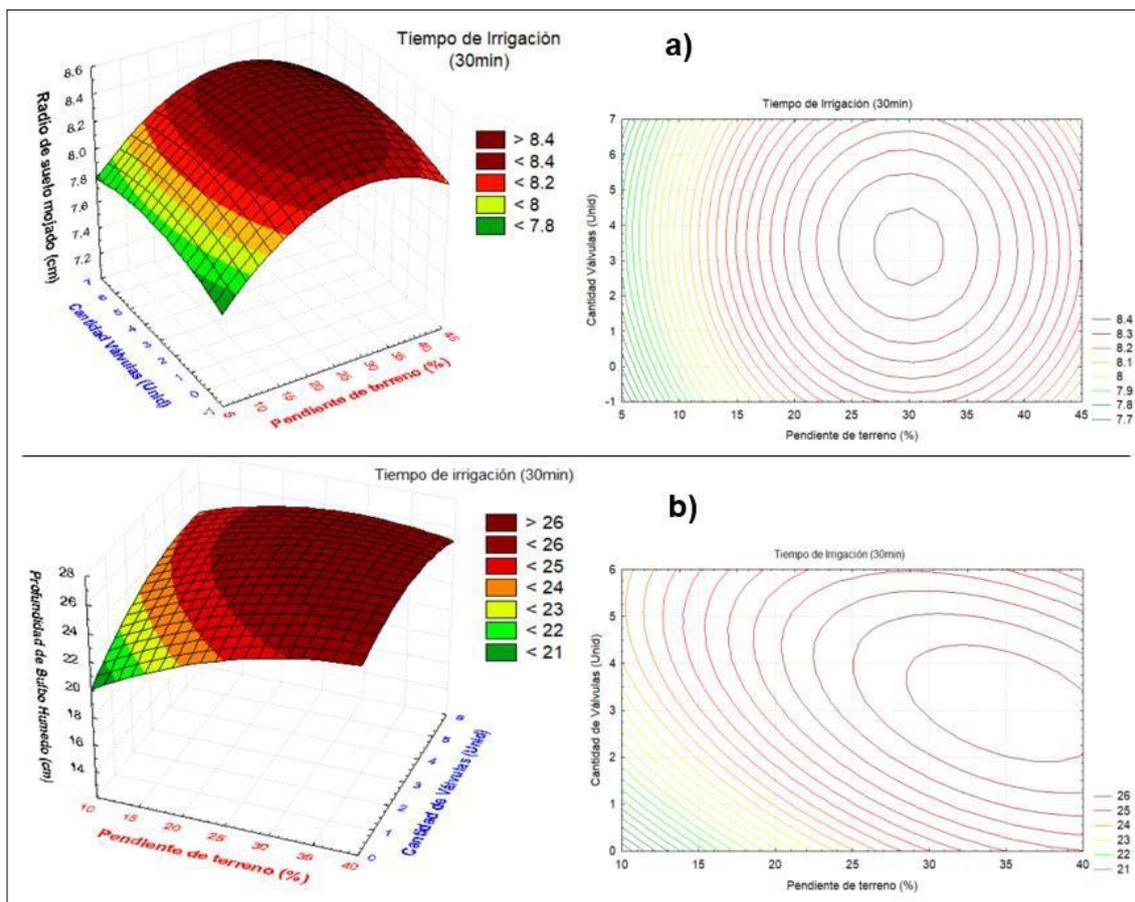


Figura 5. Resultados de formación de Bulbo Húmedo. **a)** Grafico de superficie respuesta y contornos para el radio de suelo mojado; **b)** Grafico de superficie respuesta y contornos de la profundidad del bulbo húmedo.

De la figura 05-a, podemos interpretar que, al aplicar una irrigación por 30 minutos, se obtiene un valor máximo de 8.4cm del radio de suelo mojado; esto se lograría en una parcela con pendiente de 30% + la instalación de 03 válvulas en las tuberías terciarias. Quispe (2014) reportó un radio del suelo mojado de 8.5cm, irrigado en un tiempo de 30min., estos valores son muy cercanos a los resultados de nuestra investigación, ya que el caudal de las cintas de riego tuvo las mismas descargas de 1.6l/h.

En cuanto al resultado de la profundidad del bulbo húmedo (figura 05-b), interpretamos que, a mayor

pendiente de terreno y a mayor cantidad de instalación de válvulas en las tuberías terciarias, se obtiene la máxima profundidad que llega hasta 26cm bajo el subsuelo, con un tiempo de irrigación de 30 minutos. Por tanto, podemos decir que, las válvulas cumplieron su función de regular el caudal en las tuberías terciarias, garantizando la uniformidad del riego en el campo experimental.

El tiempo máximo de irrigación se estableció a 45min, porque, la profundidad del suelo fértil en algunos sectores del área experimental solamente llega hasta 30cm.

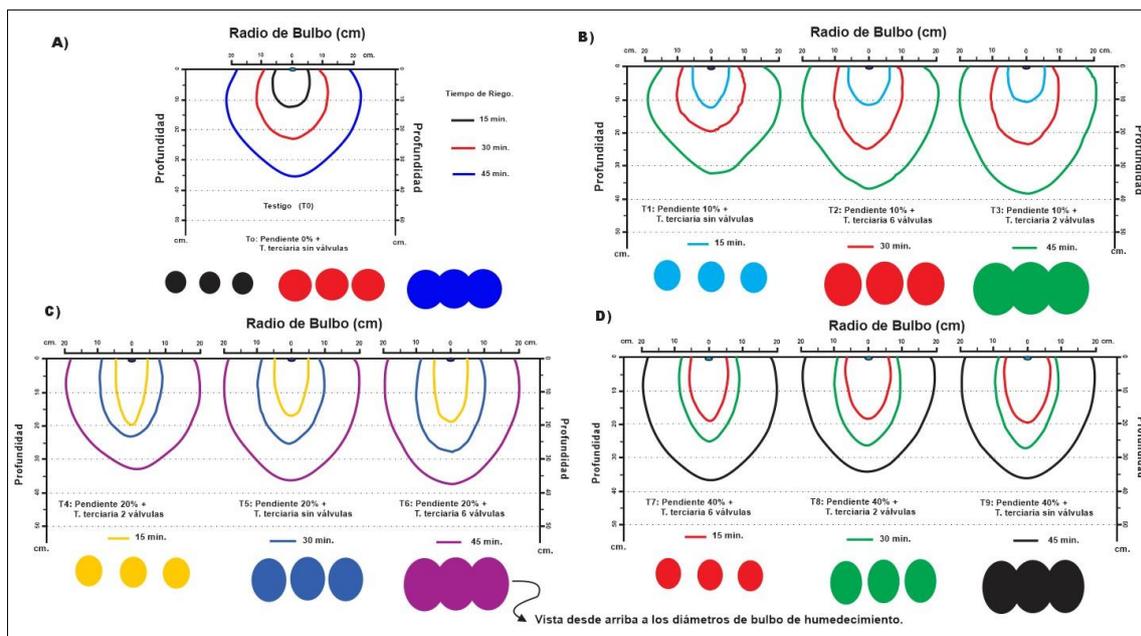


Figura 6. Resultados de formación del bulbo húmedo en todos los tratamientos y el testigo. **A)** Testigo en terreno plano y sin válvulas; **B)** Terreno con pendiente 10% + 0, 2 y 6 válvulas en tuberías terciarias; **C)** Terreno con pendiente 20% + 0, 2 y 6 válvulas en tuberías terciarias; **D)** Terreno con pendiente 40% + 0, 2 y 6 válvulas en tuberías terciarias.

En la figura 6-B, los resultados radio de suelo mojado son T1=8.07cm, T2=8.0cm y T3=7.97cm; mientras que la profundidad del bulbo húmedo fueron T1=20.1cm, T2=23.37cm y T3=22.87cm respectivamente. Estos suelos presentan una textura de tipo franco arenoso; y dichas formaciones son similares a los clasificados por Pizarro (1996), Medina (2000) y Moya (2009) para un suelo tipo franco. El T1 se diferencia de los T2 y T3 en la profundidad del bulbo húmedo; debido a que, en este sector de la parcela experimental a unos 35cm existía la presencia de una capa rocosa que impide la infiltración del agua. Por otra parte, se precisa que el diámetro del suelo mojado, presenta la forma de un círculo irregular, porque el suelo tiene una pendiente de 10%.

En la figura 6-C, los resultados radio de suelo mojado corresponden a los tratamientos T4=8.33cm, T5=8.17cm y T6=8.37cm; y la profundidad del bulbo húmedo mide T4=24.97cm, T5=22.33cm y T6=25.83cm. Todos los tratamientos presentan similitud en la formación del bulbo húmedo, coincidiendo sus características con la textura del tipo de suelo franco arenoso (Pizarro, 1996). El T4 se diferencia de los T5 y T6 en la medición de la profundidad del bulbo húmedo; debido a que en este sector de la parcela a 32cm existe la presencia de una capa rocosa, que impide la infiltración del agua. Además, el diámetro del suelo mojado presenta

una forma de elipse irregular, debido a que, el agua de riego tiende a filtrar en un suelo con pendiente de 20%; el área de mojado se genera en la parte baja del gotero.

Los resultados del radio de suelo mojado (figura 06-D), fueron T7=8.23cm, T8=8.40cm y T9=8.23cm; y la profundidad del bulbo húmedo fue T7=25cm, T8=26cm y T9=26cm. Todos los tratamientos presentan semejanza en la formación del bulbo húmedo, coincidiendo la forma según la textura del suelo de tipo franco arenoso, tal como lo clasifica Monge (2018) para un tipo suelo franco. La profundidad de bulbo húmedo llegó en promedio hasta 23.5cm. El diámetro del suelo mojado, presenta una forma de tipo elipse; debido a que, el agua de riego se infiltra en una pendiente del terreno al 40% mojado así al suelo en la parte baja del gotero.

Rendimiento del cultivo de arveja

Se determinó por el método gravimétrico utilizando una balanza digital con 2 decimales de precisión. Se pesó la cantidad de vainas por planta cosechada, y teniendo los datos de ladensidad de siembra entre plantas por 1m²; se proyectó para 1.0ha, que equivale a 10,000.00m², logrando así obtener los rendimientos de arveja verde en t/ha para cada tratamiento.

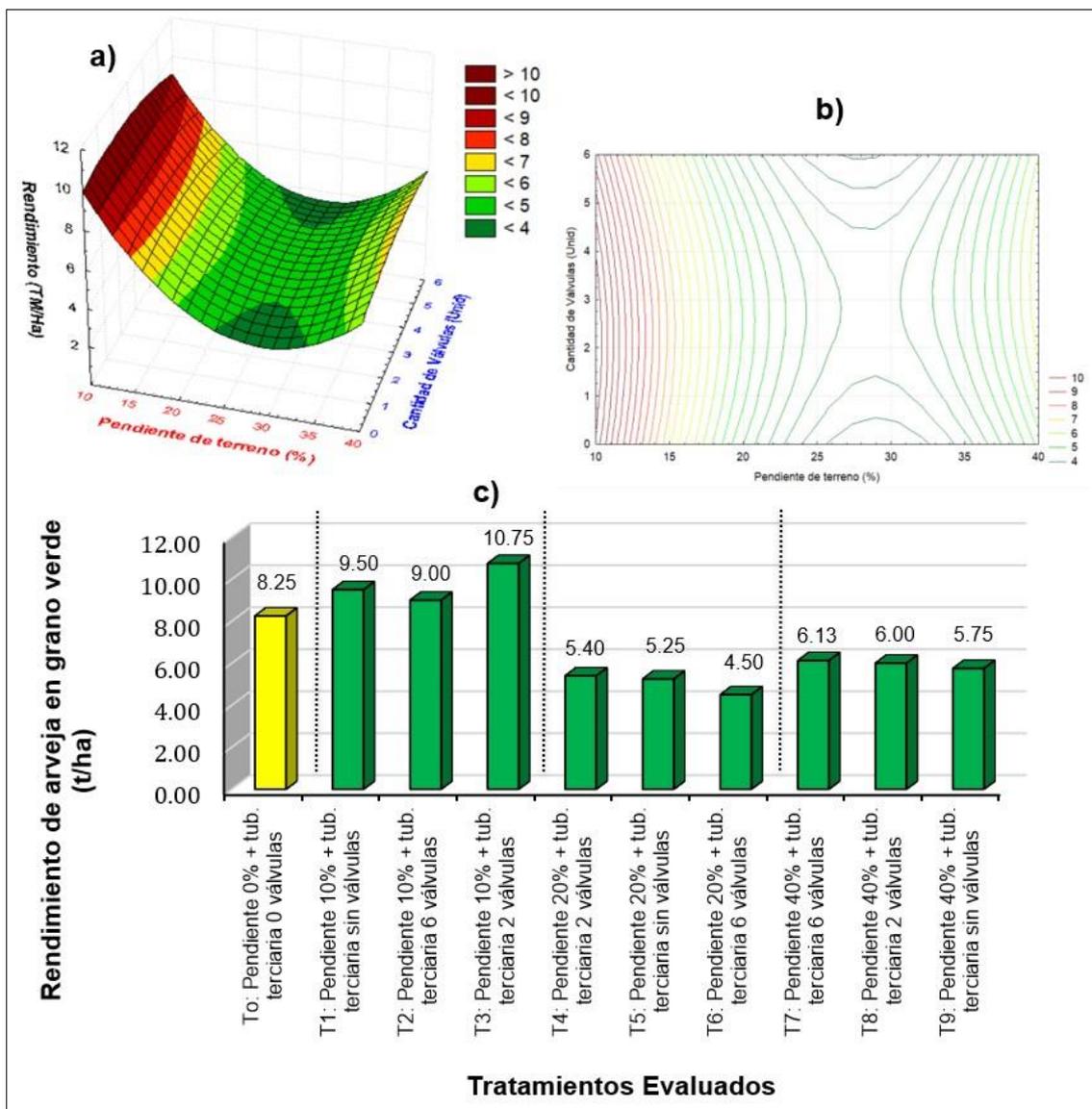


Figura 7. Resultados del rendimiento de cultivo de arveja. a) Superficie respuesta, b) Gráfico de contornos, c) Gráfico de barras.

Según la Figura 07, los mejores resultados fueron de la parcela experimental con una pendiente de 10%; donde T1=9.50 t/ha, T2=9.0 t/ha y T3=10.75 t/ha; y los tratamientos con menor rendimiento fueron en terrenos con pendientes de 20%, para T5=5.25 t/ha, y T6=4.50t/ha respectivamente.

Para fines de comparación, se ha considerado un testigo (To) en una cinta de riego, con una pendiente de 0% y sin válvulas insertadas en las tuberías terciarias, cuyo rendimiento de arveja fue 8.25 t/ha.

Discusión

En cuanto al coeficiente de uniformidad de riego, todos los tratamientos superan un $CU > 92\%$; Merriam y Keller (1978) califican este parámetro como Buena

desde ($CU=85\%$ a 95%) y Excelente una $CU > 95\%$; de esta forma el sistema de riego por goteo instalado en el campo experimental tendría un calificativo desde bueno a excelente.

Bedoya et al. (2018) para pendiente 3% reportó un $CU=90.42\%$ y para pendiente -3% un $CU=90.92\%$. Asimismo, Gavilán et al. (2018) evaluaron el efecto de la pendiente sobre la calidad del riego; demostraron que a mayores de 70m con una pendiente ligeramente ascendente $< 2\%$ empleando cintas de riego de 16mm determinó un $CU=85\%$. Asimismo, Canovas et al., (2015) evaluaron en pendientes de terreno desde 0 a 5%, tanto en sentido ascendente como descendente; los resultados para un terreno normal fue $CU=95\%$ y para pendiente 5% un $CU=84.8\%$. El sistema de riego por goteo instalado en parcelas con tres pendientes de terreno al 10%, 20% y 40% tuvieron valores de $CU > 92\%$; ya que las instalaciones corresponden a áreas

pequeñas de 330 m² y por ello resulta una eficiencia de riego con una valoración desde buena a excelente.

Las pérdidas de presión fueron estudios en un terreno normal por Ángeles y otros (2007), donde indican que, la pérdida de carga por fricción en una tubería con salidas múltiples en toda su longitud será menor que la pérdida de carga por fricción en una tubería simple sin salidas. Por otro lado, Royuela A. (1998) señala que las pérdidas de carga (hs) se deben a la perturbación del flujo que se produce en la toma (contracción-expansión y derivación de caudal) y concretamente son los Reynolds (Re) existente en las tuberías terciarias, y también influye la geometría de conexión. De la misma forma, Ángeles Hernández et al. (2002) indican que las pérdidas en carga localizadas se deben a la vorticidad y turbulencia provocada por los accesorios propios de la red. Sin embargo, en esta investigación se apreció que, en terrenos con pendientes pronunciadas, las pérdidas de carga en las tuberías terciarias se pueden omitir, ya que, por el desnivel de terreno, la presión se compensa y en parcelas experimentales de áreas menores a 1,000m², influye mínimamente en el coeficiente de uniformidad de riego localizado.

Según Lozano y Gavilán (2018) al evaluar la uniformidad de distribución del riego localizado en parcelas con pendiente de 3%, mencionan que los resultados varían en función de la duración del pulso de riego; es decir, esto ocurre como consecuencia de la influencia que tienen la duración de las fases de llenado y vaciado en el sistema de riego. Este comportamiento hidráulico, en nuestra investigación ha sido observado visualmente, específicamente en las parcelas con pendientes de 40% las fases de llenado y vaciado se producían en forma inversa, que se realiza en un terreno llano; es decir, los laterales (cintas de riego) primero se llenaban de agua en la parte baja y el vaciado en la parte alta.

En las parcelas experimentales con pendientes de 10, 20 y 40%, el tipo de suelo vario desde franco arenoso a franco arcillo arenoso y además la parcela con pendiente de 40% en su composición contenía pequeñas piedras de 35 a 40% del total de suelo agrícola; proporcionando así una mayor velocidad de infiltración del agua al subsuelo respecto a las otras parcelas; variando así los resultados de la profundidad de bulbo húmedo desde 20 a 26cm, irrigadas con cintas de 1.6l/h por 30min. Sin embargo, Quispe (2014) en su proyecto de investigación de riego por goteo, reportó que la profundidad de bulbo húmedo fue de 8.0cm, en una parcela llana irrigado con cintas de 1.6l/h por 30min, que correspondía a un tipo de suelo arcilla arenoso. Finalmente, se comprueba que la formación de bulbo húmedo, depende del tipo de suelo como indica Monge (2018). Asimismo, Las formas y

dimensiones fueron sustentadas por Gil-Marín, J. (2001) donde describe, que, cuando se incrementa el volumen de agua aplicado la humedad avanzará tanto en la profundidad como en diámetro del suelo, aumentando por supuesto el volumen de suelo mojado.

Por otra parte, Arragan T. F., Chipana R. R. (2015) reportó que el diámetro del suelo mojado fue de 11cm irrigado con cinta de riego de 1.0l/h en 1h, donde evaluó en un suelo sin roturación y desmenuzado; en sus conclusiones describe que el movimiento del agua es lento en la zona no saturada del bulbo húmedo, porque la segunda capa del suelo retrasa la infiltración e impide el avance sobre la profundidad, llegando solo hasta 28cm en 8h. Esta variación de resultados con nuestra investigación, se debe, porque las condiciones evaluadas son distintas en el terreno, tipo de suelo; por otra parte, nuestras parcelas experimentales fueron previamente roturadas, desmenuzadas y el terreno era suave hasta una profundidad de 30cm.

Cruz-Bautista, et al. (2015) determinaron un modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento, y señalan que este parámetro depende del volumen de agua aplicada, caudal del emisor, conductividad hidráulica saturada, contenido de humedad inicial y residual del suelo, y contenido de limo en el suelo. Por tanto, en esta investigación se ha observado que

efectivamente dichos parámetros influyen en los resultados, espacialmente en terrenos con pendientes mayores a 20%, donde la formación del bulbo húmedo presentó un diámetro de forma elíptica elongada.

El cultivo de arveja con mayor rendimiento se demostró en la parcela experimental con una pendiente 10% instalados con y sin válvulas en las tuberías terciarias, los rendimientos variaron desde 9.0 a 10.75 t/ha; y estos valores son cercanos a los reportados por Machaca (2018) en su investigación del cultivo de arveja variedad Chinchucho, quien obtuvo desde 9.8 - 13.8 t/ha. Por otra parte, Quispe (2014) en su trabajo reportó el rendimiento de arveja en grano verde 12.79 t/ha, irrigadas con cintas de riego a 1.6 l/h; por lo tanto, estos resultados también son cercanas a nuestro resultado de 10.75 t/ha. En tanto, Evaristo (2020) evaluó el efecto del rendimiento del cultivo de arveja variedad Quantum y reportó 10.27 t/ha, este valor es muy cercano a nuestro resultado.

En cuanto a los tratamientos con menor rendimiento fueron las parcelas experimentales con una pendiente 20% instalados con y sin válvulas en las tuberías terciarias, los rendimientos variaron desde 4.50 a 5.40 t/ha. Vale mencionar que, en un ensayo comparativo del

rendimiento de cinco cultivares de arveja desarrollado por Rojas y Cuadros (2015) en la región Huancavelica, obtuvieron rendimientos en la variedad Blanca: 4.13 t/ha, variedad Churcampa: 9.1 t/ha y la variedad Remate 4.594 t/ha. Los resultados de la parcela con pendiente de 20% se aproximan a los cultivares de la variedad blanca y remate, esto posiblemente a que las características de la composición del suelo sean similares en ambos casos.

Conclusiones

Todos los tratamientos superan una uniformidad mayor a 92%, por tanto, el sistema de riego presenta un calificativo desde bueno hasta excelente.

La variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias presentan estadísticamente efecto significativo sobre el Coeficiente de Uniformidad de riego.

En parcelas con pendientes mayores a 20%, el diámetro del suelo mojado presenta una forma de elipse; porque el agua de riego tiende a infiltrar hacia la parte baja del suelo agrícola.

La variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias presentan estadísticamente una diferencia significativa en la formación de bulbo húmedo.

Los mejores rendimientos del cultivo de arveja fueron para T3=10.75 t/ha (parcela con una pendiente de terreno 10% + la instalación de 02 válvulas en las tuberías terciarias); seguido T1=9.50 t/ha (parcela con una pendiente de terreno 10% sin la instalación de válvulas en las tuberías terciarias).

La variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias, estadísticamente afectan significativamente en el rendimiento del cultivo de arveja en grano verde.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, al programa “Yachayninchis Wiñarinanpaq”, por el cofinanciamiento del proyecto de investigación, según CONTRATO N° 021-VRIN-2022-UNSAAC.

Referencias

Arragan T. Fanny B., Chipana R. René (2015). Modelación matemática del bulbo húmedo bajo riego por goteo superficial en suelos del altiplano boliviano. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 2(1):7-118. <https://bit.ly/3NnzTBU>

Ángeles Montiel, Vicente. Arteaga Ramírez, Ramon. (2007). Factores de ajuste para la pérdida de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples telescópicas o con servicio mixto. Ingeniería del Agua, 14(4), 293-305. <https://bit.ly/3J8vrop>

Ángeles Hernández et al. (2002). Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario. México. 1-526. <https://bit.ly/3qv4WTo>

Bedoya Cardoso M., Angeles Muntiel V. (2017). Comparación de métodos para estimar pérdidas localizadas en riego por goteo. Tecnología y Ciencias del Agua, 8(4): 117-125. <https://bit.ly/45Wkoby>

Bedoya, C. M., Yossa, M. P. C., Yossa, O. L. F. (2018). Efectos de la pendiente en el coeficiente de uniformidad en un lateral de riego por goteo. Artículo COMEII-18006. 4-13. <https://bit.ly/42Bvikb>

Condori Tintaya F., Pino Vargas E., Tacora Villegas P. (2022). Pérdida de suelos por erosión hídrica en laderas semiáridas de la subcuenca Cairani-Camilaca, Perú. Idesia: 40(2). <https://bit.ly/3Nm62Kk>

Canovas, F. G., Beza, C. R., Gavilán, Z. P. (2015). Influencia de la pendiente del terreno en la uniformidad de distribución de caudal en cintas de riego localizado. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. 7-12. <https://bit.ly/3qytbjH>

Cruz-Bautista, Fidencio, Zermeño-González, Alejandro, Álvarez-Reyna, Vicente, Cano-Ríos, Pedro, Rivera-González, Miguel, & Siller-González, Mario. (2015). Modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo en riego por goteo. Tecnología y ciencias del agua, 6(4): 131-140. <https://bit.ly/3P77tgL>

Estévez Ipiales y Jonathan Steven (2022). Efecto del riego suplementario por goteo en el rendimiento de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) en verde, en espaldera. <https://bit.ly/3N9ISXw>

Granados Alegre, Harold E. (2019). Impacto de la Variación de Temperatura en la Desglaciación de la Cordillera Huayhuash. Perú.70 -73. <https://bit.ly/43TbcTn>

Gavilán, Z. P., Ruiz, B. N., Lozano, P. D. (2018). Efecto de la Pendiente sobre la calidad del riego y la producción de un cultivo de frambuesa. Revista de Junta de Andalucía. España. 19-28. <https://bit.ly/43TXPT6>

Gil-Marín, José Alexander (2001). Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana. Revista

UDO Agrícola 1 (1): 42-47. <http://www.bioline.org.br/pdf?cg01007>

Lozano, D., Ruiz, N., Gavilán, P. (2018). Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. 1-20p. <https://bit.ly/3qytbjH>

Laura, A. G., y López, B. C. (2016). Evaluación de la uniformidad de un sistema presurizado de riego por goteo para cultivos de zonas alto - andinas de Bolivia. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales. vol. 3, 7-17. <https://bit.ly/43TYDY8>

Monge, M. A. (2018), Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Editorial Agrícola Española S.A., España. 188-294.

Machaca, Q. A. H. (2018), Niveles de guano de islas y té de estiércol de cuy en el rendimiento del cultivo de arveja verde (*Pisum Sativum L.*) en la irrigación majes de Arequipa. 35-54. <https://bit.ly/3qytJ9f>

Ovalle-Castiblanco AM; Cárdenas-Aguirre DM; Jiménez-Varón CF; Abendaño-Beltrán CA. (2022). Influencia de la pendiente del terreno en los indicadores de cosecha manual de cítricos en el sector agrícola en Caldas-Colombia. Ingeniería y Competitividad. 24(1). <https://bit.ly/3NojPjz>

Pizarro C. F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). Editorial Mundi Prensa. 3ra Edición. España. 411, 479-495.

Quispe, E. (2018). Continuidad del bulbo húmedo en sistemas de riego por goteo subsuperficial– San José

de Ticllas. Perú. 58-63. <https://bit.ly/43PYdlu>

Rojas A. P. y Cuadros T. N. (2015). Estudio comparativo en rendimiento de grano verde de cinco cultivares de arveja (*Pisum sativum L.*). Perú. 91 - 93. <https://bit.ly/45ZksqR>

Rouhallah Fatahi Nafchi; Farhad Mosavi and Kamran Parvanak (2011). Experimental study of shape and volume of wetted soil in trickle irrigation method. African Journal of Agricultural Research 6(2): 458-466. <https://bit.ly/3WZR53A>

Royuela Tomás, Alvaro (1998). Determinación de las pérdidas de carga singulares producidas por la conexión de los laterales en las tuberías terciarias de riego localizado. Dialnet. <https://bit.ly/3XgON0t>

Sánchez-Delgado, Miguel; Mejía-Marcacuzco, Jesús A.; GuevaraPérez, Edilberto; Natividad- Toribio, Piero; Razuri-Ramírez, Luis (2020). Efecto de la disposición de laterales de riego por goteo y secado parcial del suelo en el rendimiento de papa. Revista Ingeniería UC: 27(2) 136-149. <https://bit.ly/3WZRp2i>

Saldarriaga, J. (2016). Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes y riegos. Editorial Alfaomega. 3era Edición, Colombia. 278-349.

Sancho Freddy y Villatoro Mario (2005). Efecto de la posición en la pendiente sobre la productividad de tres secuencias de suelos en ambientes ústicos de costa rica. Agronomía Costarricense 29(3): 159-174. <https://bit.ly/42Ernk>