



EFECTO DE LA DOSIS DE RIEGO EN EL CONSUMO Y EFICIENCIA DE USO DEL AGUA DE UN ECOTIPO LOCAL DE QUINUA (*Chenopodium quinoa willd*) EN CCAJE, 2015 – 2016.

EFFECT OF THE IRRIGATION DOSE ON THE CONSUMPTION AND EFFICIENCY OF WATER USE OF A LOCAL QUINOA ECOTYPE (*Chenopodium quinoa willd*) IN CCAJE, 2015 – 2016.

Teófilo Chirinos Ortiz¹

¹ Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Agrícola, Av. Floral N° 1150 Ciudad Universitaria, Puno, Perú, teochirinos@gmail.com

RESUMEN

La investigación se realizó en la Comunidad de Ccaje, distrito de Juli de la provincia de Chucuito en la región Puno, con el objetivo de determinar el efecto de la dosis de riego en el consumo y en la eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua en lisímetros de drenaje, durante la campaña agrícola 2015 - 2016. Para ello, se instaló una parcela experimental con 16 lisímetros, donde el 22 de diciembre del 2015 se sembró un ecotipo local de quinua bajo tres dosis de riego o tratamientos: T-1 (100% de la Evapotranspiración del cultivo – ETc sin protección de lluvia), T-2 (50% de la ETc con protección de lluvia) y T-3 (25% de la ETc con protección de lluvia) en bloques homogéneos con cuatro repeticiones, en los que se registraron la precipitación y la dosis de riego aplicada diariamente, y el rendimiento del cultivo al final de la campaña; con el fin de determinar mediante un balance hídrico con el método de Thornthwaite y Mather, el consumo de agua parcial y acumulado, así como la eficiencia de uso de agua para cada dosis de riego. Para dichas dosis de riego, el consumo acumulado de agua fue de 446, 290 y 166 mm., con un rendimiento de 5.47, 2.90 y 1.51 ton ha⁻¹ respectivamente; mientras que, la eficiencia de uso de agua fue de 1.23, 1.00 y 1.20 ton m⁻³. Se concluye, que la dosis de riego tiene un efecto directo en el consumo de agua y rendimiento del cultivo; y que las dosis de riego próximos al 50% de la ETc son menos significativas en la eficiencia de uso del agua, que las más próximas al 25 % y 100% de la ETc.

Palabras clave: Consumo de agua, ecotipo de quinua, eficiencia de uso del agua, método de Thornthwaite y Mather, rendimiento de la quinua, riego de quinua.

ABSTRACT

The investigation was carried out in the Community of Ccaje, district of Juli of the province of Chucuito in the Puno region, with the objective of determining the effect of the irrigation dose on consumption and on the efficiency of water use of an ecotype local quinoa in drainage lysimeters, during the 2015-2016 agricultural campaign. For this, an experimental plot with 16 lysimeters was installed, where on December 22, 2015, a local quinoa ecotype was planted under three irrigation doses: T-1 (100% of the crop evapotranspiration - ETc without rain protection), T-2 (50% of the ETc with rain protection) and T-3 (25% of the ETc with rain protection) in homogeneous blocks with four repetitions, in which the precipitation and the applied irrigation dose were recorded daily, and crop yield at the end of the campaign; in order to determine, by means of a water balance with the Thornthwaite and Mather method, the partial and accumulated water consumption, as well as the efficiency of water use for each irrigation dose. For those doses, the cumulative water consumption was 446, 290 and 166 mm, with a yield of 5.47, 2.90 and 1.51 ton ha⁻¹ respectively; while, the efficiency of water use was 1.23, 1.00 and 1.20 ton m⁻³. It is concluded that the irrigation dose has a direct effect on water consumption and crop yield; and that the irrigation doses close to 50% of the ETc are less significant in the efficiency of water use, than those closest to 25% and 100% of the ET.

Keywords: Water consumption, quinoa ecotype, water use efficiency, Thornthwaite and Mather method, quinoa yield, quinoa irrigation.

*Autor para Correspondencia: teochirinos@gmail.com

631

Downloadable from: <http://www.revistaepgunapuno.org>

Av. Floral N° 1153, Ciudad Universitaria, Pabellón de la Escuela de Posgrado, tercer piso oficina de Coordinación de investigación. Teléfono (051) 363543





INTRODUCCIÓN

La dosis de riego es la cantidad de agua que se aplica a una superficie cultivada en cada riego (Fuentes, 2003; Losada, 2015; Martínez, 2014) e implica el uso de recursos hídricos con usos alternativos, que hace necesario que se establezca el volumen de agua que sea suficiente para cubrir las necesidades hídricas de un cultivo (WWF España, 2009). Pero, debido a que estas necesidades varían en el tiempo, es necesario programar el riego; es decir, establecer la dosis y fecha de aplicación de los riegos a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo (Faci, 2012). Para la programación del riego es necesario considerar las características del cultivo, las características físicas del suelo, las condiciones de clima del área cultivada, la calidad del agua, los índices de calidad del riego, las necesidades de lixiviación y las estrategias de riego (Fernández, Avila, López, Gavilán, y Oyonarte, 2010).

El consumo de agua, llamado también evapotranspiración del cultivo (Andriani, 2000) o evapotranspiración real (Almorox, 2010; Fuentes, 2003), es la cantidad de agua realmente transpirada por un cultivo y evaporada desde la superficie cultivada (Almorox, 2010; Andriani, 2000; Fuentes, 2003). Según Pariani (2005), la evapotranspiración real de un cultivo será máxima, si las condiciones de suelo, agua y manejo agronómico del campo de cultivo son las adecuadas y menores, en caso contrario. La evapotranspiración real se determina por métodos directos, usando los métodos micrometeorológicos y del balance hídrico (Almorox, 2010; Andriani, 2000; Ortega *et al.*, 2000). Entre los métodos de balance hídrico, destacan los lisímetros de drenaje, que se caracterizan por su sencillez y bajo costo, y además porque proporcionan datos con una precisión aceptable cuando están bien instalados y operados (Stone y Marques, 1995).

La eficiencia de uso del agua es la eficacia con la que la planta utiliza el agua disponible en la zona radicular, para la fotosíntesis, construcción de biomasa o rendimiento del cultivo (Martín y León, 2014). Desde un punto de vista operacional, la eficiencia de uso del agua es la relación entre el valor del producto generado por el agua (expresado como biomasa, rendimiento o dinero) con respecto al agua evapotranspirada, agua aplicada, agua derivada de la fuente y aplicada o agua lluvia más riego suplementario aplicado (Aguero, Acreche, y Aguilar, 2015; Kijne, 2003; Salazar, Rojano, y Lorenzo, 2014).

García, Vacher e Hidalgo (1992) demostraron experimentalmente que a mayor humedad del suelo, mayor es la evapotranspiración de un cultivo; asimismo Medrano *et al.*, (2007) señalan, que la producción de biomasa de cualquier comunidad vegetal depende de la cantidad de agua que evapotranspiran, y que la capacidad de conversión de agua en biomasa depende de las características del proceso de evapotranspiración y de las características ambientales en que se desarrolla la planta.

La quinua es una planta herbácea anual de gran versatilidad agronómica, muy tolerante a factores climáticos adversos como las sequías, heladas y salinidad de los suelos. Es un cultivo con un período vegetativo de 90 a 240 días, con un tallo recto que fluctúa desde 0.5 a 2.0 m. de altura y con granos de 1.8 a 2.0 mm. de color variado. Los rendimientos del cultivo, varían en el altiplano de 600 a 800 kg ha⁻¹ con sistemas tradicionales de manejo y pueden llegar hasta 3,000 kg ha⁻¹ con sistemas mejorados de manejo (Apaza, *et al.*, 2013; Tapia y Fries, 2007). Según Tapia *et al.*, (2013) se tienen los siguientes tipos de quinua: especies silvestres, accesiones, cultivares o variedades nativas, razas y variedades comerciales; cada uno, de diferente naturaleza,





características y ámbito de desarrollo; en ese sentido, muchos consideran a los ecotipos, dentro de la categoría de cultivares o variedades nativas.

Los estudios sobre el consumo de agua de la quinua son muy limitados a nivel nacional e internacional, situación que es más crítica aun con relación a la eficiencia de uso del agua de la quinua, que en la mayoría de los casos se ha realizado de manera puntual y en forma complementaria.

En el nivel internacional, destaca el estudio realizado por García *et al.*, (1992) quienes obtuvieron la evapotranspiración real de las variedades comerciales Chukapaka y Real en condiciones de riego y secano, en la Estación Experimental Patacamaya (3,876 msnm.), La Paz – Bolivia. La evapotranspiración real en condiciones de riego complementario y para un nivel de reposición de humedad del suelo igual al 50% del agua total disponible, fue de 305.8 y 323.7 mm. con rendimientos de 3.50 y 2.95 ton ha⁻¹; en cambio, en condiciones de secano fue de 173.8 y 175.4 mm. respectivamente, a los cuales correspondieron rendimientos iguales a 1.05 y 0.95 ton ha⁻¹. De igual manera, es relevante el estudio ejecutado por Choquecallata, Vacher, Fellman e Imaña (1992) en la Estación de Patacamaya, quienes determinaron en lisímetros de drenaje que la evapotranspiración máxima de la quinua variedad Sajama fue de 488 mm. con un rendimiento de 3.7 ton ha⁻¹. Así también, es necesario también rescatar el trabajo de Agüero, Agreche y Aguilar (2015), quienes evaluaron el efecto de tres fechas de siembra (01 de octubre, 20 de noviembre y 23 de enero) y 2 marcos de plantación (líneas de 0.35 y 0.70 m.) en el rendimiento, eficiencia de uso del agua y algunos parámetros de la quinua variedad Amarilla de Maranganí, en la Agencia de extensión Hornillos, Jujuy – Argentina (2,830 msnm.), quienes concluyeron que cuanto más tardía es la fecha de siembra, mayor es la disminución de la duración del ciclo vegetativo, de los requerimientos de riego, del rendimiento del cultivo, de la eficiencia de uso del agua, del número de panojas, de la altura de la planta y del peso de la biomasa.

En el nivel nacional, León (2014) evaluó la respuesta a la eficiencia de uso del agua y rendimiento de la quinua línea mutante ‘La Molina 89-77, sometida a cuatro tratamientos (T1: 100% de la dosis de riego y sin membrana de retención debajo de la zona radicular, T2: 100% dosis de riego y con membrana de retención debajo la zona radicular, T3: 75% dosis de riego y sin membrana de retención debajo de la zona radicular, T4: 50% dosis de riego y sin membrana de retención debajo de la zona radicular); concluyendo que a menor dosis de riego, mayor es la reducción de los parámetros morfológicos y rendimiento del cultivo; al contrario de la eficiencia de uso del agua, calculado en base al volumen aplicado. En este bloque, también se puede señalar referencialmente los trabajos realizados por Mori (2015) para evaluar el efecto de cinco láminas de riego en el rendimiento y comportamiento morfológico de la quinua variedad INIA-Salcedo; y el de Huertas (2016), quien evaluó el efecto del riego por gravedad y goteo en el rendimiento y eficiencia de uso del agua de la quinua variedad Real K’ella.

En el nivel regional, Silva (1978) determinó la evapotranspiración de la quinua - variedad Sajama en lisímetros de drenaje en condiciones de secano, en la ex Universidad Nacional Técnica del Altiplano (3,825 msnm.), donde encontró que la evapotranspiración total del cultivo fue de 303 mm. con un rendimiento de 1.8 ton ha⁻¹, para una densidad de 20 plantas m⁻².



MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una parcela experimental instalada en una unidad de producción privada de la Comunidad Ccaje del distrito de Juli, en la provincia de Chucuito de la región Puno, que geográficamente está localizada en la coordenada 16°11'37.32" latitud sur y 69°24'36.87" longitud oeste, a una altitud de 3864 msnm. (Figura 1).



Figura 1. Localización parcela experimental
Fuente: Google earth (2017)

Parcela experimental

La parcela experimental se acondicionó cerca de la fuente de agua, en una zona relativamente plana y cultivada con el mismo ecotipo de quinua del estudio. Sus componentes principales son: el sistema de lisímetros, el sistema de riego, los equipos de medición de los parámetros meteorológicos y el protector de lluvia (Figura 2).

El sistema de lisímetros está constituido por una batería de lisímetros de forma circular de 0.425 m. de diámetro enterrados y 0.80 m. de profundidad, construidos con plástico de doble espesor y equipados con un sistema de drenaje interno, un recipiente recolector de aguas de drenaje para cada lisímetro y una zanja de drenaje común. La denominación asignada a los lisímetros fue desde la L-1 hasta la L-16, y fueron concebidos inicialmente para medir la evapotranspiración del cultivo de referencia (L-1 al L-4) y la evapotranspiración real del ecotipo local de quinua bajo diferentes dosis de riego (L-5 al L-16).

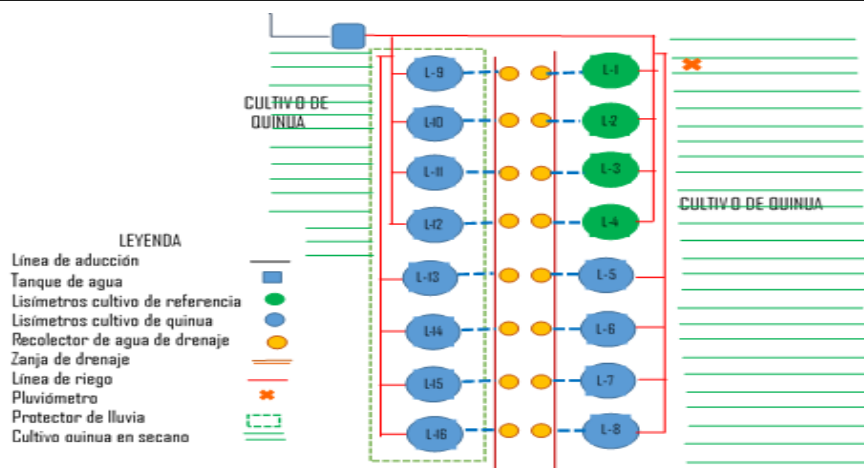


Figura 2. Esquema general de la parcela experimental

El sistema de riego estaba constituido por un sistema de aducción a la red de agua potable de la comunidad, un tanque regulador de presión de 125 lt. de capacidad instalado a 6.00 m. de altura sobre la superficie del suelo, una línea de conducción y una red de distribución de agua (Figuras 2 y 3). La provisión de agua a cada lisímetro, se realizó a partir de la red de distribución, mediante una cinta de riego de PEBD de 16 mm. de diámetro y clase 5 mil, con goteros incorporados espaciados cada 0.20 m. de 1 LPH y 5.5 m.c.a. de presión nominal, de 0.90 m. de longitud instalado en forma concéntrica en cada lisímetro.

Los equipos de medición de los parámetros meteorológicos fueron: un Tanque evaporímetro tipo A y un pluviómetro tipo Hellmann, ambos fabricados según las normas de la Organización Meteorológica Mundial – OMM (Figura 3)



Figura 3. Lisímetros, zanja de drenaje, red de distribución de riego, tanque de regulación de agua, protector de lluvias, tanque evaporímetro Tipo A y pluviómetro.

El protector de lluvias es una estructura simple de madera con techo de agrofilm colocada a 1.70 m. de altura, que se instaló para proteger de las lluvias a los lisímetros comprendidos entre el L-9 y L-16, destinados para las dosis de riego T-2 y T-3 (Figura 3).

Materiales utilizados



- Material genético: semilla seleccionada de un ecotipo local de quinua proveniente de la campaña anterior, que se caracteriza por tener un ciclo vegetativo de 180 días calendario.
- Materiales para la fabricación e instalación de los lisímetros: Plástico de doble espesor, tubos de PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 2", gravilla, botellas de gaseosa no retornables, costales.
- Materiales para construcción del protector de lluvias: listones de madera, agrofilm, alambre y nylon.
- Materiales para la instalación del sistema de riego: tubos PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 21 mm., tanque de PVC de 125 litros, cintas de riego de PEBD 5-05-08-0.4, válvulas bola y tapones de purga.

Instalación y conducción del cultivo.

El 22 de diciembre del 2015 se procedió a la siembra del ecotipo local de quinua en los lisímetros, con una densidad de 100 plantas m⁻². Para su manejo, se tuvo en cuenta que en la campaña anterior el campo había sido cultivado con papa; por lo que, se utilizó la fórmula de abonamiento 80-40-00 de NPK recomendado para el altiplano (Calla, 2012), que se aplicó al momento de la siembra (fósforo en forma de fosfato diamónico) y a los 50 días después de la siembra (nitrógeno en forma de urea).

Las labores culturales del cultivo se centraron en el deshierbo, a los 15 días posteriores de la siembra; el desahije, a los cincuenta días, con el fin de tener una densidad de 50 plantas m⁻² según lo recomendado por Gómez y Aguilar (2016); el deshierbo, a los 50 días; y el riego diario según el calendario de riego y las condiciones de pluviosidad local. Durante el desarrollo del cultivo, cuyo ciclo vegetativo real fue de 140 días calendario, no se presentaron plagas, ni enfermedades.

Establecimiento de la dosis, bloques de riego y programación del riego

En armonía con las condiciones existentes, se adoptó tres dosis de riego o tratamientos: T-1 (100% de la evapotranspiración del cultivo - ET_c sin protección de lluvia; T-2 (50% de la ET_c con protección de lluvia) y T-3 (25% de la ET_c con protección de lluvia) en bloques de lisímetros con cuatro repeticiones. Los lisímetros comprendidos entre el L-5 y L-8 se asignaron al tratamiento T-1, los correspondientes al L-9 y L-12 a los tratamientos T-2 y T-3 respectivamente.

La programación del riego para cada tratamiento, se estableció previo a la siembra del cultivo, con el enfoque "Kc ETo" (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006), considerando como fecha de siembra del cultivo el 22 de diciembre del 2015, ciclo vegetativo del cultivo de 150 días calendario e igual a la Blanca de Juli (Apaza *et al.*, 2013), condiciones de clima iguales a las del período 1964-2015 de la estación climatológica ordinaria de Juli, curva de coeficiente de cultivo Kc igual al estimado para el altiplano Chileno por Lanino, Riquelme y Arenas (2008), eficiencia de aplicación del 85% (Pizarro, 1990), coeficiente de uniformidad de 90% (Franco y Pérez, 2008), intervalo de riego de un día y una lámina de reposición del riego igual al agua evapotranspirada el día anterior a la fecha del riego (Pizarro, 1990). En este cálculo no se consideró la precipitación por ser un parámetro aleatorio.





La dosis de riego real aplicada al tratamiento T-1 fue complementario a la precipitación antecedente, con el objeto de cubrir la dosis establecida en el calendario de riego; en cambio, la aplicada con los tratamientos T-2 y T-3, fue igual a la dosis de riego establecida en el calendario de riego.

Metodología

Para la determinación del efecto de la dosis de riego en el consumo de agua del cultivo, se determinó el nivel de humedad inicial del suelo al inicio de la campaña agrícola, luego se midió diariamente y durante todo el ciclo vegetativo del cultivo la lámina real aplicada y la precipitación pluvial real caída en la zona; datos con los cuales se realizó para cada tratamiento, el balance hídrico del cultivo con el método de Thornthwaite y Mather, en forma secuencial y para todos los intervalos de 5 días en las que se ha desagregó la duración real del ciclo vegetativo del cultivo; teniendo como información complementaria para ello, el agua disponible en el suelo, el nivel de agotamiento crítico del suelo, la profundidad radicular y la evapotranspiración máxima del cultivo ajustada a las condiciones de clima correspondiente a la fecha de ejecución del estudio; los mismos que luego de procesados, nos permitieron estimar en primer lugar la evapotranspiración real, las excedencias y el déficit de evapotranspiración de cada intervalo de 5 días establecido, y luego la evapotranspiración real o consumo de agua acumulado para cada tratamiento. El proceso de cálculo de la evapotranspiración real para cada intervalo, varió para las condiciones sin déficit hídrico (precipitación mayor que evapotranspiración máxima) y con déficit hídrico (precipitación menor que evapotranspiración máxima) (Tabla 1).

Tabla 1. Secuencia del Balance hídrico según condición hídrica del suelo

Secuencia	Sin déficit hídrico		Con déficit hídrico	
	cálculo	Condición/fórmula	cálculo	Condición/fórmula
Paso 1	P-ETc	>0	P-ETc	<0
Paso 2	ARMf	ARMi+P-ETc	NAc	Σ(P-ETc)
Paso 3	NAc	CAD*LnARMf/CAD	ARMf	CAD*e^(NAc/CAD)
Paso 4	ALT	ARMf-ARMi	ALT	ARMf-ARMi
Paso 5	ETr	ETc	ETr	P+ ALT
Paso 6	DEF	ETc-ETr	DEF	ETc-ETr
Paso 7	EXC	(P-ETc)-ALT	EXC	0

Nota: P: Precipitación; ETc: Evapotranspiración máxima del cultivo; CAD: Agua total disponible; ARMi: Almacenamiento inicial de agua en el suelo; ARMf; Almacenamiento final de agua en el suelo; NAc: Porcentaje de agua almacenada; ETr: Evapotranspiración real del cultivo; DEF: Déficit de la evapotranspiración real respecto a la evapotranspiración máxima; EXC: Exceso de agua en la zona radicular; ALT: Diferencia de humedad final e inicial

Para la determinación del efecto de la dosis de riego en la eficiencia de uso del agua con respecto a la evapotranspiración real acumulada, primero se determinó la producción para cada planta, luego la producción promedio para cada lisímetro, y finalmente el rendimiento por unidad de superficie para cada lisímetro (Relación matemática 1).

$$R_T = \frac{\bar{R}_{PL} N_{PT} * 10}{AL} \quad (1)$$



Donde:

RT: Rendimiento del cultivo por unidad de superficie (kg ha⁻¹)

\bar{R}_{PL} : Producción promedio (gr)

NPL: Número de plantas por lisímetro (7 en todos los casos)

AL: Area de lisímetro (0.1418628 m²)

Con el rendimiento por unidad de superficie de cada lisímetro y la evapotranspiración real acumulada de cada tratamiento, se determinó la eficiencia de uso de agua del ecotipo para cada lisímetro (Relación matemática 2).

$$EUA = \frac{REND}{EVP REAL} \quad (2)$$

Donde:

REND: Rendimiento por unidad de superficie de cada lisímetro (kg ha⁻¹)

EVP REAL: Evapotranspiración real total del tratamiento (m³ ha⁻¹)

Eficiencia de uso del agua - EUA: Kg m⁻³.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Efecto de la dosis de riego en el consumo de agua

La evapotranspiración real del tratamiento T-1, se comporta irregularmente a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo, variando de cero hasta 22.04 mm. a los 75 días, para luego de crecer a 14.21 mm. al final de la campaña. El tratamiento T-2 varía desde cero hasta 10 mm. a los diez días, para luego mantenerse en promedio con 8 mm. hasta el final de la campaña. El tratamiento T-3 va de cero a 6.58 mm. a los 10 días, para luego fluctuar alrededor de 6 mm. hasta la cosecha (Figura 4).

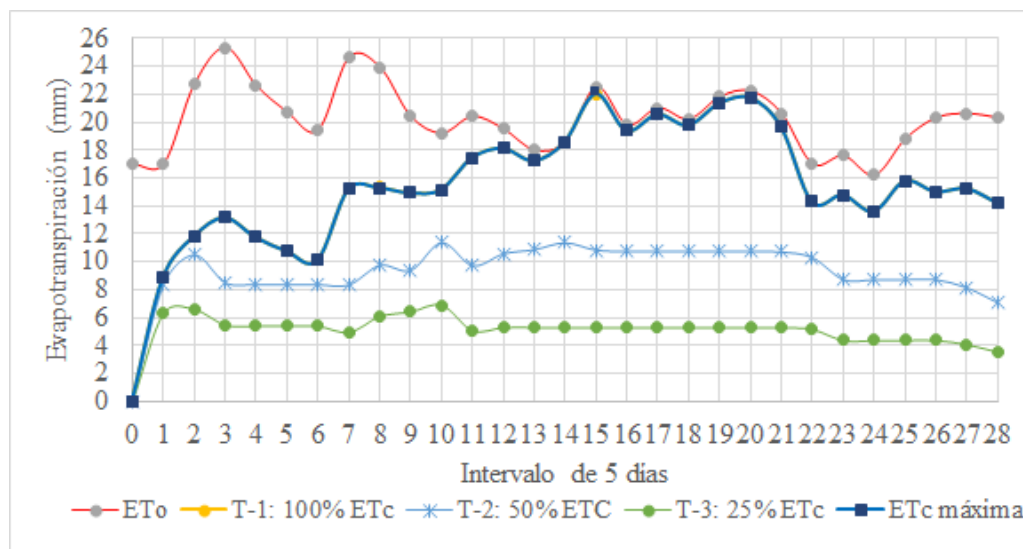




Figura 4. Evapotranspiración real – tratamientos T-1, T-2 y T-3

La curva de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) tiene un comportamiento irregular por efecto de la variabilidad de las condiciones de clima durante el ciclo vegetativo del cultivo (Allen et al., 2006). La curva de evapotranspiración real del tratamiento T-1 coincide con la curva de la evapotranspiración máxima de cultivo, debido a que el cultivo se desarrolló en condiciones óptimas de humedad del suelo (Allen et al., 2006; Pariani, 2005). Las curvas de evapotranspiración de los tratamientos T-2 y T-3 son prácticamente paralelas, con tres tramos marcados que tienen cierta relación con las principales etapas fenológicas de la planta, la disponibilidad de agua en el suelo y el efecto de la variación climática.

La evapotranspiración real o consumo de agua acumulada durante todo el ciclo vegetativo del cultivo para el tratamiento T-1 es igual a la evapotranspiración máxima y para los demás tratamientos es menor (Tabla 2).

Tabla 2. Evapotranspiración real total ecotipo–Tratamientos T-1, T-2 y T-3

Tratamiento	Evapotransp. máx. (mm)	Lámina de riego mm	Evapotransp. real acumulada (mm)
T -1: 100% ET _c	446	350	446
T -2: 50% ET _c	446	293	290
T -3: 25% ET _c	446	169	166

La evapotranspiración real acumulada del tratamiento T -1 es igual a la evapotranspiración máxima, porque el suelo estuvo permanentemente en capacidad de campo (Pariani, 2005). La evapotranspiración real acumulada de los tratamientos T-2 y T-3 es prácticamente igual a la lámina de riego aplicada, debido a que las fuerzas de succión del agua en el suelo correspondiente a los niveles de humedad presentes en los lisímetros durante el ciclo vegetativo del cultivo, no fueron favorables para una mayor evapotranspiración real (Israelsen y Hansen, 1985)

Mediante una prueba de ANOVA de un factor, para un nivel de significancia de 5%, encontramos que estadísticamente existen diferencias entre las medias de la evapotranspiración real de los 28 intervalos de 5 días de los tres tratamientos, debido a que la significancia asintótica es menor que el nivel de significancia adoptado.

Por lo tanto, mediante una prueba post hoc de Tukey, para un nivel de significancia de 0.05, encontramos que la media de la evapotranspiración real para el tratamiento T-1 es mayor que la correspondiente a la del tratamiento T-2 y ésta a su vez que la del tratamiento T-3 (Tabla 4).

En concordancia con los resultados obtenidos se tiene que la dosis de riego tiene un efecto positivo en la evapotranspiración real del ecotipo local de quinua; es decir, a mayor dosis de riego mayor evapotranspiración real o consumo de agua por parte del cultivo. Estos resultados, son compatibles con los resultados alcanzados por Choquecallata *et al.*, (1992) y García *et al.*, (1992) en la estación Patacamaya - Bolivia, quienes debido a las condiciones de clima y variedad utilizada obtuvieron una evapotranspiración real acumulada máxima de 488 mm. para la variedad Sajama Amarantiforme en condiciones de riego diario y de 173.4 mm para la variedad Real en condiciones de secano, cifras que en alguna medida son superiores a los obtenidos en el presente estudio. Pero sin embargo, los valores de evapotranspiración del ecotipo local de quinua son





superiores a los obtenido por Silva (1978) en la ex Universidad Nacional Técnica del Altiplano, lo cual se debe a que en dicho estudio no hubo regularidad en cuanto al agua aplicada, pues se hizo en condiciones de secano.

Efecto de la dosis de riego en la eficiencia de uso del agua

La producción de cada planta en promedio es de 11.1, 5.9 y 3.1 gr para los tratamientos T-1, y T-2 respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Producción media del cultivo por tipo de tratamiento.

Planta	Tratamiento T - 1 (gr)				Tratamiento T - 2 (gr)				Tratamiento T - 3 (gr)			
	L-5	L-6	L-7	L-8	L-9	L-10	L-11	L-12	L-13	L-14	L-15	L-16
P 01	9.7	13.5	13.0	10.9	5.0	4.6	5.1	8.2	3.1	3.3	2.5	3.2
P 02	11.8	9.7	10.0	12.8	6.0	6.8	7.4	6.1	3.4	2.4	3.5	3.2
P 03	11.9	9.2	12.9	9.8	6.9	5.8	5.1	6.4	2.4	3.6	3.5	3.3
P 04	13.6	11.1	10.1	10.0	7.1	8.0	6.7	4.5	3.0	3.3	3.0	2.3
P 05	9.0	10.1	13.4	12.0	5.1	5.7	4.6	5.2	3.5	2.3	2.6	2.9
P 06	9.5	13.0	12.4	9.7	5.1	5.6	7.5	5.4	3.3	3.3	3.3	3.1
P 07	9.9	10.1	11.2	10.0	5.2	4.8	5.1	5.6	2.8	3.1	3.0	3.3
Promedio	11.1				5.9				3.1			

La producción promedio del tratamiento T-1, es superior a los 9.3 gr obtenido por García *et al.* (1992) en Patacamaya - Bolivia con la variedad Chupakapa en condiciones de riego parcial. Así también, es superior a los 7.3 y 5.5 gr obtenidos por Agüero *et al.* (2015) en Hornillos, Jujuy - Argentina con la variedad Amarilla de Maranganí, sembrada con riego el 20 de noviembre; pero inferior, a los 13.5 y 18.75 gr obtenidos con el mismo cultivo y en las mismas condiciones de manejo, pero sembradas el 01 de octubre. La producción promedio por planta del tratamiento T-3, es casi similar a lo obtenido por García *et al.* (1992) en Patacamaya-Bolivia con las variedades Chupakapa y Real en condiciones de secano, que llegaron a 3 y 2.65 gr respectivamente.

El rendimiento por unidad de superficie del ecotipo local es de 5.46, 2.9 y 1.51 ton ha⁻¹ (Tabla 4).

Tabla 4. Rendimiento por unidad de superficie por lisímetro y tratamiento

Tratamiento	Rendimiento/Lisímetro (kg/ha)				Promedio Ton/ha	DS	CV
T - 1	L-5	L-6	L-7	L-8	5.469	224.3	4.1%
	5316	5408	5851	5301			
T - 2	L-9	L-10	L-11	L-12	2.901	30.7	1.1%
	2848	2911	2925	2918			
T - 3	L-13	L-14	L-15	L-16	1.507	6.2	0.4%
	1516	1501	1508	1501			





Los rendimientos por unidad de superficie son superiores a los normales de la zona, por efecto de la fertilización y el riego, pero principalmente por la densidad de siembra de las plantas que es de 50 plantas m⁻², muy superior a los 20 ó 25 plantas m⁻² que habitualmente se utiliza en la zona.

Los resultados de la eficiencia de uso de agua del ecotipo de quinua en base al agua evapotranspirada, son de 1.23, 1.00 y 1.20 para los tratamientos T-1, T-2 y T-3 (Tabla 5)

Tabla 5. Eficiencia de uso del agua según lisímetro y tratamiento

Tratamiento	Lisímetro	Rendimiento kg/ha	Evapot real acumul (mm)	Efic. de uso del agua (kg m ⁻³)	
				Específico	Promedio
T - 1	L-5	5316	446	1.19	1.23
	L-6	5408	446	1.21	
	L-7	5851	446	1.31	
	L-8	5301	446	1.19	
T - 2	L-9	2848	290	0.98	1.00
	L-10	2911	290	1.00	
	L-11	2925	290	1.01	
	L-12	2918	290	1.01	
T - 3	L-13	1981	166	1.19	1.20
	L-14	2016	166	1.21	
	L-15	1967	166	1.18	
	L-16	1988	166	1.20	

Fuente: SPSS 22 (2017)

Según los resultados, la planta es algo más eficiente en el uso del agua en condiciones de capacidad de campo y de déficit hídrico.

Mediante una prueba de ANOVA de un factor, para un nivel de significancia de 5%, tenemos que estadísticamente existen diferencias entre las medias de la eficiencia de uso del agua de los tres tratamientos, debido a que el p-valor es menor que el nivel de significancia establecido (Tabla 5).

Por lo tanto, mediante una prueba post hoc de Tukey, para un nivel de significancia de 5%, encontramos que estadísticamente las medias de la eficiencia de uso del agua de los tratamientos T-3 y T-1 son prácticamente iguales y mayores que la correspondiente al tratamiento.

En concordancia con los resultados se puede decir que no se ha encontrado un alineamiento entre la dosis de riego y la eficiencia de uso del agua para el ecotipo local de quinua; así mismo, que los resultados logrados son totalmente diferentes a los obtenidos por León (2014) con la variedad de quinua “La Molina 89” en condiciones de riego, quien encontró que la planta es más eficiente en el uso del agua cuando tiene mayores limitaciones hídricas; así también, diferente a las eficiencias deducidas de los estudios realizados por Choquecallata *et al.* (1992) y García *et al.* (1992) con la variedad Chukapaka, donde se aprecia que la planta es menos eficiente en condiciones de capacidad de campo y de secano, pero más eficiente en condiciones intermedias. Esto podría explicarse según Kijne (2003), por las diferencias ambientales y de manejo agronómico presentes en cada caso, que se traducen en una diferente respuesta en la cantidad de agua evapotranspirada y en el rendimiento del cultivo.





Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo vegetativo

El ciclo vegetativo del ecotipo local de quinua, con siembra entre fines de setiembre e inicios de octubre y cosecha entre fines de marzo y primera semana de abril, es regularmente de 180 días calendario según los productores de la zona de estudio; sin embargo, el ciclo vegetativo del ecotipo local sembrado el 22 de diciembre del 2015, fue solo de 140 días calendario. Esta reducción del ciclo vegetativo es posible; pues Agüero et al., (2015) encontraron en Hornillos, Jujuy – Argentina, que la quinua variedad Amarilla de Maranganí sembrada el 01.10.14 tuvo un ciclo vegetativo de 181 días; la sembrada el 20.11.14 de 146 días y la del 23.01.14 de 94 días.

CONCLUSIONES

- La aplicación de dosis de riego iguales al 25%, 50% y 100% de la evapotranspiración teórica del cultivo, tiene un efecto positivo en la evapotranspiración real o consumo de agua acumulada de la planta, porque ha generado incrementos del 46% y 89% en el rendimiento del cultivo, que se ha visto potenciado por la mayor densidad de siembra adoptada.
- La aplicación de dosis de riego es algo más significativa para dosis de riego próximas al 25% y 100% de la ET_c que para las próximas al 50% de la ET_c.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar el trabajo realizado, con cultivares estratégicos para la zona, con un mayor número de dosis de riego, diferentes fechas de siembra, mayor control de las variables hídricas y con la incorporación de la variable rentabilidad, con el fin de diseñar estrategias de producción bajo riego con alta eficiencia de uso del agua y rentables.
- El estudio de la eficiencia de uso del agua es necesario reajustarlo en el marco de la recomendación del párrafo anterior, con el fin de estimar además los niveles de humedad que generan el máximo rendimiento y los niveles de agotamiento de la humedad que no afecten significativamente el rendimiento del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

- A la familia Ramírez – Pichini, por las facilidades y apoyo proporcionado para la realización del presente trabajo.
- Al Br. Juan Silverio Ramírez Pichini, por el apoyo brindado para la generación de la información de campo.
- Al Ing. José Limache, Especialista de la Estación Experimental Agraria Illpa – Puno, por su asesoramiento en los aspectos agronómicos de la producción de quinua.
- Al Ing. Sixto Flores Sancho, Director Zonal Puno de SENAMHI, por las facilidades dadas para acceder a los registros meteorológicos de la Estación climatológica ordinaria de Juli.

LITERATURA CITADA

Agüero, J., Acreche, M., y Aguilar, J. (2015). Manejo del cultivo de la quinua en la quebrada Humahuaca (Jujuy, Argentina): Fecha de siembra y marco de plantación. En *V Congreso mundial de la quinua y II Simposio Internacional de granos andinos*. San Salvador de Jujuy. Recuperado a partir de





https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_manejo_del_cultivo_de_la_quinoa_en_la_quebrada.pdf

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua (Vol. 56)*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Almorox, J. (2010). *Evapotranspiración Real*. Madrid, España. Recuperado a partir de <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-8/Evapotranspiracion-real.pdf>
- Andriani, J. (2000). Consumo de Agua de los cultivos en el Sur de Santa Fé. *Para mejorar la producción*, 13(1), 27-30. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/profile/Jose_Andriani/publication/265410125_CONSUMO_DE_AGUA_DE_LOS_CULTIVOS_EN_EL_SUR_DE_SANTA_FE/links/56d58a7d08ae5c281ca43b03.pdf
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinego, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI, Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf>
- Calla, J. (2012). *Guía técnica Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de quinua orgánica*. Puno: AGROBANCO, Universidad Nacional del Altiplano La Molina. Recuperado a partir de <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-a-quinua.pdf>
- Choquecallata, J., Vacher, J. J., Fellman, T., & Imaña, E. (1992). Evapotranspiración máxima del cultivo de la quinua por lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el altiplano boliviano. En O. y C.-C. IBTA (Ed.), *Actas del VII Congreso Internacional sobre cultivos andinos, La Paz - Bolivia, 4 - 8 de febrero de 1991* (pp. 63-68). La Paz, Bolivia: D. Morales y J.J. Vacher. Recuperado a partir de http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-11/38551.pdf
- Faci, J. M. (2012). Determinación de las necesidades de riego de los cultivos. En *Jornada Técnica sobre Modernización de Ragadios en la Comunidad V de Bardenas* (p. 67). Ejea de los Caballeros, España: Centro de Investigación y Tecnología Agropecuaria de Aragón - CITA, Gobierno de Aragón, Departamento de Industria e Innovación.
- Fernández, R., Avila, R., López, M., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores: Módulo 1. Fundamentos del riego*. Sevilla, España: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones. Recuperado a partir de http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamento_del_riego_1.pdf
- Franco, A., & Pérez, L. (2008). Tema 10: Riego por goteo. Recuperado a partir de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema_10.Riego_goteo/tutorial_16.htm
- Fuentes, J. L. (2003). *Técnicas de riego* (Cuarta Ed). Madrid, España: IRYDA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- García, M., Vacher, J. J., & Hidalgo, J. (1992). Estudio comparativo del comportamiento hídrico de dos variedades de quinua en el altiplano central, 7. Recuperado a partir de <http://quinua.pe/wp-content/uploads/2015/02/38552.pdf>
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía del cultivo de la quinua*. Lima, Perú: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO; Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/3/a-i5374s.pdf>
- Huertas, M. (2016). *Evaluación de rendimiento de quinua orgánica (Chenopodium quinoa L.) c.v. Real, bajo sistemas de riego por gravedad y goteo en las condiciones edafoclimáticas de Huambo, provincia de Caylloma, Región Arequipa. 2015* (Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo). Universidad Católica de Santa María/Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas/Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola, Arequipa, Perú. Recuperado a partir de <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/5917>
- Israelsen, O., & Hansen, V. (1985). *Principios y aplicaciones del riego* (Tercera Ed). Barcelona, España: Editorial Reverté S.A.
- Kijne, J. W. (2003). *Descubrir el potencial del agua para la agricultura*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. Recuperado a partir de ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/unlocking_s.pdf
- Lanino, M., Riquelme, A., & Arenas, J. (2008). El riego del cultivo de la quinua en el Altiplano. En J. De la Torre, A. Salinas, & M. Sánchez (Eds.), *El cultivo de la quinua* (pp. 35-47). Iquique, Chile: Universidad Arturo PRAT. <https://doi.org/10.1080/01619566709537448>





- León, R. (2014). *Respuesta del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd) línea mutante «La Molina 89-77» a tres regímenes de riego, en condiciones de la Molina* (Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional Agraria La Molina/Facultad de Ingeniería de Agronomía, Lima, Perú. Recuperado a partir de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1387>
- Losada, H. (2015). Glosario de riego. Recuperado 22 de octubre de 2017, a partir de <http://www.riego.org/glosario>
- Martínez, F. J. (2014). *Introducción al riego* (Primera ed). Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de Valencia.
- Mori, A. (2015). *Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd), mediante riego por goteo* (Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional Agraria La Molina/Facultad de Ingeniería Agrícola, Lima, Perú. Recuperado a partir de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1850>
- Ortega-Farías, S., Calderón, R., Acevedo, C., & Fuentes, S. (2000). Estimación de la evapotranspiración real diaria de un cultivo de tomates usando la ecuación de Penman-Monteith. *Ciencia e investigación agraria*, 2(27), 91-96. Recuperado a partir de <http://www.submission.rcia.uc.cl/index.php/rcia/article/view/1000/857>
- Pariani, S. (2005). Relación agua-suelo-planta-efectos del agua sobre el rendimiento. En *Riego y Drenaje* (p. 30). Universidad de Luján, Departamento de Tecnología, Carrera Ingeniería Agronómica. Recuperado a partir de <https://www.docsity.com/es/riego-y-drenaje-apuntes-agronomia-parte-1/174564/>
- Pizarro, F. (1990). *Riegos localizados de Alta Frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación*. (E. Mundi-Prensa, Ed.) (Segunda ed). Madrid, España.
- Salazar, R., Rojano, A., & Lorenzo, I. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(2), 177-183. Recuperado a partir de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n2/v5n2a12.pdf>
- Silva, M. O. (1978). *Evapotranspiración en el cultivo de la quinua (Chenopodium Quinoa Willd)* (Tesis de Pre grado para obtener el título de Ing. Agrónomo). Puno, Perú.
- Stone, L. F., & Marques, P. (1995). *Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação*. (EMBRAPA-CNPAF, Ed.). Goiana, Brasil. Recuperado a partir de <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/202731/1/doc55.pdf>
- Tapia, M. E., Ignacio, S., Canahua, A., Quispe, M., Gavidia, J., & Mescoco, J. (2013). Las Razas de Quinuas en el Peru. Lima: Presidencia del Consejo de Ministros, Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. Recuperado a partir de <http://quinua.pe/wp-content/uploads/2014/01/ANEXO-02-Tapia.pdf>
- Tapia, M., & Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Lima, Perú.
- WWF España. (2009). *Manual de buenas prácticas de riego - Propuestas de WWF para un uso eficiente del agua en la agricultura*. Madrid, España: WWF España. Recuperado a partir de http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf

