

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

**EFEECTO DE LA DOSIS DE RIEGO EN EL CONSUMO Y EFICIENCIA DEL
USO DEL AGUA DE UN ECOTIPO LOCAL DE QUINUA (*Chenopodium
Quinoa Willd*) EN LISÍMETROS DE DRENAJE EN LA COMUNIDAD DE
CCAJE – JULI – CHUCUITO – PUNO, CAMPAÑA 2015 - 2016**

PRESENTADA POR:

TEÓFILO CHIRINOS ORTIZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

PUNO, PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

EFFECTO DE LA DOSIS DE RIEGO EN EL CONSUMO Y EFICIENCIA DEL
USO DEL AGUA DE UN ECOTIPO LOCAL DE QUINUA (*Chenopodium
Quinoa Willd*) EN LISÍMETROS DE DRENAJE EN LA COMUNIDAD DE
CCAJE – JULI – CHUCUITO – PUNO, CAMPAÑA 2015 - 2016

PRESENTADA POR:

TEÓFILO CHIRINOS ORTIZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

.....
M. Sc. LORENZO GABRIEL CIEZA CORONEL

PRIMER MIEMBRO

.....
Dr. GERMAN BELIZARIO QUISPE

SEGUNDO MIEMBRO

.....
M. Sc. FLAVIO ORTIZ CALCINA

ASESOR DE TESIS

.....
M. Sc. ALCIDES HECTOR CALDERON MONTALICO
Puno, 01 de diciembre del 2017.

ÁREA: Eficiencia del uso del agua.

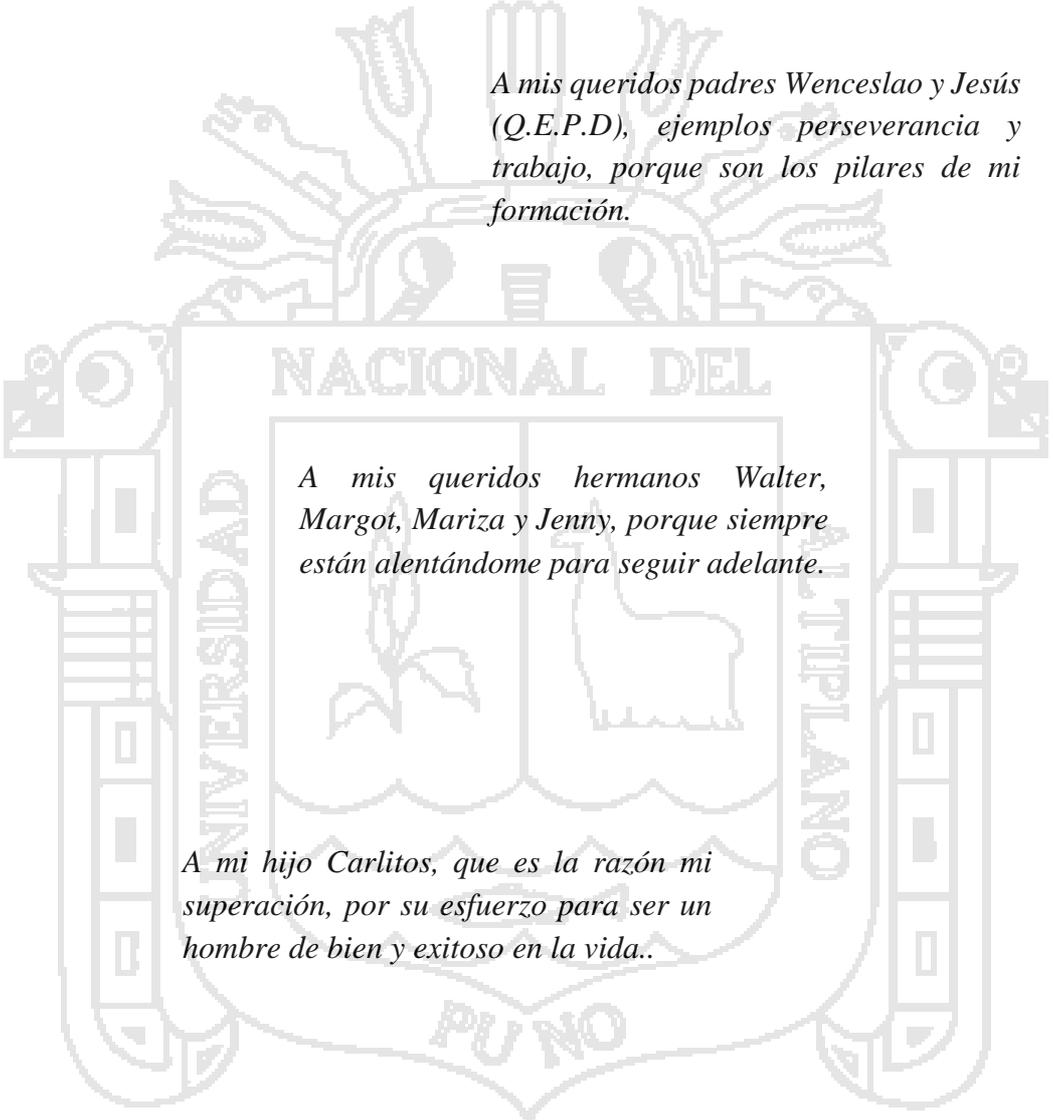
TEMA: Efectos de la dosis de riego con el consumo y eficiencia del uso del agua de un ecotipo local de la quinua.

LÍNEA: Determinación de los usos consultivos de los cultivos (Kc).

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud y la capacidad suficiente para avanzar, sin la cual nada hubiera sido posible.

A mis queridos padres Wenceslao y Jesús (Q.E.P.D), ejemplos perseverancia y trabajo, porque son los pilares de mi formación.



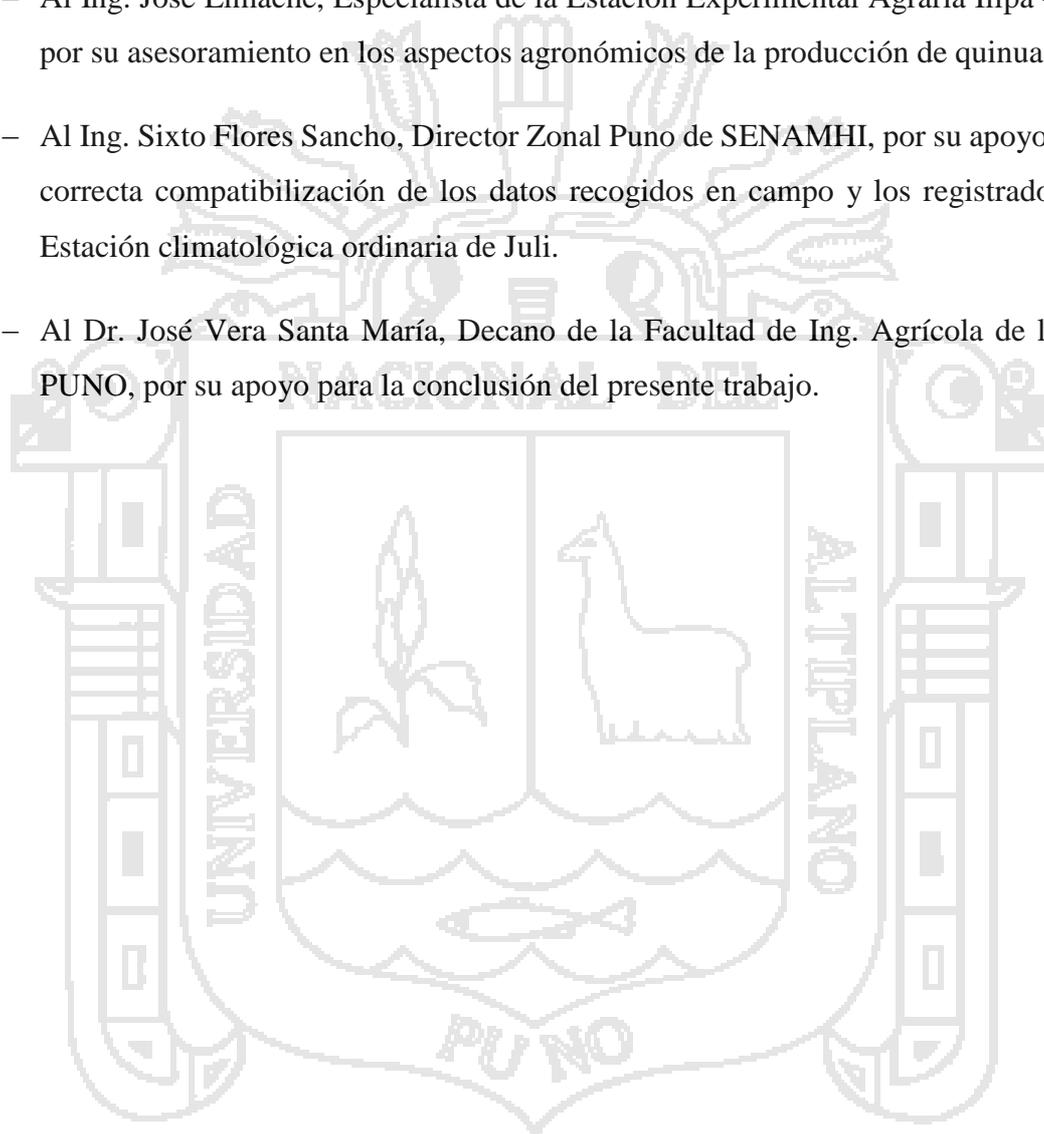
A mis queridos hermanos Walter, Margot, Mariza y Jenny, porque siempre están alentándome para seguir adelante.

A mi hijo Carlitos, que es la razón mi superación, por su esfuerzo para ser un hombre de bien y exitoso en la vida..

A Alodia, Manuelita y Shirley por su paciencia, apoyo y comprensión para que todo esto salga bien

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 del presente trabajo.
- 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 su apoyo para la correcta compatibilización de los datos recogidos en campo y los registrados en la Estación climatológica ordinaria de Juli.
- Al Dr. José Vera Santa María, Decano de la Facultad de Ing. Agrícola de la UNA PUNO, por su apoyo para la conclusión del presente trabajo.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA	2
1.1 Marco teórico	2
1.1.1 Dosis de riego	2
1.1.2 Consumo de agua	8
1.1.3 Eficiencia de uso del agua de los cultivos	10
1.1.4 Cultivo de quinua	14
1.1.5 Efecto del riego en el consumo y eficiencia de uso del agua - quinua ...	17
1.2 Antecedentes	17
1.2.1 Antecedentes a nivel internacional.	18
1.2.2 Antecedentes a nivel nacional	19
1.2.3 Antecedentes a nivel regional.	20
CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
2.1 Identificación del problema	21
2.2 Enunciados del problema	22
2.2.1 Problema principal	22
2.2.2 Problemas específicos	22
2.3 Justificación	23
2.4 Objetivos	24
2.4.1 Objetivo general	24
2.4.2 Objetivos específicos.	24
2.5 Hipótesis	24
2.5.1 Hipótesis general	24
2.5.2 Hipótesis específicas	24

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 Tipo y diseño de la investigación.....	26
3.1.1 Tipo de investigación.....	26
3.1.2 Diseño de la investigación	26
3.2 Ambito de estudio	27
3.2.1 Localización de la parcela experimental.....	27
3.2.2 Clima.....	28
3.2.3 Caracterización morfológica.....	28
3.2.4 Suelos.....	28
3.2.5 Agua de riego.....	30
3.3 Materiales	30
3.3.1 Parcela experimental.....	30
3.3.2 Instalación y acondicionamiento de la parcela experimental	34
3.3.3 Materiales utilizados	34
3.4 Conducción del experimento.....	35
3.4.1 Antecedentes de producción en la parcela experimental	35
3.4.2 Labores agrícolas desarrolladas	35
3.5 Diseño del sistema de riego y programación del riego	36
3.5.1 Diseño del sistema de riego	36
3.5.2 Programación del riego	37
3.6 Análisis del efecto de la dosis de riego en la evapotranspiración real	39
3.6.1 Estudio de las condiciones de clima	39
3.6.2 Ajuste de las etapas fenológicas y del coeficiente de cultivo K_c	39
3.6.3 Ajuste de la evapotranspiración del cultivo de referencia	39
3.6.4 Lámina de riego aplicada.....	40
3.6.5 Estimación del consumo de agua.....	40
3.7 Análisis de la dosis de riego y la eficiencia de uso del agua.....	41
3.7.1 Rendimientos del cultivo	41
3.7.2 Eficiencia de uso del agua	42
3.8 Análisis del efecto de la dosis de riego en los parámetros agronómicos	43
3.9 Análisis estadístico.....	43
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 Análisis del efecto de la dosis de riego en la evapotranspiración real	44
4.1.1 Condiciones de clima en la zona de estudio	44

4.1.2	Ajuste de la curva de coeficiente de cultivo Kc.....	44
4.1.3	Ajuste de la evapotranspiración del cultivo de referencia	45
4.1.4	Láminas de riego aplicada	46
4.1.5	Estimación del consumo de agua o evapotranspiración real	46
4.2	Efecto de la dosis de riego en la eficiencia de uso del agua	50
4.2.1	Rendimiento del cultivo.....	50
4.2.2	Eficiencia de uso de agua.....	52
4.3	Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo vegetativo.....	54
4.4	Efecto de la dosis de riego en los parámetros agronómicos básicos.....	54
CONCLUSIONES		56
RECOMENDACIONES.....		57
BIBLIOGRAFÍA		58
ANEXOS		68

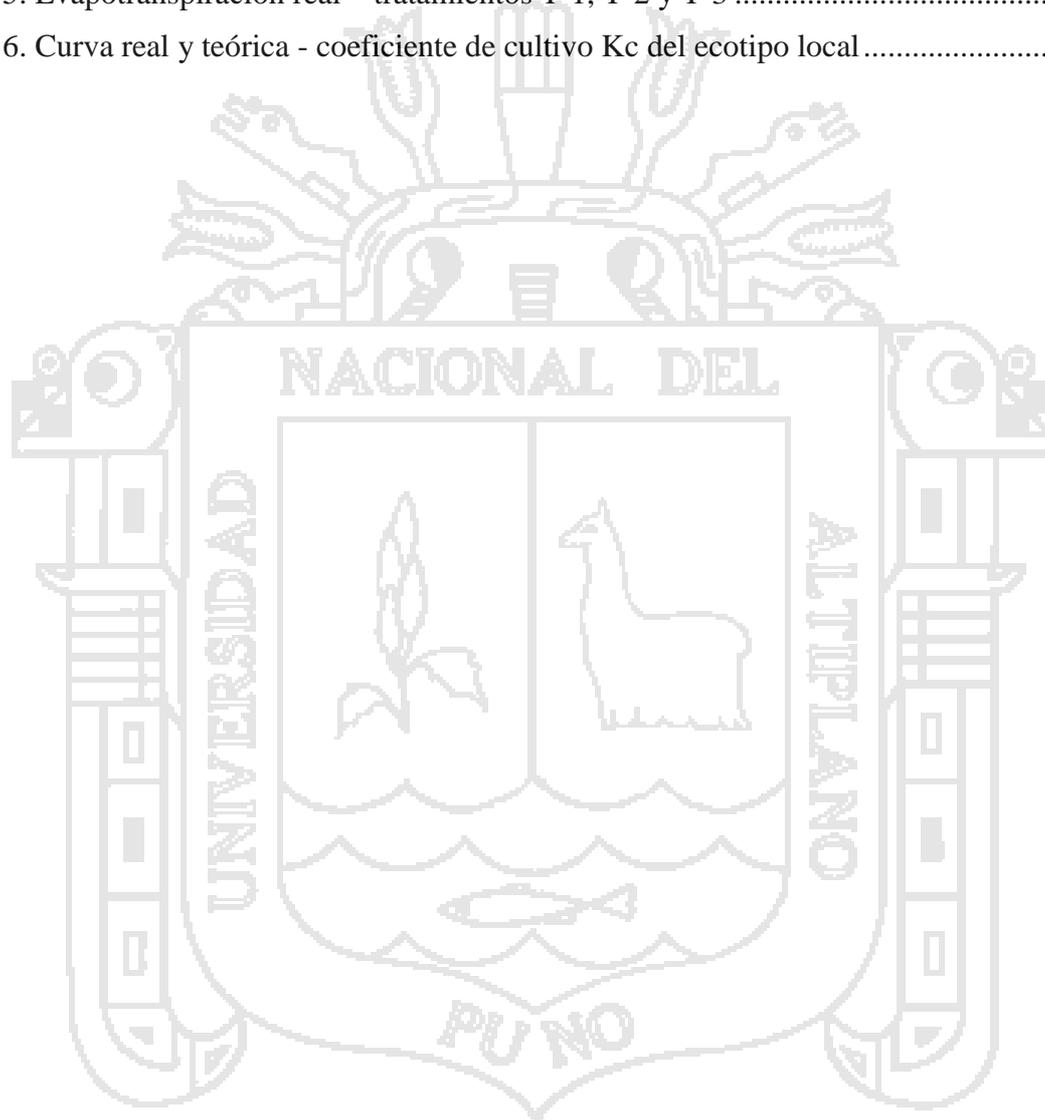


ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Alcance temporal y espacial de la eficiencia de uso del agua	11
2. Etapas fenológicas de la quinua.....	17
3. Perfil textual del suelo – parcela experimental.....	28
4. Características hídricas de los suelos de la parcela experimental.....	29
5. Análisis químico de suelos – parcela experimental	29
6. Análisis físico - químico del agua de riego.....	30
7. Necesidades totales de riego – tratamiento T-1	37
8. Diseño agronómico del sistema de riego	37
9. Coeficiente de cultivo Kc por etapa fenológica.....	38
10. Secuencia del Balance hídrico según condición hídrica del suelo.....	41
11. Etapas fenológicas del Ecotipo Local – 140 días de ciclo vegetativo	45
12. Lámina de riego aplicada –tratamientos T-1, T-2 y T-3.....	46
13. Evapotranspiración real total Ecotipo–Tratamientos T-1, T-2 y T-3	46
14. ANOVA de la evapotranspiración real para los tratamientos T-1, T-2 y T-3	49
15. HSD Tukey de la evapotranspiración real por efecto de los tratamientos.....	49
16. Rendimiento por planta según lisímetro y tratamiento	50
17. Rendimiento por unidad de superficie por lisímetro y tratamiento	51
18. Eficiencia de uso del agua según lisímetro.....	52
19. ANOVA de la eficiencia de uso del agua - tratamientos T-1, T-2 y T-3.....	53
20. HSD Tukey de la eficiencia de uso del agua - tratamientos T-1, T-2 y T-3.....	53
21. ANOVA de los parámetros agronómicos - tratamientos T-1, T-2 y T-3.....	54
22. HSD Tukey de los parámetros básico respecto a los tratamientos	55

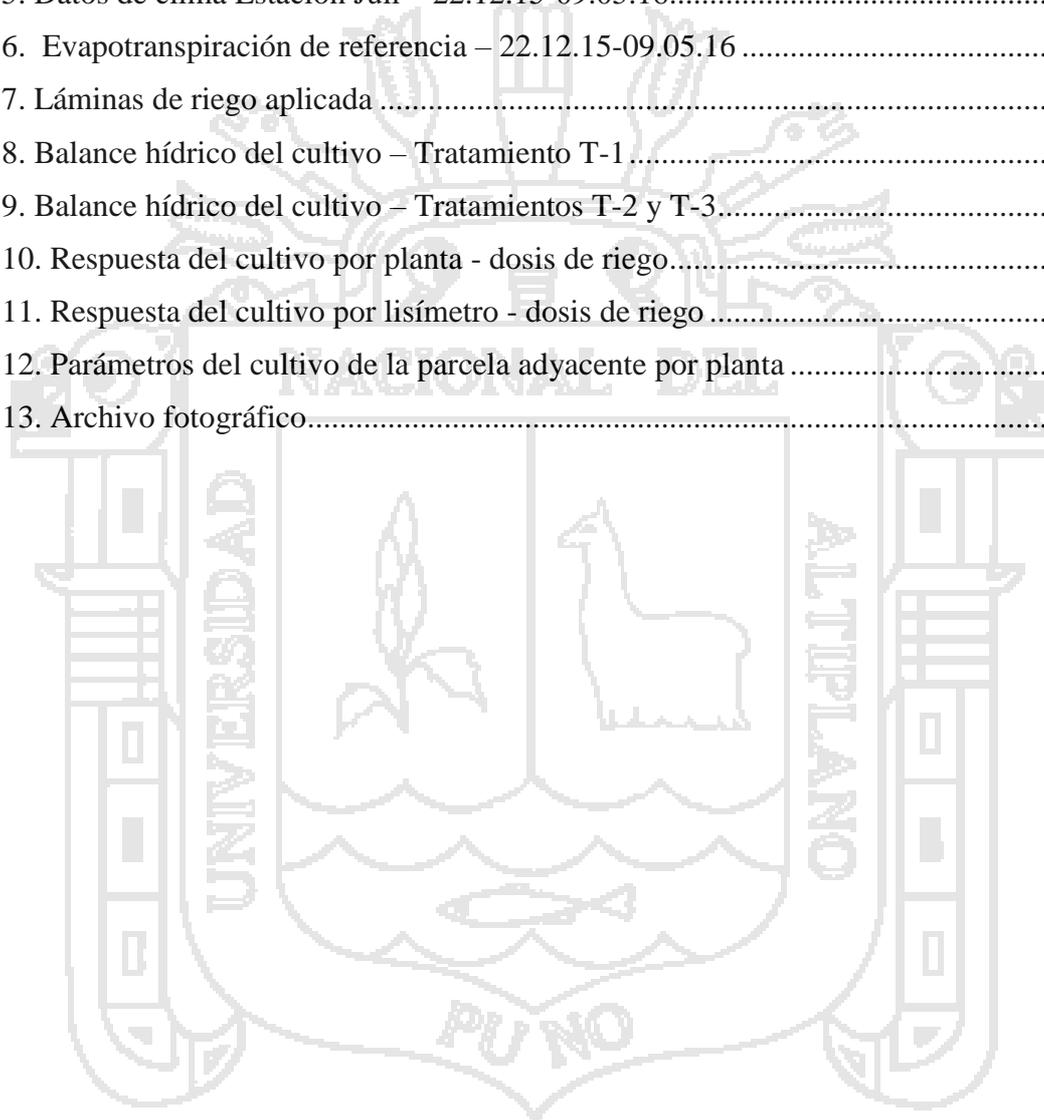
ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Esquema de un lisímetro de drenaje	9
2. Localización parcela experimental	27
3. Esquema general de la parcela experimental	31
4. Esquema general de la parcela experimental	45
5. Evapotranspiración real – tratamientos T-1, T-2 y T-3	47
6. Curva real y teórica - coeficiente de cultivo Kc del ecotipo local	48



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Información meteorológica– Estación climatológica Juli	69
2. Precipitación mensual 1957 – 2010 – Estación Juli	70
3. Cálculo necesidades totales de riego	71
4. Calendario de riegos – Tratamientos T-1; T-2 y T-3.....	76
5. Datos de clima Estación Juli – 22.12.15-09.05.16.....	82
6. Evapotranspiración de referencia – 22.12.15-09.05.16	86
7. Láminas de riego aplicada	87
8. Balance hídrico del cultivo – Tratamiento T-1	91
9. Balance hídrico del cultivo – Tratamientos T-2 y T-3.....	92
10. Respuesta del cultivo por planta - dosis de riego.....	93
11. Respuesta del cultivo por lisímetro - dosis de riego	96
12. Parámetros del cultivo de la parcela adyacente por planta	97
13. Archivo fotográfico.....	98



RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Comunidad de Ccaje del distrito de Juli, provincia de Chucuito en el departamento de Puno, desde el 09 de noviembre del 2015 al 30 de junio del 2016. El objetivo principal fue determinar el efecto de la dosis de riego en el consumo de agua y la eficiencia de uso de agua de un ecotipo local de quinua en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje, durante la campaña agrícola 2015 -2016. Para ello, se instaló una parcela experimental con 16 lisímetros de drenaje equipada con 01 sistema de riego por goteo, 01 protector de lluvias y 01 pluviómetro, donde se cultivó el ecotipo local de quinua bajo tres regímenes de riego (T-1: 100% Evapotranspiración del cultivo - ETc, T-2: 50% ETc y T-3: 25% ETc) con cuatro repeticiones y en el que diariamente se midió la precipitación pluvial y el riego aplicado. Como resultados se tuvo, que para las dosis de riego del 100%, 50% y 25% de la ETc, el consumo de agua del ecotipo local fue de 446, 290 y 166 mm. respectivamente; mientras que para la eficiencia de uso de agua fue, 1.225, 1.000 y 1.195 ton m⁻³ respectivamente. A partir de ellos concluimos que la dosis de riego tiene un efecto directo en el consumo real de agua; así también, que las dosis de riego mayores al 50% de la ETc tienen un efecto directo en la eficiencia de uso del agua del ecotipo local de quinua y las dosis de riego menores un efecto inverso

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

ABSTRACT

The present research was carried out in the Community of Ccaje of Juli district, province of Chucuito in the department of Puno, from November 9, 2015 to June 30, 2016. The main objective was to determine the effect of the irrigation dose in water consumption and water use efficiency of a local quinoa ecotype in drainage lysimeters in the Community of Ccaje, during the 2015-2016 agricultural campaign. For that, an experimental plot was installed with 16 drainage lysimeters equipped with 01 drip irrigation system, 01 rain protection and 1 rain gauge, where the local quinoa ecotype was cultivated under three irrigation regimes (T-1: 100% Evapotranspiration of the crop - ETc, T-2: 50% ETc and T-3: 25% ETc) with four repetitions and in which the rainfall and the applied irrigation were measured daily. As a result, it was found that for the irrigation doses of 100%, 50% and 25% of the ETc, the water consumption of the local ecotype was 446, 270 and 147 mm. respectively; while for the efficiency of water use, was 1.225, 1.073 and 1.352 ton m⁻³ respectively. From them we conclude that the irrigation dose has a direct effect on the actual consumption of water; also, that irrigation doses greater than 50% of ETc have a direct effect on the efficiency of water use of local ecotype of quinoa and lower irrigation doses a inverse effect.

Keywords: Water consumption, quinoa ecotype, water use efficiency, quinoa yield, quinoa irrigation.

INTRODUCCIÓN

El departamento de Puno es el mayor productor de quinua a nivel nacional, con una superficie de 32,261 has. y un rendimiento de 1.1 ton ha⁻¹ para la campaña 2014, que está muy por debajo de su rendimiento potencial. Esto es, debido a una serie de factores concurrentes, dentro de los cuales son relevantes la producción con sistemas manejo agronómico tradicionales y en condiciones de secano. Esta situación no permite que los productores aprovechen plenamente las oportunidades de mercado que se han generado por el incremento de la demanda interna y externa de dicho producto; por consiguiente, se hace indispensable canalizar los esfuerzos que se realizan, hacia una producción de quinua orgánica bajo riego, con sistemas agronómicos mejorados que se sustenten en el capital genético desarrollado en cada espacio del territorio.

Existen interesantes experiencias en el altiplano boliviano, chileno y regional que demuestran que la producción de la quinua bajo riego, con algunas mejoras en el manejo agronómico del cultivo, pueden generar incrementos significativos en el rendimiento del cultivo. Pero, existe muy poca información sistematizada sobre consumo de agua real, coeficiente de cultivo, eficiencia de uso del agua y otros de las diferentes variedades y cultivares locales, indispensables para la planificación del riego y el diseño de sistemas de riego en condiciones eficientes y de máximo aprovechamiento del agua.

Es por ello, que la presente investigación tiene como propósito determinar el efecto de diferentes dosis de riego en el consumo de agua y eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua en condiciones experimentales, debido a que un alto porcentaje de productores es renuente al cambio de los cultivares locales por las variedades mejoradas o variedades comerciales; pues según ellos, estos últimos son muy exigentes en el manejo agronómico, muy sensibles a plagas y enfermedades y poco resistentes a las grandes sequías. Para ello instaló una parcela experimental completamente equipada en la Comunidad de Juli, donde en lisímetros se sometió al ecotipo local a tres regímenes de riego, con tres repeticiones e iguales al 100%, 50% y 25% de la evapotranspiración del cultivo.

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Dosis de riego

La dosis de riego es la cantidad de agua que se aplica a una superficie cultivada en cada riego y se expresa como lámina o como volumen de agua (Fuentes, 2003; Losada, 2015; Martínez, 2014).

La WWF España (2009) señala que el riego implica el uso de recursos hídricos con diferentes usos alternativos, por lo que para regar se debe seguir una serie de pasos que permitan establecer el volumen de agua que sea suficiente para cubrir las necesidades de un cultivo; los mismos que incluyen, el cálculo de sus necesidades hídricas. Faci (2012) agrega, que una vez conocido las necesidades hídricas del cultivo se deben programar los riegos; es decir, establecer dosis y la fecha de su aplicación durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Por lo tanto, de acuerdo a lo señalado por Pizarro (1990), WWF España (2009) y Fernández *et al.* (2010) para programar el riego de un cultivo es necesario considerar los siguientes pasos:

- Conocer las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona de estudio
- Establecer las necesidades netas de riego
- Establecer los índices de calidad de riego y de las necesidades de lixiviación
- Establecer las estrategias y la programación del riego.

a. Necesidades netas de riego

Definidos las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones de clima de la zona de estudio se debe estimar las necesidades netas de riego del cultivo.

Las necesidades netas de riego son los volúmenes de agua que necesita un cultivo para alcanzar su máximo desarrollo y no incluye las pérdidas que se producen al momento de la aplicación del riego, y dependen del tipo, etapa fenológica y sensibilidad al estrés hídrico del cultivo; de la capacidad de almacenamiento de agua y de la humedad del suelo al momento de riego, así como del método de riego. Losada (Losada, 2015; Puppo, 2015).

Los criterios para determinar las necesidades netas de riego varían de acuerdo al método de riego adoptado. Fernández, Yruela, Milla, García y Oyoarte (2010); Ferreyra y Sellés (1995); y Pizarro (1990) señalan que en los sistemas de riego localizado de alta frecuencia se busca es restituir el agua evapotranspirada por el cultivo en el intervalo de riego adoptado; por lo que, a partir de un balance hídrico en la zona radicular y para condiciones en la que el efecto del aporte capilar y la variación de la humedad del suelo sean despreciables, las necesidades netas de riego se pueden estimar mediante la siguiente expresión:

$$Nn = ETc - Pe \quad (1)$$

Donde:

Nn: Necesidades netas de riego (mm)

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm)

Pe: Precipitación efectiva (mm)

– Evapotranspiración del cultivo

Llamada también uso consuntivo, es la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo en donde se asienta el cultivo (Fuentes, 2003).

Según Allen, Pereira, Raes y Martin (2006) la evapotranspiración puede ser:

- La evapotranspiración de referencia o del cultivo de referencia (ET_o): Es la evapotranspiración de un cultivo hipotético de una altura de 0.12 m., una resistencia de la superficie de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0.23 m. (Allen *et al.*, 2006),
- Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c): Se refiere a la evapotranspiración de un cultivo exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en condiciones óptimas de suelo y agua; y corresponde a la Evapotranspiración máxima del cultivo (ET_m). (Allen *et al.*, 2006)
- Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_a): Es la evapotranspiración de un cultivo que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferente a las condiciones estándar (Allen *et al.*, 2006). Será igual a la evapotranspiración máxima (ET_m), si la humedad del suelo se mantiene permanente a capacidad de campo, y menor en caso contrario. Por debajo de la fracción de agotamiento crítico, la evapotranspiración real se hace cada vez menor que la evapotranspiración máxima (Pariani, 2005)

Según Ahmad *et al.* (2005, citado por Machado, 2016) existen diversos métodos para determinar evapotranspiración de referencia y real; dentro de las cuales tenemos el enfoque “K_c ET_o” desarrollado por la FAO para determinar la evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar, de manera indirecta.

– Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es la porción de la precipitación total que retiene el suelo y está disponible para la producción de los cultivos (Losada, 2015).

Los factores que influyen en la proporción de la lluvia efectiva son: la lluvia, temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, relieve terreno, características del suelo, humedad del suelo, gestión del suelo y cobertura vegetal presente (Alcobendas & Moreno, 2014)

Existen diversos métodos para estimar la precipitación efectiva, cuya selección depende de las condiciones para las cuales fue desarrollado el modelo, la disponibilidad de información pluviométrica, la escala temporal de estimación y las condiciones en que se realiza el estudio.

b. Índices de calidad de riego y necesidades de lixiviación

– Índices de calidad de riego

Fernández *et al.* (2010) señalan que los índices para determinar si el riego se ha realizado de manera correcta, en cuanto a la uniformidad y eficiencia, son: el coeficiente de uniformidad (CU), la eficiencia de aplicación (Ea) y el cociente de déficit (CD)

Los índices de riego permiten cuantificar el agua a adicionar a las necesidades netas de riego para garantizar la uniformidad del riego y para compensar las pérdidas que se producen al momento del riego (R. Fernández, Avila, *et al.*, 2010; Ferreyra & Sellés, 1995; Fuentes, 2003)

– La eficiencia de aplicación

Es la relación entre la cantidad de agua almacenada en la zona radicular y disponible para los cultivos y el agua aplicada con el riego. Se ve influenciada por el grado de nivelación del terreno, el método de riego, la forma de planeamiento de la unidad de riego, las características físicas y topográficas del suelo, y el manejo y control del agua durante el riego (R. Fernández, Milla, *et al.*, 2010; Fuentes, 2003).

En sistemas de riego localizados de alta frecuencia, Keller (1998, citado por Pizarro, 1990) recomienda tener en cuenta las condiciones de clima y suelo de la zona de estudio y la profundidad radicular del cultivo, para estimar o evaluar la eficiencia de aplicación.

– El coeficiente de uniformidad

Indica cuán uniformemente se ha distribuido el agua aplicada con el riego, en el perfil del suelo. La falta de uniformidad hace que algunas zonas de la

superficie regada estén expuestas al déficit hídrico, en contraste con otras que tendrán un exceso de agua. (R. Fernández, Avila, *et al.*, 2010; Fuentes, 2003)

En el caso particular de los sistemas de riego tecnificado de alta frecuencia, es importante medir o estimar la uniformidad del riego, para saber si el riego, fertilizantes y productos fitosanitarios incorporados al agua se están aplicando de manera uniforme (R. Fernández, Yruela, *et al.*, 2010).

– Necesidades de lixiviación

Según Doorenbos y Pruitt (1976) y Fernández *et al.* (2010) las necesidades de lixiviación constituyen la cantidad de agua que se debe adicionar a la lámina de riego, para disolver y desplazar las sales acumuladas en la zona radicular, con el fin regular su nivel de concentración de sales.

Las necesidades de lixiviación dependen de la tolerancia del cultivo a la salinidad, de la salinidad del agua de riego, así como del método de riego (Fernández *et al.* (2010).

Doorenbos y Pruitt (1976) establecen dos expresiones para la determinación de las necesidades de lixiviación para métodos de riego superficial y método de riego por goteo y aspersores de alta frecuencia.

c. Programación del riego

Según Fuentes (2003) los métodos para la programación del riego se dividen en tres grupos:

- Métodos basados en medir el estado hídrico de la planta, en forma directa o indirecta.
- Métodos basados en medir el estado hídrico del suelo mediante diversos instrumentos.
- Métodos basados en la valoración del balance hídrico del conjunto suelo-planta-atmósfera.

Además, señala que la programación del riego se puede establecer a partir de los datos de clima promedio, con lo cual se tendrá la programación de riego

para el año promedio o partir de datos medidos en el momento del riego, con lo que se tendrá la programación del riego en tiempo real.

Fernández *et al.* (2010) y Fuentes (2003) precisan que para establecer la programación de riego para el año promedio, se necesitan los siguientes datos: la evapotranspiración de referencia de la zona, el coeficiente de cultivo K_c del cultivo a regar en sus diferentes fases fenológicas, la profundidad radicular media en sus distintas fases, el intervalo de humedad disponible en el suelo, el nivel de agotamiento permisible, los índices de calidad de riego y los requerimientos de lixiviación de sales. En cambio, para establecer la programación de riego en tiempo real, Fuentes (2003) puntualiza que al conjunto de datos establecidos para determinar la programación de riego para el año promedio, hay que sustituir los que deben reajustarse con los datos reales del clima correspondientes al período de riego.

d. Repercusiones de la dosis de riego en el rendimiento de los cultivos

Fuentes (2003) y Lázaro y Saucedo (2011) señalan que para estimar el efecto de la dosis de riego en la producción, se han establecido funciones matemáticas que relacionan la producción con la evapotranspiración del cultivo. Estas funciones, que son válidas para condiciones en que los demás factores del crecimiento no son restrictivos, son lineales, pero con una pendiente diferente para cada cultivo.

En concordancia con dichas funciones de producción, establecidas para todo el ciclo vegetativo y para las diferentes fenológicas de cada cultivo, señalan que el déficit de agua en los cultivos tiene implicancias directas, pero en diferente proporción en la evapotranspiración de los cultivos y por ende en sus rendimientos; así también, que el efecto del déficit hídrico es más significativo en las etapas de fenológicas de floración y de formación de cosecha, que en el resto de las etapas que es relativamente pequeño.

e. Efecto de la dosis de riego en la eficiencia de uso del agua de los cultivos

Medrano, H.; Bota, J.; Cifre, J.; Flexas, J.; Ribas-Carbó, M. y Gulías, J. (2007) señalan que la producción de biomasa de cualquier comunidad vegetal depende

de la cantidad de agua que evapotranspiran. Así también, que la capacidad de conversión de agua en biomasa depende de las características de la especie relacionadas con el proceso de evapotranspiración y de las características del ambiente en que se desarrolla la planta.

f. Establecimiento de las dosis de riego a aplicar con fines de evaluación

En la práctica, no existe ninguna regla para establecer la magnitud ni el número de dosis de riego a aplicar durante el ciclo vegetativo, para evaluar su efecto en la producción, rendimiento, eficiencia de uso de agua y otros parámetros de un cultivo; Así tampoco, para establecer el parámetro de referencia para determinar la dosis de riego. Por lo que, en todos los casos depende del criterio del investigador-

Es así que, Morí (2015) utilizó cinco dosis de riego iguales al 0.55, 0.70, 0.85 1 y 1.15 de la lámina total de riego, para evaluar el efecto de ellas en el rendimiento cde la quinua. Méndez-Natera, Lara y Gil-Marín (2007) utilizaron cuatro dosis de riego iguales a 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 de la evaporación del Tanque evaporímetro tipo A, para evaluar el efecto del riego por goteo en el crecimiento inicial de tres cultivares de algodón. Escobar, Ortíz, Miranda y Peroza (2014) utilizaron cinco dosis de riego iguales a 1.2, 1.0, 0.8, 0.6 y 0.4 de la evapotranspiración del cultivo, para evaluar el efecto de las diferentes dosis de riego sobre el cultivo de caroata.

1.1.2 Consumo de agua

a. Aspectos generales

El consumo de agua de un cultivo a lo largo de su ciclo vegetativo, conocido también como evapotranspiración del cultivo (ETc) o evapotranspiración real del cultivo (ETr), permite establecer la frecuencia y la cantidad de agua aplicar al momento del riego, el área potencial irrigable y el dimensionamiento de obras hidráulicas (Andriani, 2000; Ortega-Farías, Calderón, Acevedo, & Fuentes, 2000).

La evapotranspiración real de los cultivos puede medirse directamente empleando los métodos de balance de energía, balance hídrico del suelo o de lisimetría, mediante estudios específicos que a su vez permitan validar la

evapotranspiración del cultivo de referencia y establecer el coeficiente de cultivo K_c correspondiente (Andriani, 2000; Ortega-Farías *et al.*, 2000).

b. Métodos prácticos para medir directamente la evapotranspiración

Existen diversos métodos para medir el consumo de agua de los cultivos; por lo que para la selección de ellos, se debe considerar si su implementación y precisión son compatibles con el estudio a realizar (V. Da Silva, Garcêz, Da Silva, De Albuquerque, & Almeida, 2015). Sobre ello, Stone y Marques (1995) señalan que los lisímetros de drenaje son los más simples y baratos que los demás, y que además que proporcionan datos con una precisión aceptable, cuando están bien instalados y operados.

Lisímetros de drenaje

Los lisímetros de drenaje son unos tanques impermeables enterrados en el suelo, que están rellenos con suelo local y vegetados, que en el fondo tienen un lecho de gravas, donde se instala un desagüe para la salida del exceso de agua, impidiendo que el suelo que está dentro de los tanques se sature (Rosa, 2002). Son generalmente utilizados para medir la Evapotranspiración máxima debido a que en estos tanques la humedad del suelo se debe mantener a capacidad de campo (Stone & Marques, 1995). En la figura 1 se muestran los componentes de los lisímetros de drenaje.

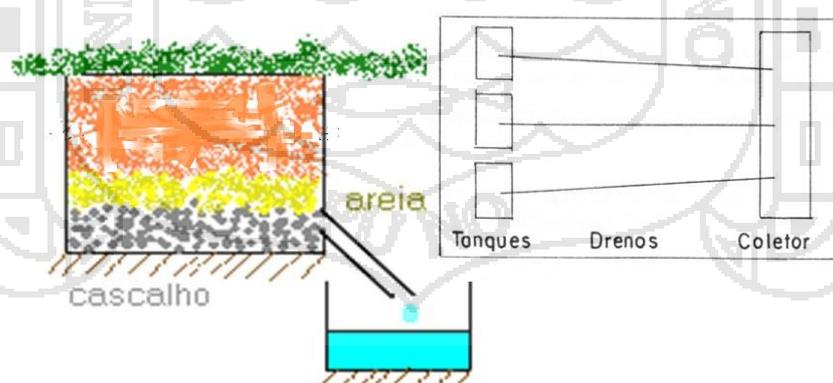


Figura 1. Esquema de un lisímetro de drenaje

Fuente: <http://slideplayer.com.br/slide/1228262/> (2017) y Rosa (2002)

De acuerdo con Stone y Marques (1995) la evapotranspiración se determina en base al principio de la conservación de la masa, mediante un balance hídrico

que se realiza en cada lisímetro, en la que se debe tener en cuenta que la variación de humedad del suelo es prácticamente despreciable. Para ello, se utiliza la siguiente expresión:

$$ET = P + R - D \quad (2)$$

Donde:

PE: Precipitación (mm)

R: Riego aplicado al lisímetro (mm)

D: Agua drenada del lisímetro (mm)

Modelo del balance hídrico del cultivo

Es uno de los métodos del balance hídrico del suelo, que utiliza en forma secuencial el método del balance hídrico climatológico desarrollado por Thornthwaite y Mater en 1955 (Rosa, 2002).

El modelo permite determinar la evapotranspiración real, el déficit entre la evapotranspiración real y máxima, la variación de humedad del suelo, el excedente hídrico y la deficiencia relativa de un cultivo específico, a una escala temporal deseada y durante su ciclo vegetativo; a partir de un balance hídrico secuencial, entre los ingresos y salidas de agua de la zona radicular del cultivo, de cada uno de los períodos de análisis que se derivan de la escala temporal adoptada (Pereira, Angelocci, & Sentelhas, 2007).

1.1.3 Eficiencia de uso del agua de los cultivos

a. Definición

La eficiencia de uso del agua en la agricultura se aplica con diferentes enfoques y dimensiones, que es necesario tener presente al momento de generar o analizar la información sobre este tema. Es así que, Martín de Santa Olalla (2005, citado por León, 2014) señala que este concepto determina la eficiencia con la que la planta utiliza el agua disponible ya sea para la fotosíntesis, construcción de biomasa o rendimiento final del cultivo. El alcance temporal y espacial de cada uno de estos procesos se resume en la tabla 1.

Tabla 1
Alcance temporal y espacial de la eficiencia de uso del agua

Denominación	Expresión	Escala de tiempo	Escala de espacio
EUA en Fotosíntesis	A/T	Minutos, horas	Hoja, Planta
EUA en biomasa	Biomasa/ETc	Semana, ciclo	Planta, cultivo
EUA en rendimiento	HI*Biomasa/ETc	Ciclo	Planta, cultivo

Nota: EUA: Eficiencia de uso del agua; A: Tasa de asimilación neta de la hoja; T: Tasa de transpiración de la hoja; ETc: Evapotranspiración del cultivo; Biomasa: Biomasa producida encima del suelo; HI: (Harvey Index) Índice de cosecha.

Fuente: Martín de Santa Olalla (2005, citado por León, 2014)

Entre tanto, Salazar, Rojano y Lorenzo (2014) señalan que la eficiencia en el uso del agua o productividad del agua es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste en un momento determinado.

Así también Kijne (2003) indica que la eficiencia de uso del agua o productividad del agua a nivel de cuenca, se puede considerar como la relación que existe entre el valor del producto generado por el agua (expresado como biomasa, grano o dinero) respecto al volumen de agua derivado de la fuente, menos el agua reintegrado; y a nivel de campo, respecto al agua de lluvia y al riego suplementario aplicado.

b. Importancia de la eficiencia de uso del agua

El estudio de las relaciones agua – rendimiento y su incorporación dentro de la planificación del uso del agua en un espacio geográfico determinado, es importante porque permite establecer estrategias de manejo para el incremento de la producción agrícola (González, Herrera, López, & Cid, 2013)

El estudio de la productividad del agua a nivel de irrigaciones es importante, porque permite detectar ineficiencias en el sistema, así como plantear mejoras acordes a las potencialidades locales, con mayores beneficios económicos por volumen de agua consumido (M. Fernández, 2006) .

En la planificación del uso de los recursos hídricos a nivel de cuenca, es importante determinar la eficiencia de uso del agua de los cultivos, cuando se

compara la productividad del agua en la agricultura con respecto a otros usos alternativos (Kijne, 2003).

c. Variabilidad de la eficiencia de uso del agua

Los valores de eficiencia de uso del agua de un cultivo varían muchas veces significativamente de un sitio a otro e incluso en el mismo lugar; debido a que los resultados corresponden a diferentes condiciones de clima y de manejo agronómico, que inciden no solo en el rendimiento sino en la cantidad de agua utilizada (Kijne, 2003).

Es así por ejemplo, que Aloé y Toribio (2002) encontraron que la eficiencia de uso del agua del trigo en la región pampeana de Argentina, fue 60% mayor con fertilización que sin fertilización, en dos cultivos sembrados en la misma fecha y bajo las mismas condiciones de manejo.

d. Componentes eficiencia de uso del agua

Los componentes de la eficiencia de uso del agua de los cultivos son: el agua acumulada en el suelo o agua transpirada por el cultivo y la conversión a biomasa o rendimiento (Pergolini, Castillo, & Espósito, 2014).

El agua acumulada en el suelo y disponible para la evapotranspiración del cultivo, es igual al volumen resultante de la diferencia entre el nivel de humedad actual y el punto de marchitez permanente del suelo, afectado directamente por la profundidad radicular del cultivo y la densidad aparente del suelo (Rosa, 2002).

El rendimiento agrícola es la relación entre la producción total de un cultivo cosechado, por unidad de superficie; y depende de sus características de productividad potencial, rusticidad y de las condiciones ambientales; por eso es que, tiene una alta variabilidad en el tiempo y espacio, de acuerdo a la interacción de dichos factores (EcuRed, s. f.). El rendimiento se determina mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Donde:

R: Rendimiento (ton ha⁻¹)

P: Producción (ton)

S: Extensión de área de terreno (ha)

e. Determinación de la eficiencia de uso del agua

Gil (s. f.) y Fernández (2006) plantean la expresión para la determinación de la eficiencia de uso del agua:

$$EUA = \frac{BIOMASA\ ACUMULADA}{CONSUMO\ DE\ AGUA} \quad (4)$$

Donde:

Biomasa acumulada: kg ha⁻¹

Consumo de agua: m³ ha⁻¹

EUA: Eficiencia de uso del agua (kg m⁻³)

En la expresión 4 la biomasa acumulada puede corresponder a la asimilación del CO₂, biomasa total o rendimiento del cultivo; así también, el consumo de agua puede ser la transpiración, evapotranspiración o el total de agua aplicada al sistema. En este último caso, se refiere al resultado del balance hídrico en la zona radicular.

Así también, señalan que con fines agronómicos se puede adoptar por simplicidad de cálculo y disponibilidad de información la siguiente relación:

$$EUA = \frac{Rendimiento}{Evapotranspiración\ del\ cultivo} \quad (5)$$

Donde:

Rendimiento: kg ha⁻¹ ó S/. ha⁻¹

Evapotranspiración real del cultivo: m³ ha⁻¹

EUA: Eficiencia de uso del agua (kg m⁻³ ó S/. m⁻³)

1.1.4 Cultivo de quinua

a. Origen de la quinua y clasificación taxonómica

La quinua es una planta andina originaria de los alrededores del lago Titicaca del Perú y Bolivia, que fue cultivada y utilizada por las civilizaciones prehispánicas en su alimentación (Mujica, A; Jacobsen, SE; Izquierdo, J; Marathee, 2001)

La clasificación taxonómica de la quinua, según Mujica *et al.* (2013) es como sigue:

Reino: Vegetal

Sub Reino: Phanerogamae

División: Angiospermae

Clase: Dicotyledóneae

Sub-clase: Archyehlamydeae

Orden: Centrospermales

Familia: Amarantaceae

Género: *Chenopodium*

Sección: Chenopodia

Subsección: Cellulata

Especie: *Chenopodium quinoa* Willd.

b. Niveles de clasificación de la quinua según su variabilidad

Tapia, Severo, Canahua, Quispe, Gavidia y Mescoco (2013) señalan, que de acuerdo a su variabilidad, la quinua se puede clasificar en las siguientes tipos:

- Especies silvestres: Son los parientes silvestres que coexisten con las poblaciones cultivadas de quinua y son progenitores de las variedades actuales.
- Acciones: son muestras de quinua recolectadas de las parcelas de los agricultores y mercados por sus particularidades genéticas, para conservarse en el Banco de Germoplasma.

- Cultivares o variedades nativas: son especies con cierta similitud que los agricultores han ido seleccionando en el proceso de domesticación;
- Razas: Son poblaciones con distribución geográfica definida, y con características y usos semejantes.
- Variedades comerciales: Son las que han seguido un proceso de selección y mejoramiento en base a una selección masal, cruzamiento u otros en estaciones experimentales oficialmente registrados.

Así también señalan, que el término de ecotipo solo debería de usarse para las especies silvestres.

c. Descripción botánica

La quinua es una planta herbácea anual, dicotiledónea, de amplia dispersión geográfica. Su período vegetativo varía de 90 a 240 días, crece con precipitaciones que van de 200 a 2600 mm anuales y se adapta a suelos con pH de 4.5 a 9.0. Se adecúa a suelos que varían de arenosos a arcillosos y son muy tolerantes a factores climáticos adversos como sequías, heladas, salinidad de suelos, entre otros (Apaza, Cáceres, Estrada, & Pinego, 2013)

La planta es erguida, con alturas que varían de 0.60 a 3.00 m., según el tipo de quinua, genotipo, fertilidad de los suelos y las condiciones ambientales en que crece (Mujica *et al.*, 2013)

La raíz es pivotante, con una raíz principal y numerosas raíces secundarias, cuya profundidad y ramificaciones varían con el genotipo (Mujica *et al.*, 2013).

El tallo es cilíndrico en el cuello de la planta y anguloso a partir de las ramificaciones. Tiene una coloración que varía del verde al rojo, algunas veces presenta estrías y axilas pigmentadas de color verde, rojo o púrpura (Apaza *et al.*, 2013).

Las hojas son alternas y están formadas por peciolo y lámina. Los peciolos son largos, finos y acanalados en su parte superior y de longitud variable dentro de la misma planta. La lámina, en la misma planta puede tener forma romboidal, triangular o lanceolada, plana u ondulada, algo gruesa, carnosa y tierna,

cubierta por cristales de oxalato de calcio, de colores rojo púrpura o cristalino, tanto en el haz como en el envés. La coloración de la hoja es muy variable va del verde al rojo con diferentes tonalidades (Apaza *et al.*, 2013).

La inflorescencia es una panoja típica, constituida por un eje central y ramificaciones que sostienen a los glomérulos. El eje principal es más desarrollado que los secundarios y puede ser laxa (amarantiforme), compacta (glomerulada) o intermedia entre ambas. La panoja alcanza longitudes de 30 a 80 cm. por 5 a 30 cm. de diámetro, dependiendo del genotipo, tipo de quinua, lugar donde se desarrolla y condiciones de fertilidad del suelo. El número de glomérulos por panoja varía de 80 a 120 y el de semillas por panoja de 100 a 3000 (Mujica *et al.*, 2013).

Las flores son pequeñas, incompletas, sésiles y desprovistas de pétalos; pueden ser hermafroditas, pistiladas (femeninas) y androestériles. Tienen 10% de polinización cruzada (Apaza *et al.*, 2013).

El fruto es un aquenio, que tiene forma cilíndrica-lenticular, levemente ensanchado en la parte central. Está constituido por el perigonio que envuelve a la semilla por completo y contiene una sola semilla de coloración variable (Apaza *et al.*, 2013).

d. Fenología de la quinua

La fenología son los cambios externos observables del desarrollo vegetativo de la planta, que dependen del genotipo, de las condiciones del suelo y de los factores ambientales; cuyo seguimiento sirve para programar las labores culturales, riegos y control de plagas y enfermedades (Mujica *et al.*, 2013; Gandarillas, citado por Pires, 2017)

Mujica *et al.* (2013) señalan que la quinua tiene fases fenológicas bien definidas, que permiten identificar los cambios que ocurren en el desarrollo de la planta, y que señalan en la tabla 2.

Tabla 2
Etapas fenológicas de la quinua

N°	Etapas fenológica	Fecha de ocurrencia después de la siembra (días)
1	Emergencia	7 a 10
2	2 hojas verdaderas	15 a 20
3	4 hojas verdaderas	25 a 30
4	6 hojas verdaderas	35 a 45
5	Ramificación	45 a 50
6	Inicio panojamiento	55 a 60
7	Panojamiento	65 a 70
7	Inicio de floración	75 a 80
8	Floración o Antesis	85 a 95
9	Grano acuoso	95 a 100
10	Grano lechoso	100 a 130
11	Grano pastoso	130 a 160
12	Madurez fisiológica	160 a 180
13	Madurez cosecha	180 a 190

Fuente: Mujica *et al.* (2013)

1.1.5 Efecto del riego en el consumo y eficiencia de uso del agua - quinua

Según Pergolini *et al.* (2014), la cantidad de agua disponible en el suelo tiene implicancias directas en el consumo de agua, como tal en la conversión de biomasa y por ende en la eficiencia de uso de agua del cultivo.

Esto se evidencia en los estudios realizados por Choquecallata *et al.* (1992) y García *et al.* (1992) con el cultivo de quinua variedades Chukapaka y Sajama amarantiforme en lisímetros de drenaje y parcelas experimentales, en la Estación Experimental Patacamaya, La Paz – Bolivia. Ellos, bajo los regímenes de riego: diario (nivel de humedad del suelo igual a la capacidad de campo), parcial (nivel de humedad del suelo igual al 50% del agua total disponible) y secano, encontraron que a mayor humedad del suelo mayor es la evapotranspiración y la eficiencia de uso del agua.

1.2 Antecedentes

Los estudios sobre consumo de agua de la quinua a nivel nacional e internacional son muy limitados; mucho más aun sobre eficiencia de uso del agua de la quinua, que en la mayoría de los casos se ha realizado en forma complementaria y de manera aislada.

1.2.1 Antecedentes a nivel internacional.

García, *et al.* (1992) evaluaron el consumo de agua de las variedades de quinua Chukapaka (dulce) y Real (amarga) en parcelas experimentales y en condiciones de riego complementario (lámina de riego igual al 50% del agua total disponible) y secano, en la Estación Experimental de Patacamaya (3,786 m.s.n.m.), La Paz - Bolivia. Para una precipitación total de 153.6 mm ocurrida durante el período de ejecución del estudio, la evapotranspiración total de ambas variedades fue de 305.8 y 323.7 mm en condiciones de riego y de 173.8 y 174.4 mm. en condiciones de secano, respectivamente; y la eficiencia de uso de agua de 1.14 y 0.91 kg m⁻³ en condiciones de riego y 0.60 y 0.54 kg m⁻³ en condiciones de secano, respectivamente.

Choquecallata, *et al.* (1992) determinaron la evapotranspiración máxima y el coeficiente de cultivo Kc de la quinua variedad Sajama Amarantiforme, en lisímetros de drenaje y con riego complementario en la Estación Experimental de Patacamaya (3,786 m.sn.m.), La Paz - Bolivia. La evapotranspiración total máxima del cultivo, el rendimiento agrícola y la eficiencia de uso de agua, en condiciones de riego complementario, igual al necesario para mantener la humedad del suelo en capacidad de campo, fue de 488 mm., 3.70 ton ha⁻¹ y 0.71 kg m⁻³ respectivamente.

Alba (1995) evaluó el efecto de diferentes niveles de humedad del suelo en el rendimiento de la quinua variedad Chukapaka, durante la campaña agrícola 1993 – 1994 en el Instituto Boliviano de Tecnología y Energía Nuclear ubicado Viacha, Bolivia. Los resultados indican que la variedad Chukapaka tuvo un mayor rendimiento cuando el nivel humedad del suelo se mantuvo cerca del 70% del agua total disponible.

García, Raes y Jacobsen (2003) realizaron un análisis de la evapotranspiración del cultivo de quinua para las condiciones la estación experimental de Patacamaya. Para ello, compararon los valores de evapotranspiración del cultivo de referencia medidos en lisímetros de drenaje con los calculados por el Método de FAO-Penman-Monteith, encontrando que no existe compatibilidad entre ambos; esto, debido a que el modelo no ha sido calibrado para altitudes por encima de los 3,000 m.s.n.m. Para las condiciones de clima de la zona de estudio (planicie altiplánica), se mejoró la compatibilidad de datos mediante la incorporación de la temperatura del punto de rocío derivado de la temperatura mínima del aire, a la fórmula del Método FAO-

Penman-Monteith. Con los valores de evapotranspiración del cultivo de referencia reajustados, establecieron que los nuevos valores de K_c para la quinua – variedad Sajama de 112 días de ciclo vegetativo: K_c inicial: 0.52, K_c intermedio: 1 y K_c final: 0.70

Carvalho (2008) evaluó la influencia del riego por goteo en las características productivas y de crecimiento del cultivo de café, en la Hacienda experimental de la Universidad Federal de Uberlandia, Uberlandia - Brasil. Para ello instaló 11 unidades experimentales de 8 plantas con 4 repeticiones, donde aplicó láminas de riego iguales al 40%, 80%, 120% y 200% de la evaporación del tanque Tipo A, para determinar mediante el Balance hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather el consumo de agua del cultivo. Los resultados indican que con una lámina de riego igual al 80% de la evaporación del tanque Tipo A se obtuvo el mayor rendimiento agrícola y la mayor índice de eficiencia de uso del agua.

Agüero, Agreche y Aguilar (2015) evaluaron el efecto de la fecha de siembra y el marco de plantación 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 m.s.n.m.). El experimento se realizó en un diseño anidado combinando 3 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.). Como resultado se tuvo que cuanto más tardío fue la fecha de plantación, disminuyeron la duración del ciclo vegetativo y los requerimientos de riego; así también, para ambos marcos de plantación disminuyó el rendimiento, la eficiencia de uso del agua, el número de panojas, la altura de la planta y el peso de la biomasa.

1.2.2 Antecedentes a 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 regímenes de riego y con una membrana de retención de humedad instalada debajo de la zona radicular. Los tratamientos fueron: T1: 100% dosis de riego y sin membrana de retención, T2: 100% dosis de riego y con membrana de retención, T3: 75% dosis de riego y sin membrana de retención, T4: 50% dosis de riego y sin membrana de retención. Los resultados indican que la disminución de los regímenes de riego ocasiona la reducción de la altura de la planta, diámetro del tallo, longitud de la panoja, días de

maduración y rendimiento del grano; al contrario de la eficiencia de uso del agua calculado en base al volumen aplicado, que aumenta.

Mori (2015) evaluó el efecto de cinco láminas de riego en el rendimiento agronómico y el comportamiento de algunos parámetros de la quinua variedad INIA – Salcedo, en el campo experimental del Instituto de Innovación Agraria - INIA (241 m.s.n.m.), La Molina - Lima. Las láminas de riego aplicadas fueron del 55%, 70%, 85%, 100% y 115% de la evapotranspiración máxima del cultivo. Los resultados indican que con el incremento de la lámina de riego se incrementan el rendimiento agrícola y los parámetros agronómicos evaluados.

Huertas (2016) evaluó el efecto del riego por gravedad y goteo en el rendimiento y eficiencia de uso de agua de la quinua variedad Real K'ella, cultivada en condiciones orgánicas en Huambo (3,308 m.s.n.m.), Caylloma - Arequipa. Los resultados indican que con riego por goteo se puede obtener un mayor rendimiento agrícola y una mayor eficiencia de uso del agua que con riego por gravedad.

1.2.3 Antecedentes a nivel regional.

Silva (1978) determinó la evapotranspiración de la quinua - variedad Sajama en lisímetros de drenaje y en condiciones de secano, en las instalaciones de la ex Universidad Nacional Técnica del Altiplano. El período en el cual se realizó el experimento, la precipitación total fue de 503 mm y la evapotranspiración total del cultivo fue de 303 mm. Así también, el rendimiento del cultivo fue de 1.8 ton ha⁻¹ y la eficiencia de uso de agua de 0.59 kg m⁻³ para una densidad de 20 plantas m⁻².

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

La quinua es un grano andino de gran versatilidad agronómica y con un alto contenido de macro nutrientes, aminoácidos y minerales beneficiosos para la salud (Fundación PROINPA, 2011), cuya producción según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2017) se ha incrementado significativamente en los últimos años, debido al crecimiento de la demanda interna y externa. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2015) señala que la quinua se produce en 19 de los 24 departamentos, donde Puno destaca con una superficie cultivada de 32,261 has para la campaña 2014 – 2015, con un rendimiento promedio de 0.83 a 1.21 Ton ha⁻¹ para el período 2001 – 2014; que de acuerdo, al Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR, 2006) y Mujica, Sánchez y Jacobsen (1999) está por debajo del rendimiento potencial para la zona.

El bajo rendimiento regional es porque el 85% de la producción de quinua se concentra en pequeños agricultores que realizan esta actividad con sistemas tradicionales de manejo agronómico y en secano (Canahua, Mujica, & Tapia, 2015; Mujica *et al.*, 1999); mientras que el resto de los productores, utilizan sistemas mejorados de manejo agronómico, pero en condiciones de secano; pues solo, 255 has. cuentan con algún tipo de riego (IICA, 2015). Sobre el bajo rendimiento agronómico de los cultivos, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2013) señala en el Informe final del IV Censo Nacional Agropecuario del 2012, que la falta de agua es una de las limitantes más importantes para el desarrollo de los cultivos.

Esta situación, que afecta la seguridad alimentaria y el nivel de ingresos de los productores, se puede revertir con el uso de variedades mejoradas, semillas de alta calidad

y uso de prácticas agronómicas adecuadas, tal como se ha demostrado en investigaciones experimentales realizados en campo por el Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos Andinos del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA (Mujica *et al.*, 1999). Para ello, es necesario impulsar medidas integrales que además incidir en la producción orgánica con variedades locales mejoradas o comerciales, se incluya al riego dentro de dichas prácticas agronómicas; pues la aplicación del riego complementario en momentos claves del ciclo vegetativo del cultivo unido a una fertilización básica, son suficientes para mejorar el rendimiento de la quinua en la zona altiplánica (Lanino, Riquelme, & Arenas, 2008)

Para la incorporación de la quinua a la actividad agrícola bajo riego, es indispensable conocer la cantidad de agua que consumen las distintas variedades y ecotipos de quinua, con el objeto de delimitar la superficie máxima irrigable de cada zona, establecer las láminas de riego adecuadas y dimensionar correctamente la infraestructura de riego; pues García, Vacher e Hidalgo (1992) han demostrado que existe una relación directa entre el consumo de agua y la producción agrícola de la quinua. En esa perspectiva y en atención a lo planteado por Canahua (1992), sobre el hecho de que muchas variedades locales tienen un mejor desempeño que las variedades incorporadas y además que el máximo desarrollo y rendimiento de los mismos se logrará conociendo las necesidades reales de agua de los cultivos, se realiza la presente investigación en la Comunidad de Ccaje durante la campaña agrícola 2015 – 2016, con el propósito de determinar el efecto de la dosis de riego en el consumo y eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua, en lisímetros de drenaje y con riego complementario; pues no existe trabajos de este tipo a nivel local, ni regional.

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Problema principal

¿Cuál es el 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 lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 - 2016?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de la aplicación de tres dosis de riego en el consumo de agua de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de

drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 - 2016?

- ¿Cuál es el efecto de la aplicación de tres dosis de riego en la eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 - 2016?
- ¿Cuál es el efecto de la aplicación de tres dosis de riego en los parámetros morfológicos básicos presentes al momento de la cosecha de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 - 2016?

2.3 Justificación

La presente investigación genera información básica para la determinación de las necesidades de riego del ecotipo local de quinua; así mismo, valida el coeficiente de cultivo K_c adaptado para el estudio, necesarios para la programación del riego y el dimensionamiento de sistemas de riego en áreas con potencial hídrico de la zona de estudio y áreas adyacentes.

Los resultados del estudio se pueden utilizarse referencialmente para la determinación de las necesidades de riego de variedades y ecotipos correspondientes a áreas de producción de la zona agroecológica circunlacustre, pues constituyen un mejor estimador de dichos parámetros que los que se infieren de cultivos afines o de estudios realizados en otras condiciones.

Los valores de eficiencia de uso del agua constituyen una información referencial inicial que debe complementarse con estudios posteriores en otras variedades y ecotipo, para planificar la estructura de producción agrícola local, en base a la eficiencia que tengan los cultivos de transformar el agua en biomasa, en un escenario de demandas poblacionales e industriales crecientes y de cambio climático.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general.

Determinar el efecto de la dosis de riego en el consumo de agua y la eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 – 2016

2.4.2 Objetivos específicos.

- Conocer el efecto de la aplicación de tres dosis de riego en el consumo de agua de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 – 2016
- Conocer el efecto de la aplicación de tres dosis de riego en la eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 – 2016
- Conocer el efecto de la aplicación de tres dosis de riego en los parámetros morfológicos básicos presentes al momento de la cosecha de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 – 2016

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general.

La dosis de riego tiene un efecto directo en el consumo de agua en la eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 – 2016.

2.5.2 Hipótesis específicas.

- La aplicación de tres dosis de riego tiene un efecto directo en el consumo de agua de un ecotipo local en quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 - 2016
- La aplicación de tres dosis de riego tiene un efecto inverso en la eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en

lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno,
Campaña 2015 - 2016

- La aplicación de tres dosis de riego tiene un efecto directo en los parámetros morfológicos básicos al momento de la cosecha de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje - Juli - Chucuito - Puno, Campaña 2015 - 2016



CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

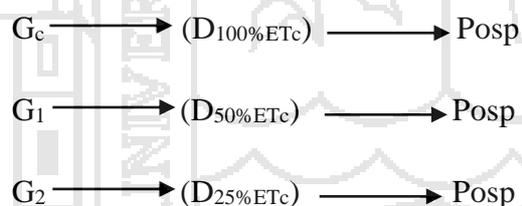
3.1 Tipo y diseño de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El estudio corresponde a una investigación experimental, porque se manipuló intencionalmente la variable independiente para analizar sus efectos en las variables de estudio (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). Por consiguiente, es de tipo analítico, explicativo, prospectivo y longitudinal.

3.1.2 Diseño de la investigación

El estudio es una investigación cuasi experimental con tres grupos estáticos no aleatorios con pos prueba y con algunas variables controladas (Charaja, 2011)



Donde:

G_c: Grupo de control

G₁: Grupo experimental 1

G₂: Grupo experimental 2

D_{100%ETc}: Dosis de riego igual al 100% de la evapotranspiración del cultivo

D_{50%ETc}: Dosis de riego igual al 50% de la evapotranspiración del cultivo

$D_{25\%ETc}$: Dosis de riego que igual al 25% de la evapotranspiración del cultivo

Posp: Mediciones pos prueba

Se consideraron tres tratamientos, correspondientes a la aplicación tres dosis de riego a las unidades experimentales (lisímetros). El tratamiento T-1 correspondió a la aplicación de una dosis de riego igual al 100% de la evapotranspiración del cultivo en condiciones normales; el tratamiento T-2, a una dosis igual al 50% de la evapotranspiración del cultivo en condiciones de lluvia controlada y; el tratamiento T-3, a una dosis igual al 25% de la evapotranspiración del cultivo en condiciones de lluvia controlada. El estudio se realizó bajo un sistema de bloques homogéneos con cuatro repeticiones por tratamiento.

Las pruebas consistieron en la medición diaria de la dosis de riego y precipitación en las unidades experimentales, con el fin de determinar el efecto de la dosis de riego en el consumo de agua y la eficiencia de uso del agua del Ecotipo local de quinua.

3.2 Ambito de estudio

3.2.1 Localización de la parcela experimental

El estudio se realizó en la Comunidad Ccaje del distrito de Juli, provincia de Chucuito del departamento de Puno. Geográficamente se encuentra en la latitud $16^{\circ}11'37.32''$ sur y longitud $69^{\circ}24'36.87''$ oeste, a una altitud de 3864 m.s.n.m. En la figura 2 se muestra la parcela donde se realizó el experimento.



Figura 2. Localización parcela experimental

Fuente: Google earth (2017)

3.2.2 Clima

La parcela experimental se encuentra dentro de la formación ecológica bosque húmedo montano subtropical y sub-tipo climático laderas, con una precipitación media anual de 880 mm año⁻¹; una temperatura media diaria de 8.2 °C con oscilaciones entre el día y la noche de hasta 19.8 °C en el mes de noviembre, y presencia de heladas entre junio y agosto; tal como se puede observar en el anexo 1.

3.2.3 Caracterización morfológica

La parcela experimental está ubicada en una unidad morfopedológica denominada colinas y lomas, que se caracteriza por ser abrigada y de fisiografía semi – accidentada, con pendientes que van del 15 al 40%, y donde se tiene intensa actividad agrícola en terrazas y andenes (PRONADRET, 1988).

3.2.4 Suelos

El análisis textural de suelos de la parcela experimental, se muestra en la tabla 3

Tabla 3
Perfil textural del suelo – parcela experimental

Estrato (m.)	Clase textural	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
0.00 - 0.20	Franco arenoso	64.9	15.2	19.9
0.20 - 0.40	Franco arenoso	62.6	20.1	17.3
0.40 - 0.60	Franco arcilloso arenoso	54.9	21.9	23.1
0.60 - 0.80	Franco arcilloso arenoso	55.5	21.6	22.9

Fuente: Laboratorio de Aguas y Suelos de FCA – UNA PUNO

Según la tabla 3, los primeros 40 cm. corresponden a un suelo moderadamente grueso y el estrato inferior a un suelo fino (Jaramillo, 2002).

En base a las características texturales del suelo, la tabla de propiedades físicas de Israelsen y Hansen (1985); las curvas de capacidad hídrica de los suelos de Puppo, Betancor, Morales y Hayashi (2015) y las tablas de velocidad de infiltración básica de Ferreyra y Sellés (1995) se ha elaborado la tabla 4 de características hídricas de los suelos de la parcela experimental.

Tabla 4

Características hídricas de los suelos de la parcela experimental

Estrato (m.)	Textura	Da	PMP %	CC %	NS %	Ib mm/hr	ADT m/m
0.00 - 0.40	Franco arenoso	1.50	3.23	11.29	14.42	10.00	0.1209
0.40 - 0.80	Franco arcilloso arenoso	1.35	14.51	34.84	36.77	7.00	0.2744

Nota: Da: Densidad aparente; PMP: Punto de Marchitez Permanente; CC: Capacidad de Campo; NS: Nivel de saturación de agua del suelo; Ib: Infiltración básica; ADT: Agua Disponible Total.

Fuente: Israelsen y Hansen (1985), Puppo *et al.* (2015), y Ferreyra y Sellés (1995)

En la tabla 5 se resume el resultado del análisis químico de suelos de la parcela experimental, correspondiente al estrato 0.00 - 0.60 m. realizado después de la cosecha del ecotipo local de quinua.

Tabla 5

Análisis químico de suelos – parcela experimental

ANÁLISIS	RESULTADOS	UNIDAD
Materia Orgánica	2.9	%
Carbonatos (co3)	0	%
Nitrógeno (N)	0.13	%
Fosforo (P)	4.7	Ppm
PH	5.2	Unidades
Conductividad Eléctrica	0.11	mmhos/cm
Conductividad Eléctrica (e)	0.55	mmhos/cm
Calcio (Ca)	7.38	meq/100g
Magnesio (Mg)	2.4	meq/100g
Potasio (K)	0.1	meq/100g
Potasio (K)	195	Ppm
Sodio (Na)	0.18	meq/100g
CIC	19.2	meq/100g
S.B.	52.39	%

Fuente: Laboratorio de Aguas y Suelos de Ciencias Agrarias – UNA PUNO

De acuerdo con la tabla 5 los suelos de la parcela experimental tienen un nivel normal de salinidad; pH fuertemente ácido; bajo nivel de materia orgánica, nitrógeno y fósforo; y un nivel medio de potasio.

3.2.5 Agua de riego

La principal fuente de agua de la zona es el manantial San Lucía, que abastece al sistema de agua potable de Ccaje y cuyas características físico-químicas se muestran en la tabla 6.

Tabla 6
Análisis físico - químico del agua de riego

Análisis	Resultados	Unidad
Aspecto	Límpido transparente	
Color	Incoloro	
Olor	Inodoro	
Sabor	Insípido	
PH	6.9	Unidades
Conductividad Eléctrica	0.27	ms/cm
Dureza Total (como CaCO ₃)	210.4	mg/l
Alcalinidad (como CaCO ₃)	79.12	mg/l
Cloruros (como Cl ⁻)	23.69	mg/l
Sulfatos (como SO ₃)	76	mg/l
Nitratos (como NO ₃)	0.01	mg/l
Calcio (como Ca)	48	mg/l
Magnesio (Mg)	19.26	mg/l
Sólidos totales	234.09	mg/l
Sodio (como Na)	12.5	mg/l
potasio (como K)	15.7	mg/l
SAR	1.51	
CLASE	C2S1	

Fuente: Laboratorio de Aguas y Suelos de la FCA – UNA PUNO.

De acuerdo a los resultados de la tabla 6, el agua utilizada en el riego es de buena calidad, por su bajo nivel de salinidad y bajo riesgo de sodificación de suelos.

3.3 Materiales

3.3.1 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, y con una orientación de la zanja de drenaje en el sentido de la máxima pendiente; tal como se muestra, en la figura 3.

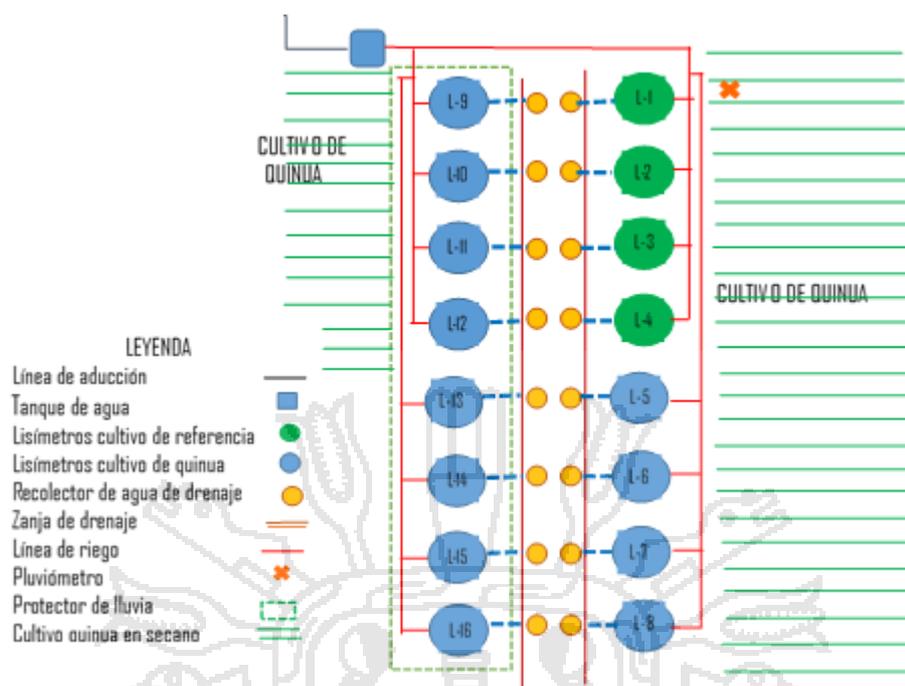


Figura 3. Esquema general de la parcela experimental

Los componentes principales de la parcela experimental son: el sistema de lisímetros, el sistema de riego, los equipos de medición de parámetros meteorológicos y el Protector de lluvia.

Sistema de lisímetros

El sistema de lisímetros está constituido por los lisímetros de drenaje, los tubos de drenaje, los recipientes recolectores de aguas de drenaje y la zanja de drenaje

Los lisímetros de drenaje son dispositivos circulares de 0.425 m. de diámetro y 0.80 m. de profundidad, confeccionados de plástico de doble espesor, que se acondicionaron en forma adyacente a la zanja de drenaje. Se instalaron a partir de un terraplén de 0.075 m. por encima del terreno natural y fueron rellenos con dos capas consecutivas de suelo. La capa superficial, que es de 0.60 m. de espesor y sirvió de sustrato para el desarrollo radicular del cultivo, está constituido por suelo agrícola de la zona acomodado de acuerdo a su estratigrafía natural; mientras que la inferior, es una capa de gravilla de 0.20 m. de espesor cuya función fue de recolectar las aguas de percolación profunda del riego y de la precipitación pluvial proveniente de la capa superficial.

En total se instalaron 16 lisímetros, numerados consecutivamente; tal como se detalla en la figura 5. Los lisímetros del L-1 al L-4 fueron destinados para medir la

evapotranspiración del cultivo de referencia), los del L-5 al L-8 para el tratamiento T-1; los del L-9 al L-12 para el tratamiento T-2; y los del L-13 al L-16 para el tratamiento T-3.

Los tubos de drenaje son tubos de PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 2" y de 1.5 m. de longitud, que conectan la capa de gravilla de los lisímetros con el recipiente recolector de aguas de drenaje. Su función fue evacuar por gravedad las aguas de percolación profunda de los lisímetros. Se instaló un tubo de drenaje para cada lisímetro.

Los recipientes recolectores de aguas de drenaje son botellas de gaseosa no retornable colocados en la zanja de drenaje y conectados a los tubos de drenaje. Su función fue recolectar las aguas de percolación de los lisímetros. Se instaló uno para cada lisímetro.

La zanja de drenaje es un canal de tierra de 1.0 m. de base, 1.6 m. de altura y 0.75 de talud, trazado entre las dos líneas de lisímetros, cuya función fue recolectar y evacuar las aguas pluviales de las partes altas y las aguas de filtración del área agrícola adyacente.

Sistema de riego

El sistema de riego es por goteo y se ha adecuado a la ubicación de la fuente de agua y a la distribución de los lisímetros. Su diseño se ha ajustado al cultivo de la quinua para condiciones de riego diario.

Los componentes del sistema de riego se muestran esquemáticamente en la figura 3 y son:

- 01 pileta de abastecimiento de agua conectado al sistema de agua potable de la comunidad.
- 01 línea de aducción de PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 21 mm y 12 m. de longitud, que conecta la pileta de abastecimiento con el tanque regulador de presión
- 01 tanque regulador de presión de 125 litros de capacidad, instalado a 6.00 m. sobre el nivel del terreno, que abastece a la tubería principal.

- 01 tubería principal de PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 21 mm y de 7 m de longitud que conecta el tanque regulador con las redes de abastecimiento a los lisímetros.
- 02 redes de abastecimiento a los lisímetros, uno para los lisímetros: L-1 al L-8 y otro para los lisímetros 2 (L-9 al L-16), que comprende:
 - 02 tuberías secundarias de PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 21 mm, uno de 25 m de longitud para los lisímetros del sector 1 y otro de 8 m. para los lisímetros del sector 2.
 - 02 tuberías terciarias de PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 21 mm, uno de 3 m. de longitud para los lisímetros L-1 al L-4 del sector 1 y otro para los lisímetros L-9 al L-12 del sector 2.
 - 02 tuberías terciarias de PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 21 mm y 6 m. de longitud para los lisímetros L-5 al L-8 del sector 1 y a los lisímetros L-13 al L-16 del sector 2.
 - 16 cintas de riego de PEBD de 16 mm de diámetro y clase 5 mil de 0.90 m. de longitud, con goteros incorporados de 1 LPH de 5.5 m.c.a de presión de operación nominal y espaciamiento entre emisores de 0.20 m. En cada lisímetro, las cintas de riego se acomodaron de manera concéntrica y a 10.5 cm. del borde exterior de los lisímetros, con el fin de tener cuatro goteros activos.
- 01 válvula bola instalado a la salida del tanque de regulación
- 02 válvulas bola para la regulación del ingreso de agua de la tubería principal a las tuberías secundarias (una para cada tubería secundaria)
- 04 válvulas bola para la regulación del ingreso de agua de las tuberías secundarias a las tuberías terciarias (02 para cada tubería terciaria)
- 04 tapones de purga en las tuberías terciarias (uno para cada tubería terciaria).

Equipos de medición de parámetros meteorológicos.

En la parcela experimental se instaló un pluviómetro Tipo Hellman y un tanque de evaporación Tipo A, fabricados según las normas de la Organización Meteorológica Mundial – OMM.

Protector de lluvia

También se instaló un protector de lluvias de madera con techo de agrofilm, colocado a 1.70 m. de suelo, para proteger de las lluvias a los lisímetros comprendidos entre el L-9 y el L-16.

3.3.2 Instalación y acondicionamiento de la parcela experimental

La instalación y acondicionamiento de la parcela experimental se realizó desde el 09 de noviembre al 04 de diciembre del 2015.

Las acciones previas se realizaron del 9 al 20 de noviembre, período en el cual se realizó la confección de los lisímetros y la construcción del pluviómetro y tanque de evaporación Tipo A.

La instalación de los diversos componentes se realizó del 23 de noviembre al 04 de diciembre del 2015. Incluyó la excavación de la zanja de drenaje y la instalación de los lisímetros de drenaje y accesorios, del sistema de riego, del protector de lluvias y de los equipos de medición de parámetros meteorológicos.

Las pruebas de funcionamiento del sistema de riego y de los lisímetros de drenaje se realizaron el 04 de diciembre del 2015.

3.3.3 Materiales utilizados

Los materiales utilizados para la ejecución del estudio fueron:

- Material genético

Semilla de un ecotipo local de quinua, con predominancia de la Blanca de Juli, de 180 días de ciclo vegetativo y proveniente de la campaña anterior.

- Materiales para la fabricación de los lisímetros

Plástico de doble espesor.

- Materiales para la medición y otros

- 01 probeta de 100 ml
- 01 regla graduada
- 01 balanza electrónica
- 01 wincha de 5 metros
- Envases para recolección de muestras de agua
- Bolsas para recolección muestras de suelo

3.4 Conducción del experimento

3.4.1 Antecedentes de producción en la parcela experimental

El área donde se instaló la parcela experimental estaba en descanso desde mayo del 2015, luego de que en la campaña anterior se había cultivado papa.

3.4.2 Labores agrícolas desarrolladas

Para el desarrollo del estudio, se estableció como condición necesaria una producción con tecnología intermedia, por lo que las actividades desarrolladas son las siguientes.

Preparación del terreno

Se realizó la primera semana de setiembre del 2015 en toda la unidad de producción, y consistió en la roturación del suelo con arado y nivelación del terreno con tablones. No se aplicó fertilizante alguno, porque se consideró que el suelo tenía suficiente nitrógeno proveniente de la campaña anterior.

Siembra

La siembra se realizó el 22 de diciembre del 2015 y consistió en la instalación manual de 7 golpes de dos semillas cada 10 cm, en una línea concéntrica ubicada a 10.5 cm. del perímetro exterior del lisímetro. Esto, de acuerdo a lo señalado por Gómez y Aguilar (2016), quienes recomiendan una densidad de 500,000 plantas ha⁻¹. Para ello, previamente se aplicó un riego pesado el 20 de diciembre.

Fertilización

Se utilizó al fórmula de abonamiento 80-40-00 de NPK en dos etapas, según lo recomendado por Calla (2012) para las condiciones del altiplano. La primera al momento de la siembra, donde se aplicó todo el fósforo y la segunda a los 50 días

después de la siembra y concordante con el deshierbo, donde se aplicó todo el nitrógeno. Los fertilizantes aplicados fueron la Urea y el Fosfato diamónico.

Riego

Las dosis de riego se aplicaron diariamente a las 6:00 horas, de acuerdo a lo establecido en el calendario de riegos para los tratamientos T-2 y T-3; pero además de eso, según las condiciones de pluviosidad local en el caso del tratamiento T-1.

Labores culturales

Las labores culturales se centraron en el deshierbo, desahije, y la fertilización complementaria. El primero se hizo a los 15 días después de la siembra, el deshije a los 30 días y finalmente el deshierbo y el abonamiento complementario a los 50 días. El desahije permitió tener 7 plantas por lisímetro, que para la superficie del lisímetro nos permite tener una densidad aproximada de 50 plantas por m².

En el desarrollo de los cultivos, no se tuvo presencia de plagas ni enfermedades, por lo que no se hizo de la aplicación de ningún plaguicida, ni fungicida.

3.5 Diseño del sistema de riego y programación del riego

3.5.1 Diseño del sistema de riego

Las necesidades totales de riego del tratamiento T-1 se utilizaron para el diseño hidráulico del sistema y sus resultados presentan en forma resumida en la tabla 7 y su planilla de cálculos en el anexo 3.

De acuerdo con la tabla 7, existe déficit hídrico en abril y mayo, por lo que el sistema debe garantizar la provisión de los 2.13 mm/día del mes de abril. En la tabla 8 se presentan los parámetros del diseño agronómico del sistema de riego propuesto.

Con la información de la tabla 8 se demuestra que con una cinta de riego de PEBD de 16 mm. con 4 goteros incorporados de 1 LPH de 5.5 m.c.a. de presión de operación nominal y espaciamiento entre emisores de 0.20 m., el sistema proporciona el porcentaje de superficie mojada adecuado, cumple con el traslape mínimo recomendado y además permite establecer diferentes estrategias de distribución de agua de riego. En vista de ello, el dimensionamiento de los diferentes componentes de la red de conducción, principal y distribución del sistema de riego, se adecuó a los diámetros mínimos comerciales de tuberías y accesorios disponibles en el mercado.

Tabla 7
Necesidades totales de riego – tratamiento T-1

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Eto	3.52	3.48	3.36	3.34	3.09	2.87	2.95	3.32	3.77	4.20	4.32	3.93
Kc	0.55	0.78	0.99	0.86	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
ETc	1.94	2.71	3.33	2.87	1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59
Pe	3.81	5.18	4.12	1.24	0.09	0.00	0.00	0.07	0.48	0.92	1.40	2.97
N. netas	0.00	0.00	0.00	1.63	1.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Efa (%)	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Cu (%)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
N. totales	0.00	0.00	0.00	2.13	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota: ETo: Evapotranspiración de referencia, ETc: Evapotranspiración del cultivo, N. netas: Necesidades netas, N. totales: Necesidades totales

Fuente: Elaboración propia según la metodología de Pizarro (1990)

Tabla 8
Diseño agronómico del sistema de riego

Parámetros de diseño	Dato	Unid.	Conformidad
1 Cultivo	quinua		
Espaciamiento de plantas	0.10	m.	
Profundidad máxima de raíces	0.40	m.	
2 Necesidades totales de riego	2.13	mm/día	
3 Cinta de goteo	16	mm	
Espaciamiento emisores (Se)	0.20	m	
Número de emisores (e)	5	Unid.	
Caudal	5	lt/h-m	
Radio bulbo humedecimiento	0.17	m.	
4 Porcentaje superficie mojada	129.5	%	Ok
Mínimo recomendado	50	%	
Area mojada por emisor	0.068	m ²	
Alcance del humedecimiento (SL)	0.21	m	
5 Traslape emisores	82	%	Ok
Mínimo recomendado	15	%	
Radio bulbo humedecimiento	0.17	m.	
6 Volumen de agua (Ve)	0.45	lt/m	
Intervalo de riego	1	día	
7 Tiempo de riego	0.09	hr	

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Programación del riego

La programación del riego se hizo a partir de los valores de evapotranspiración del cultivo, estimados con información climatológica del período 1964 – 2015 de la estación climatológica ordinaria de Juli (anexo 1), bajo los siguientes supuestos: el ciclo vegetativo del cultivo es de 150 días calendario, la duración del ciclo vegetativo

no se ve afectada por el nivel humedad del suelo, y que la tasa de desarrollo y profundidad radicular es igual para todos.

La estrategia adoptada, debido a que el sistema es por goteo, fue de que el agua se aplicara diariamente a las 6:00 horas y sea igual al volumen de agua evapotranspirada el día anterior más el incremento de humedad requerido por el crecimiento radicular, en los casos que corresponda.

Las condiciones planteadas para ello son los siguientes:

- Ciclo vegetativo del cultivo: Se asumió 150 días para todos los tratamientos, en base a lo considerado para la variedad Blanca de Juli por Apaza, et al. (2013)
- Fecha de siembra y cosecha para todos los tratamientos: 22.12.15 y 19.05.16
- Agua total disponible de la capa superficial (tabla 4)
- Evapotranspiración de referencia mensual del cultivo (tabla 7)
- Valores de K_c por etapa fenológica para todos los tratamientos (tabla 9)

Tabla 9
Coefficiente de cultivo K_c por etapa fenológica

Etapa fenológica	Días		Fecha	K_c
	Por etapa	Acumulado		
1 Siembra	0	0	22.12.15	0.52
2 Emergencia	5	5	26.12.15	0.52
3 Aparición cotiledones	5	10	31.12.15	0.52
4 2 hojas verdaderas	5	15	05.01.16	0.52
5 4 hojas verdaderas	16	31	21.01.16	0.52
6 6 hojas verdaderas	11	42	01.02.16	0.64
7 Ramificación e inicio panojamiento	11	53	12.02.16	0.79
8 Inicio de floración	9	62	21.02.16	0.93
9 Floración	7	69	28.02.16	1.00
10 Grano lechoso	39	108	07.04.16	0.98
11 Grano pastoso	25	133	02.05.16	0.80
12 Madurez fisiológica	10	143	12.05.16	0.70
13 Madurez cosecha	7	150	19.05.16	0.70

Fuente: Lanino *et al.* (2008)

- Precipitación: No considerado en ningún caso porque es un fenómeno aleatorio.

- Profundidad radicular:
 - Mínima: 0.10 (toda la germinación)
 - Máxima: 0.40 (inicio de ramificación y panojamiento)
- Nivel de humedad inicial: Capacidad de campo en todos los casos.

El calendario de riego diario, según etapa fenológica para los tres tratamientos, se muestra en el anexo 4.

3.6 Análisis del efecto de la dosis de riego en la evapotranspiración real

3.6.1 Estudio de las condiciones de clima

El análisis de las condiciones de precipitación y de la presencia de bajas temperaturas es determinante para la producción de quinua. La precipitación, porque incide en el nivel de humedad del suelo y por lo tanto en la dosis de riego complementario a aplicar. Las bajas temperaturas, porque en la fase de germinación la planta es sensible a temperaturas comprendidas entre -1 y 2°C , en la etapa de floración puede resistir hasta 1°C y en la etapa de ramificación porque es sensible hasta los -4°C (Agrobanco, 2012; Rea, Tapia, & Mujica, 1979).

Por ello, diariamente se recolectaron datos de precipitación pluvial en el área experimental; mientras que los de temperatura máxima y mínima, además de los otros parámetros meteorológicos en la Estación climatológica ordinaria de Juli.

3.6.2 Ajuste de las etapas fenológicas y del coeficiente de cultivo K_c

El ciclo vegetativo del cultivo, asumido en 150 días calendario, debió reajustarse en función a lo observado en campo; así también los valores del coeficiente de cultivo K_c , en función a los trabajos realizados por García *et al.* (2003).

3.6.3 Ajuste de la evapotranspiración del cultivo de referencia

La evapotranspiración de referencia calculada inicialmente con datos promedio mensuales de clima del período 1964 – 2015 de la Estación climatológica ordinaria de Juli, se reajustó con datos de clima diarios correspondiente a la fecha de ejecución del estudio.

Para ello, con los registros diarios de clima del período 22.12.15 – 09.05.16, que se consignan en el anexo 5, se determinó la evapotranspiración de referencia diaria con el software ETo calculator de la FAO. Los resultados se muestran en el Anexo 6.

3.6.4 Lámina de riego aplicada

Las láminas de riego diarias aplicadas con el tratamiento T-1 se determinaron previa compatibilización de la precipitación pluvial antecedente con el calendario de riegos establecido, según las siguientes consideraciones:

- Si la lluvia antecedente fue nula, se aplicó la lámina de riego programada en el calendario de riego.
- Si la lluvia antecedente fue menor a la lámina de riego programada, se aplicó la lámina faltante.
- Si lluvia antecedente fue igual o superior a la lámina de riego programada, pero no mayor a 10 mm., no se aplicó riego alguno; pero si este fue superior a 10 mm., no se aplicó riego alguno incluso durante los dos días subsiguientes a dicho evento.

Las láminas de riego diario aplicadas, fueron concordantes con el calendario establecido para los tratamientos T-2 y T-3 respectivamente.

3.6.5 Estimación del consumo de agua

El consumo de agua de cada tratamiento del ecotipo local, se determinó aplicando el método del balance hídrico del cultivo a los 28 intervalos de 5 días establecidos para la determinación de la evapotranspiración real. Esto es porque el método se puede aplicar con diferentes escalas de tiempo: diario, cinco días, semanal, 10 días, 15 días o mensual Pereira *et al.* (2007).

Conocido el agua disponible total y el nivel de humedad inicial del suelo, se realizó en forma secuencial y para cada intervalo de 5 días, un balance hídrico en la zona radicular, en base la lámina de riego aplicada más precipitación, si corresponde, y la evapotranspiración máxima del cultivo. Como resultado se obtuvo el consumo real del cultivo, la humedad final del suelo y los excedentes hídricos. El proceso de cálculo secuencial aplicable a cada período de análisis se muestra en la tabla 10.

Tabla 10
Secuencia del Balance hídrico según condición hídrica del suelo

Secuencia	Sin déficit hídrico		Con déficit hídrico	
	cálculo	Condición/fórmula	cálculo	Condición/fórmula
Paso 1	$P-ET_c$	>0	$P-ET_c$	<0
Paso 2	ARMf	ARM_i+P-ET_c	NAc	$\sum(P-ET_c)$
Paso 3	NAc	$CAD*LnARM_f/CAD$	ARMf	$CAD*e^{(NAc/CAD)}$
Paso 4	ALT	ARM_f-ARM_i	ALT	ARM_f-ARM_i
Paso 5	ETr	ET_c	ETr	$P+ ALT $
Paso 6	DEF	ET_c-ET_r	DEF	ET_c-ET_r
Paso 7	EXC	$(P-ET_c)-ALT$	EXC	0

Nota: P: Precipitación; ET_c : Evapotranspiración máxima del cultivo; CAD: Agua total disponible; ARM_i : Almacenamiento inicial de agua en el suelo; ARM_f : 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

Fuente: Pereira *et al.* (2007).

Según la tabla 10, se pueden presentar dos situaciones en cada intervalo de tiempo analizado. La primera, en que el agua total aplicado es superior a la evapotranspiración máxima del cultivo (sin déficit hídrico) y la segunda, en que el agua aplicado sea menor que la evapotranspiración máxima (con déficit hídrico). Por lo que, para el cálculo de la evapotranspiración real de cada intervalo de tiempo, se tomó en cuenta dicha situación, además de las siguientes consideraciones complementarias.

- El agua total disponible se ha determinado para la profundidad media del estrato correspondiente a cada intervalo de tiempo.
- En los tratamientos T – 2 y T – 3 las plantas agotan el nivel de humedad del suelo solo hasta un nivel máximo agotamiento del 70% del agua total disponible, nivel a partir del cual la variación de humedad del suelo sería nula y las salidas de agua afectarían fundamentalmente la evapotranspiración.

3.7 Análisis de la dosis de riego y la eficiencia de uso del agua

3.7.1 Rendimientos del cultivo

La determinación de los rendimientos se realizó de acuerdo al procedimiento convencional de la zona; por separado para las plantas de cada lisímetro y para cada

tratamiento, con el propósito de determinar el rendimiento por planta y el rendimiento por unidad de superficie

En primer lugar, se procedió a la siega las plantas cuando estos alcanzaron la madurez de cosecha; luego se realizó el emparvado durante 15 días; posteriormente se procedió a la trilla manual; en seguida se hizo el venteado y limpieza de granos con un ventilador casero; después se procedió al secado a la intemperie; y finalmente se determinó el rendimiento de cada planta, mediante una balanza electrónica.

Con los rendimientos de cada planta se estimó el rendimiento promedio por planta de cada lisímetro; el mismo que nos permitió determinar el rendimiento por unidad de superficie de cada lisímetro, con la siguiente expresión:

$$R_T = \frac{\bar{R}_{PL} N_{PT} * 10}{AL} \quad (6)$$

Donde:

R_T : Rendimiento del cultivo por unidad de superficie de cada lisímetro (kg ha^{-1})

\bar{R}_{PL} : Rendimiento promedio por planta de cada lisímetro (gr planta^{-1})

N_{PL} : Número de plantas por lisímetro (7 en todos los casos)

AL : Area de lisímetro (0.1418628 m^2)

Finalmente, con los rendimientos por unidad de superficie de cada lisímetro, se determinó el rendimiento del cultivo por unidad de superficie para cada tratamiento.

Adicionalmente y con fines comparativos, también se segaron 7 plantas del ecotipo local de quinua del campo de cultivo adyacente a la parcela experimental, con el objeto de determinar los rendimientos por planta y por unidad de superficie correspondientes.

3.7.2 Eficiencia de uso del agua

Con los datos de rendimiento por unidad de superficie de cada lisímetro y los de evapotranspiración real total de cada tratamiento, se determinó la eficiencia de uso de agua del ecotipo para cada lisímetro, con la siguiente expresión:

$$EUA = \frac{REND}{EVP REAL} \quad (7)$$

Donde:

REND: Rendimiento por unidad de superficie de cada lisímetro (Kg ha^{-1})

EVP REAL: Evapotranspiración real total del tratamiento ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)

Eficiencia de uso del agua - EUA: Kg m^{-3} .

Con la eficiencia de uso de agua de cada lisímetro, se determinó la eficiencia de uso de agua de cada tratamiento, como un promedio de las eficiencias de uso de agua de los lisímetros con dicho tratamiento,

3.8 Análisis del efecto de la dosis de riego en los parámetros agronómicos

En forma complementaria se evaluó el efecto de la dosis de riego en los parámetros agronómicos observables al momento de la cosecha; como son la altura de la planta desde la superficie del suelo, la longitud de la panoja, el diámetro del tallo y el peso de biomasa.

3.9 Análisis estadístico

Los datos de evapotranspiración real, eficiencia de uso del agua y de los parámetros agronómicos fueron sometidos al análisis de varianza, utilizando el test F. Las medias fueron comparadas con el test de Tukey, con un nivel significancia del 5%.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis del efecto de la dosis de riego en la evapotranspiración real

4.1.1 Condiciones de clima en la zona de estudio

Las condiciones del clima durante la fase de campo del estudio (22.12.15 – 09.05.16) se consolidan en el anexo 5.

Las precipitaciones se presentaron en 64 de los 140 días que duró el estudio, concentrándose básicamente en 7 eventos lluviosos de diferente de duración; donde destaca la precipitación de 44 mm. ocurrido el 10 de febrero, con lo que se tiene una precipitación total de 478.9 mm. durante el período de ejecución del estudio.

La temperatura máxima fluctuó entre 11.4 y 17.6°C y la mínima entre 0 y 9°C. La temperatura más baja se dio el 26.04.16, durante los días de mayor friaje de la zona (25 al 27 de abril), que coincide con la etapa de grano lechoso. Por lo tanto, el cultivo no ha sufrido estragos por efecto de las bajas temperaturas durante la fase de germinación, floración y grano acuoso, que son las etapas más sensibles de la quinua a las heladas. (Agrobanco, 2012; Rea *et al.*, 1979).

4.1.2 Ajuste de la curva de coeficiente de cultivo Kc

El ciclo vegetativo real del cultivo fue de 140 días calendario; por lo que, la duración de las diferentes fases fenológicas del ecotipo se han adecuados a lo observado en campo y a lo planteado por García *et al.* (2003).

La duración de las diferentes etapas fenológicas se muestra en la tabla 11, para lo cual se ha considerado que la etapa inicial dura 28 días, la fase media que empieza con la floración 28 días, y la madurez para la cosecha 7 días; datos con los cuales se

ha construido la curva del coeficiente del cultivo Kc para el ecotipo local, que se muestra en la figura 4.

Tabla 11
Etapas fenológicas del Ecotipo Local – 140 días de ciclo vegetativo

Etapa fenológica	Días		Fecha	Kc
	Por etapa	Acumul		
1 Siembra	0	0	22.12.15	0.52
2 Emergencia	5	5	26.12.15	0.52
3 Aparición cotiledones	5	10	31.12.15	0.52
4 2 hojas verdaderas	5	15	05.01.16	0.52
5 4 hojas verdaderas	16	31	21.01.16	0.52
6 6 hojas verdaderas	11	42	01.02.16	0.64
7 Ramificación e inicio panojamiento	11	53	12.02.16	0.79
8 Inicio de floración	10	63	21.02.16	0.93
9 Floración	7	70	28.02.16	1.00
10 Grano lechoso	34	104	07.04.16	0.98
11 Grano pastoso	21	125	02.05.16	0.84
12 Madurez fisiológica	10	135	12.05.16	0.74
13 Madurez cosecha	5	140	19.05.16	0.70

Fuente: Lanino *et al.* (2008)

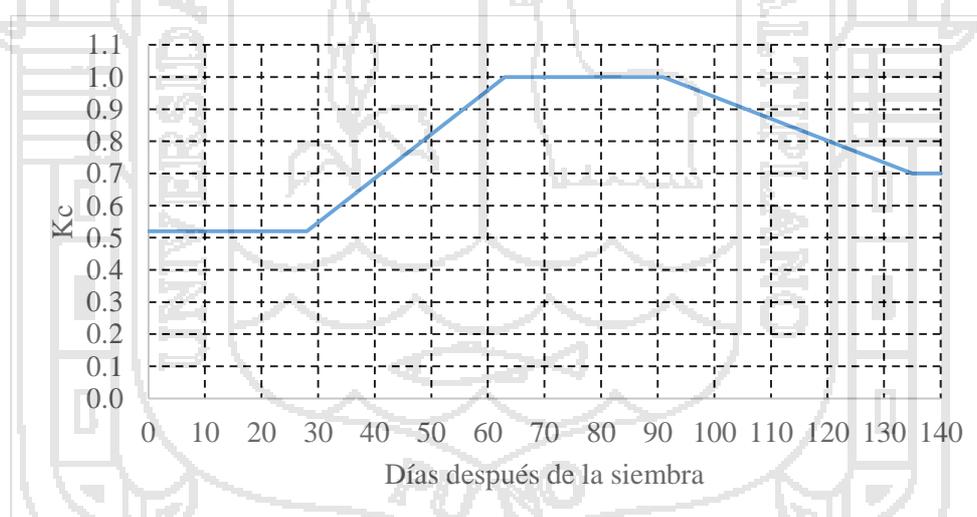


Figura 4. Esquema general de la parcela experimental

Fuente: Lanino *et al.* (2008)

4.1.3 Ajuste de la evapotranspiración del cultivo de referencia

La evapotranspiración del cultivo de referencia, ajustada mediante el Software ETo Calculator, con datos de clima diarios de la Estación climatológica ordinaria de Juli del período 22.12.15 – 09.05.16, se presentan en el anexo 6.

La evapotranspiración diaria del cultivo de referencia, varía entre 2.2 y 5.6 mm día⁻¹ y tiene una mayor dispersión que los estimados con los promedios mensualizados, precisamente por la variación diaria de los datos climáticos.

4.1.4 Láminas de riego aplicada

Las láminas de riego aplicadas a cada tratamiento se presentan de manera detallada en el anexo 7 y de manera resumida en la tabla 12.

Tabla 12

Lámina de riego aplicada –tratamientos T-1, T-2 y T-3

Tratamiento	Precipitación total mm	Lámina de riego total mm
T -1: 100% ETc	479	343
T -2: 50% ETc	0	293
T -3: 25% ETc	0	170

Según la tabla 12 y anexo 7, dadas las condiciones de pluviosidad de la zona, solo se aplicó una lámina total de riego de 343, 293 y 170 mm. para el tratamiento T – 1, T – 2 y T – 3 respectivamente.

4.1.5 Estimación del consumo de agua o evapotranspiración real

Estimación de la evapotranspiración real

La evapotranspiración real calculada con el método del balance hídrico del cultivo, se presentan en forma detallada en el anexo 8 para el tratamiento T-1 y en el 9 para los tratamientos T-2 y T-3, y de manera resumida en la tabla 13 y figura 5.

Tabla 13

Evapotranspiración real total Ecotipo–Tratamientos T-1, T-2 y T-3

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

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 y los anexos 8 y 9, se observa que la evapotranspiración máxima para el período y zona de estudio fue 446 mm., así también que la evapotranspiración real para el tratamiento T -1 fue igual a la evapotranspiración máxima; lo cual se debe, a que el suelo se mantuvo permanentemente en capacidad de campo; En los

tratamientos T-2 y T-3, la evapotranspiración real fue 290 y 166 mm. respectivamente.

Por otro lado, se observa que en condiciones de capacidad de campo existe una gran diferencia entre la evapotranspiración y la dosis de riego aplicada, al contrario de lo que sucede en los otros casos, en que la evapotranspiración es igual a la dosis de riego más el volumen de agua almacenado en el suelo, para mantener el nivel humedad del suelo dentro del rango de humedad aprovechable.

Por último, en base a los anexos 8 y 9 se puede decir que el agua total aplicada es igual al agua evapotranspirada más la suma del excedente de riego y el agua retenida en el suelo (variación de la humedad del suelo).

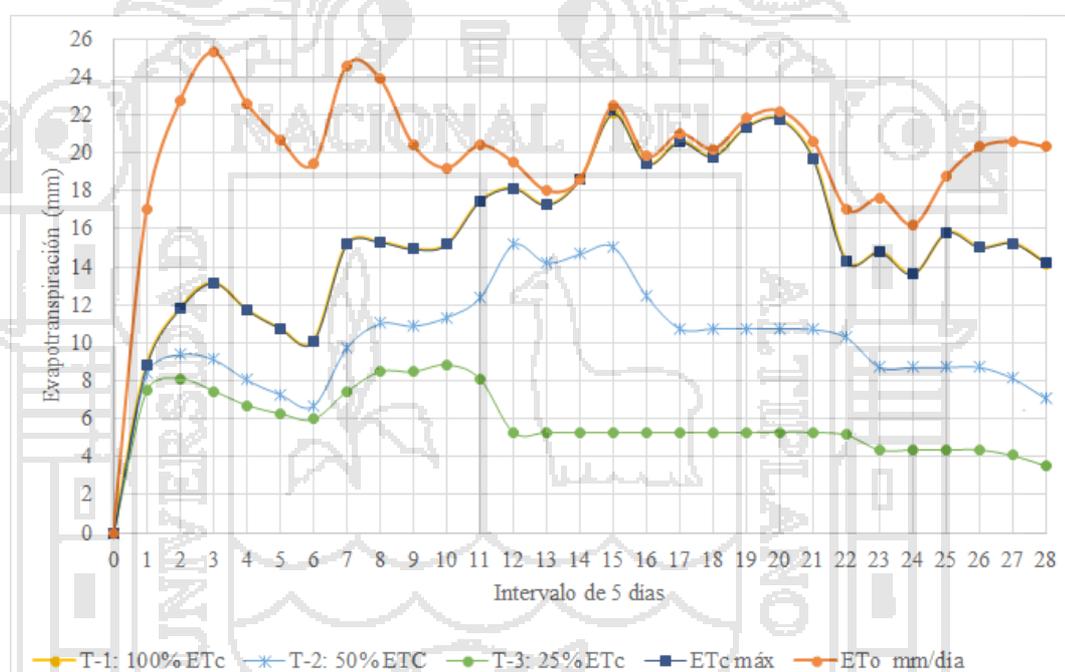


Figura 5. Evapotranspiración real – tratamientos T-1, T-2 y T-3

En la figura 5, la curva de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) tiene un comportamiento irregular por efecto de la variabilidad climática y corresponde a la demanda de evapotranspiración de la atmósfera (Allen et al., 2006). La curva de evapotranspiración real del tratamiento T-1 coincide con la curva de la evapotranspiración máxima de cultivo, lo cual se debe a que el cultivo se desarrolla en condiciones óptimas de humedad del suelo (Allen et al., 2006; Pariani, 2005). La curva de evapotranspiración real del tratamiento T-2, tiene un comportamiento irregular desde el intervalo 1 al 18 y regular desde 18 al final; esto probablemente

sea por efecto de las variaciones climáticas, el nivel del déficit hídrico y al tamaño de las raíces, que son distintos en ambos períodos. Entre tanto, la curva de evapotranspiración real del tratamiento T-3 tiene un comportamiento más uniforme que las anteriores.

Los resultados del presente estudio son compatibles con lo obtenido por Choquecallenidata *et al.* (1992) y García *et al.* (1992) en la estación Patacamaya, Bolivia, quienes obtuvieron una evapotranspiración máxima de 488 mm. para la variedad Sajama Amarantiforme en condiciones de riego diario; y de 323.7 y 175.5 mm. para la variedad Real en condiciones de riego parcial y seco respectivamente. Pero, superiores a lo 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.

Estimación del coeficiente de cultivo K_c

En el anexo 8 se incluye el cálculo del coeficiente de cultivo K_c para los distintos intervalos de 5 días, con los cuales se ha construido la curva real y también la curva teórica del coeficiente de cultivo K_c ; las mismas que se muestran en la figura 6.

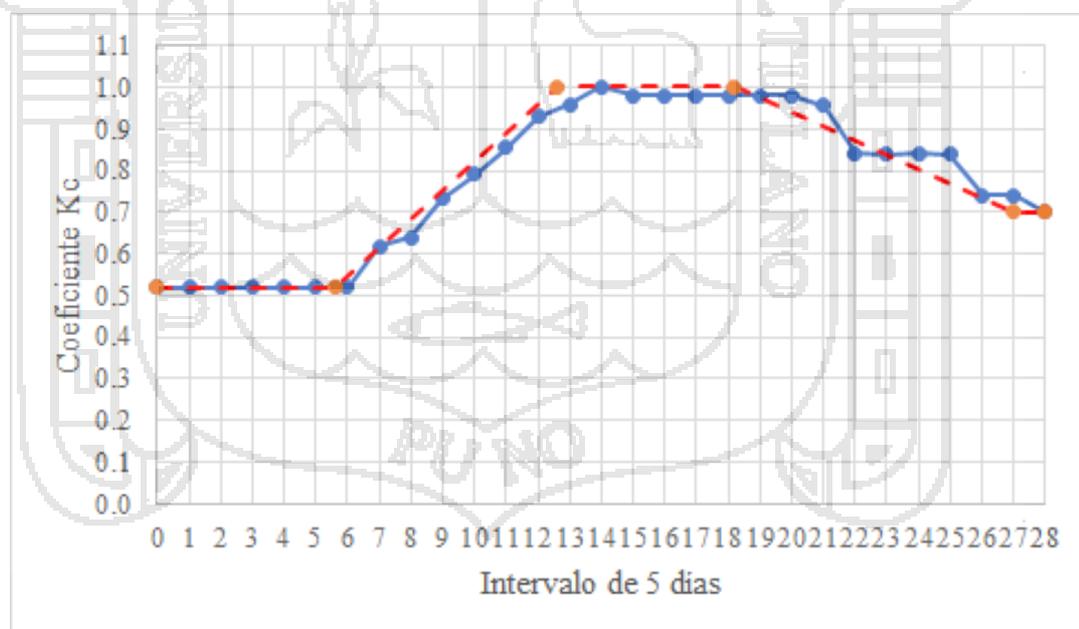


Figura 6. Curva real y teórica - coeficiente de cultivo K_c del ecotipo local

Nota: Curva real (línea continua) y curva teórica (línea discontinua)

Fuente: Lanino *et al.* (2008)

De la curva teórica del coeficiente de cultivo Kc de la figura 6 se tiene: Kc inicial: 0.52, Kc media: 1, Kc final: 0.7.

Efecto de la dosis de riego en la evapotranspiración

Mediante una prueba de ANOVA de un factor, encontramos que estadísticamente existen diferencias entre las medias de la evapotranspiración real de los diferentes intervalos de 5 días de cada tratamiento, tal como se deduce de la tabla 14 en que la significancia asintótica es menor que el nivel de significancia adoptado ($\alpha=0.05$).

Tabla 14
ANOVA de la evapotranspiración real para los tratamientos T-1, T-2 y T-3

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1401	2	701	101	0.000
Dentro de grupos	562	81	6.9		
Total	1964	83			

Fuente: Elaboración propia

Así también, mediante una prueba post hoc de Tukey se tiene que efectivamente existen diferencias significativas entre las medias de la evapotranspiración real de los tres tratamientos, y de que la media del tratamiento T-1 es mayor que la del tratamiento T-2 y este del tratamiento T-3, tal como se observa en la tabla 15.

Tabla 15
HSD Tukey de la evapotranspiración real por efecto de los tratamientos

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T-3: 25% ETc	28	5.94		
T-2: 50% ETc	28		10.36	
T-1: 100% ETc	28			15.93
Sig.		1.00	1.00	1.00

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
Fuente: SPSS 22 (2017)

Por lo tanto, se evidencia que la dosis de riego tiene un efecto positivo en la evapotranspiración del ecotipo de estudio.

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

4.2.1 Rendimiento del cultivo

Rendimiento por planta

El rendimiento de cada planta, según lisímetro y tratamiento, se muestra en el anexo 10 y se presenta de manera resumida en la tabla 16.

Tabla 16

Rendimiento por planta según lisímetro y tratamiento

Planta	Tratamiento T - 1 gr planta ⁻¹				Tratamiento T - 2 gr planta-1				Tratamiento T - 3 gr planta-1			
	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
Media	11.1				5.9				3.1			
DS	1.48				1.05				0.38			
CV	13.3%				17.8%				12.5%			

El rendimiento promedio por planta del tratamiento T-1 , es superior a los 9.3 gr planta⁻¹ 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 planta⁻¹ 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 planta⁻¹ que obtuvieron con el mismo cultivo y en las mismas condiciones de manejo, pero sembradas el 01 de octubre.

En lo referente al rendimiento por planta del tratamiento T – 2, este es significativamente inferior a lo obtenido con riego parcial por García *et al.* (1992) en Patacamaya, Bolivia con la variedad Chupakapa.

En cuanto al rendimiento por planta del tratamiento T – 3, este es casi similar a los obtenidos por García *et al.* (1992) en Patacamaya, Bolivia con las variedad Chupakapa y Real cultivados en condiciones secano, que llegaron a 3 y 2.65 gr planta⁻¹ respectivamente.

Rendimiento por unidad de superficie

El rendimiento por unidad de superficie se muestra en el anexo 11 y se presenta de manera resumida en la tabla 17.

Tabla 17

Rendimiento por unidad de superficie por lisímetro y tratamiento

Tratamiento	Rendimiento/Lisímetro (kg/ha)				Promedio kg/ha	DS	CV
	L-5	L-6	L-7	L-8			
T - 1	5316	5408	5851	5301	5469	224.3	4.1%
T - 2	2848	2911	2925	2918	2901	30.7	1.1%
T - 3	1516	1501	1508	1501	1507	6.2	0.4%

Los rendimientos por unidad de superficie de la tabla 17, son superiores a los que puede obtenerse con la variedad comercial Blanca de Juli en condiciones normales de producción (Apaza *et al.*, 2013). Esto se debe a que la densidad de plantas del presente estudio es de 50 plantas m⁻², superior a los 20 o 35 plantas m⁻² que habitualmente se utilizan; tal lo evidencian Agüero *et al.* (2015), quienes obtuvieron rendimientos de 4.0 y 2.9 Ton ha⁻¹ para la quinua variedad Amarilla de Maranganí en Hornillos, JuJuy – Argentina, sembradas en la misma fecha, con el mismo material genético y bajo las mismas condiciones de manejo, pero con espaciamiento de surcos de 0.35 y 0.70 m. respectivamente.

Rendimientos del campo de cultivo de quinua adyacente

Los rendimientos por planta, del campo de cultivo de quinua circundante a la parcela experimental, se presenta en el anexo 12. En dicho anexo se observa, que el rendimiento promedio es de 11.39 gr planta⁻¹.

Este resultado, que es prácticamente igual al del tratamiento T – 1 pero con una mayor dispersión de datos; se explica por el nivel pluviosidad del período, las condiciones favorables para el drenaje superficial y subsuperficial, y por la posición favorable del nivel freático para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, este rendimiento no es sostenible en el tiempo, pues en casos de sequías extremas o de irregular distribución de la precipitación a lo largo del ciclo vegetativo, este se puede variar significativamente.

Con los datos de rendimiento por planta probable y la densidad del cultivo observada (espaciamiento de surcos: 0.60 m. y espaciamiento de plantas: 0.12 m.) se estima un rendimiento por unidad de superficie de 1580 Kg ha⁻¹, que se considera bastante bueno para el ecotipo.

4.2.2 Eficiencia de uso de agua

Eficiencia de uso del agua del ecotipo

Los resultados de la eficiencia de uso de agua del ecotipo para cada uno lisímetro de los diferentes tratamientos se presenta en la tabla 17.

Tabla 18
Eficiencia de uso del agua según lisímetro

Tratamiento	Lisímetro	Rendimiento kg/ha	Evapot real (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)

En la tabla 18 se observa que la planta es más eficiente en el uso del agua en condiciones de capacidad de campo y de déficit hídrico. Este comportamiento es totalmente diferente a lo obtenido 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 a lo largo de su ciclo productivo; así también es diferente a lo obtenido por Choquecallata *et al.* (1992) y García *et al.* (1992) con la variedad Chukapaka, quienes encontraron 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 dosis de riego en la eficiencia de uso del agua

Mediante una prueba de ANOVA de un factor se tiene que estadísticamente existen diferencias entre las medias de la eficiencia de uso del agua correspondiente a los tratamientos T-1, T-2 y T-3, tal como se puede deducir de la tabla 19 donde se observa que el p-valor es menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha=0.05$).

Tabla 19
ANOVA de la eficiencia de uso del agua - tratamientos T-1, T-2 y T-3

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.119	2	0.060	48.825	0.000
Dentro de grupos	0.011	9	0.001		
Total	0.130	11			

Fuente: SPSS 22 (2017)

En forma complementaria y mediante una prueba post hoc de Tukey encontramos que estadísticamente las medias de eficiencia de uso del agua de los tratamientos T-3 y T-1 son iguales entre sí, así también, que las medias de los T-3 y T-1 son diferentes al tratamiento T-2, tal como se detalla en la tabla 20.

Tabla 20
HSD Tukey de la eficiencia de uso del agua - tratamientos T-1, T-2 y T-3

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T-2: 50% ETc	4	1.00	
T-3: 25% ETc	4		1.195
T-1: 100% ETc	4		1.225
Sig.		1.000	0.475

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
Fuente: SPSS 22 (2017)

En base a los resultados se tiene que dosis de riego menores al 50% de la ETc tienen un efecto inverso en la eficiencia de uso del agua del cultivo y dosis de riego mayores al 50% de la ETc tienen un efecto directo en la eficiencia de uso del agua.

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

El ciclo vegetativo del ecotipo local de quinua, con siembra a fines de setiembre e inicios de octubre y cosecha a 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 Aguero *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. Pero con la salvedad, de que cuanto más tardía fue la siembra, menor fue el volumen de agua aplicado y menor el rendimiento.

4.4 Efecto de la dosis de riego en los parámetros agronómicos básicos

En el momento de la cosecha, además del peso del grano, se midió la altura, el diámetro del tallo, la longitud de la panoja y el peso de la biomasa de cada planta, los mismos que se consignan en el anexo 10.

Mediante una prueba de ANOVA de un factor, se encontró que existen diferencias entre las medias de dichos parámetros para los diferentes tratamientos, tal como se infiere de la tabla 21 en que el que el p-valor es menor que el nivel de significancia asumida ($\alpha=0.05$).

Tabla 21
ANOVA de los parámetros agronómicos - tratamientos T-1, T-2 y T-3

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.240	2	0.120	105	0.000
Dentro de grupos	0.010	9	0.001		
Total	0.250	11			

Fuente: SPSS 22 (2017)

Para cuantificar las diferencias, mediante una prueba de post hoc de Tukey se observa que efectivamente existen diferencias significativas entre las medias de dichos parámetros de los diferentes tratamientos, tal como se detalla en la tabla 22, salvo el caso de la longitud de panoja, en que la media del tratamiento T-2 y la media del tratamiento T-3 son estadísticamente iguales.

Tabla 22
HSD Tukey de los parámetros básico respecto a los tratamientos

Parámetro	N	Sig. Anova	Subconjuntos		
			1	2	3
Altura de la planta	84	4.17E-58	T - 3	T - 2	T - 1
Diámetro de tallo	84	3.78E-19	T - 3	T - 2	T - 1
Longitud de panoja	84	6.55E-27	T - 3 y T - 2	T - 1	
Peso de biomasa	84	7.40E-13	T - 3	T - 2	T - 1

Nota: N: Número de registros de la matriz de datos, Sig ANOVA: significancia asintótica

Fuente: SPSS 22 (2017)

Estos resultados son compatibles con los antecedentes; es decir, a mayor dosis de riego hay una respuesta positiva de los diferentes parámetros estudiados.



CONCLUSIONES

- La aplicación de dosis de riego iguales al 25%, 50% y 100% de la evapotranspiración del cultivo tiene un efecto directo en el consumo de agua del ecotipo local de quinua, porque ha generado incrementos decrecientes en el consumo de agua iguales al 84% y 60% respectivamente, y en los rendimientos del cultivo en un 46% y 89% respectivamente.
- La aplicación de dosis de riego mayores al 50% de la evapotranspiración del cultivo tiene un efecto directo en la eficiencia de uso del agua del ecotipo local y las dosis de riego menores un efecto inverso.
- Las diferentes dosis de riego tienen un efecto directo, pero en distinta proporción, en el rendimiento, altura de planta, diámetro del tallo, peso de la biomasa y longitud de la panoja; lo cual básicamente se debe a que la mayor evapotranspiración de la planta produce más biomasa, que se traduce en mayor producto y mayor desarrollo de dichos parámetros.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con el trabajo realizado con un mayor número de dosis de riego, con diferentes fechas de siembra, con una densidad acorde a las condiciones locales, con un mayor control de las variables hídricas y con la incorporación de la variable rentabilidad, con el fin de tener más elementos para el establecimiento de estrategias de producción en condiciones de riego óptimas en el uso del agua y rentables.
- El estudio de la eficiencia de uso del agua se podría reajustar, en concordancia con lo señalado en el párrafo anterior, en función de la humedad del suelo, de tal manera que se pueda determinar dicho parámetro en condiciones de capacidad de campo, 80%, 60%, 40% y 20% del agua total disponible de suelo; lo cual, incluso permitiría estimar el nivel de agotamiento máximo permisible del cultivo.
- En forma complementaria se podría evaluar el efecto del riego deficitario en los ecotipos locales de quinua, de tal manera que se tengan más elementos para potenciar la producción de quinua con bajo consumo de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrobanco. (2012). Requerimientos agroclimáticos de la quinua. *Revista Técnica Agropecuaria*, 1, 6-7. Recuperado a partir de <http://dev.picolestudio.pe/agrobanco-uat/wp-content/uploads/2017/07/REVISTA-AGROPECUARIA-07.pdf>
- Aguero, J., Acreche, M., & 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.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_manejo_del_cultivo_de_la_quinoa_en_la_quebrada.pdf
- Alba, W. J. (1995). *Efecto de métodos y umbrales de riego en el desarrollo de la quinua (Chenopodium) en el Altiplano Central* (Tesis de Pre Grado). Universidad Mayor de San Simón - UMSS, Facultad de Agronomía. Recuperado a partir de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGRISUM.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf=000336>
- Alcobendas, P., & Moreno, M. (2014). Necesidades de agua de los cultivo. Castilla, España: Universidad Castilla - La Mancha, Escuela de Ingenieros Agrónomos. Recuperado a partir de https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/PresentacionesPDF_STR/NecesidadesRiego.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>

- Aloé, J. M., & Toribio, M. (2002). Cómo mejorar la Eficiencia de Uso del Agua. *Investigación y Desarrollo*, 1(14), 1-8. Recuperado a partir de <http://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/boletin-14---como-mejorar-la-eficiencia-en-el-uso-del-agua>
- 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>
- Canahua, A. (1992). Comportamiento y potencialidades de la quinua (*Chenopodium Willd*) en las zonas agroecológicas de Puno - Perú. 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. 53-56). 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
- Canahua, A., Mujica, A., & Tapia, M. (2015). Revaloración del conocimiento campesino y desarrollo participativo de tecnologías apropiadas en quina o jiwra (*Chenopodium quinoa Willd*); Puno, Perú. En *V Congreso mundial de la quinua*. Jujuy Argentina: Latin crop. Recuperado a partir de <http://latincrop.org/publications/>
- Carvalho, H. de P. (2008, abril 23). *Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso*

- eficiente da água na cultura de café* (Tese de Doutorado). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, Piracicaba. <https://doi.org/10.11606/T.11.2008.tde-17072008-144808>
- Charaja, F. (2011). *El MAPIC en la Metodología de la investigación*. (A. Apaza, Ed.) (Segunda Ed.). Puno, Perú.
- 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
- Da Silva, V., Garcêz, S., Da Silva, B., De Albuquerque, M., & Almeida, R. (2015). Métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura da cana de açúcar em condições de sequeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(5), 411-417. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p411-417>
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1976). *Las necesidades de agua de los cultivos (Vol 24)*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- EcuRed. (s. f.). Rendimiento agrícola. Recuperado a partir de https://www.ecured.cu/Rendimiento_agrícola
- Escobar, H., Ortíz, J., Miranda, H., & Peroza, D. (2014). Efecto de diferentes dosis de riego sobre el cultivo de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Unell. Cienc. Tec*, 1(32), 52-48.
- Faci, J. M. (2012). Determinación de las necesidades de riego de los cultivos. En *Jornada Técnica sobre Modernización de Ragadíos 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, M. (2006). Eficiencia en el uso del agua en distintos sistemas hortícolas. *Tecnoambiente*, 16(160), 131-134. Recuperado a partir de

- <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/eficiencia-en-el-uso-del-agua.pdf>
- 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
- Fernández, R., Milla, M., Avila, R., Berengena, J., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores: Módulo 2. Riego por superficie*. Sevilla, España: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Fernández, R., Yruela, M. del C., Milla, M., García, J., & Oyonarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores: Modulo 4. Riego localizado*. Sevilla, España: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Recuperado a partir de http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf
- Ferreira, R., & Sellés, G. (1995). Diseño de sistemas de distribución y métodos de riego. En U. de C. F. de C. A. y F. D. de I. y Suelos. (Ed.), *III curso interamericano diseño de proyectos de riego y drenaje* (Segunda ed, p. X-1 al XI-34).
- Franco, A., & Pérez, L. (2008). Tema 10: Riego por goteo. Recuperado a partir de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema10.Riego_goteo/tutorial_16.htm
- Fuentes, J. L. (2003). *Técnicas de riego* (Cuarta Edi). Madrid, España: IRYDA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Fundación PROINPA. (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.pdf>
- Garcia, M., Raes, D., & Jacobsen, S. E. (2003). Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management*, 60(2), 119-134. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00162-2)

- García, M., Vacher, J. J., & Hidalgo, J. (1992). Estudio comparativo del comportamiento hidrico de dos variedades de quinua en el altiplano central, 7. Recuperado a partir de <http://quinua.pe/wp-content/uploads/2015/02/38552.pdf>
- Gil, R. (s. f.). *Uso eficiente del agua en agricultura sustentable*. Recuperado a partir de <http://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/eficiencia-en-el-uso-del-agua>
- 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>
- González, F., Herrera, J., López, T., & Cid, G. (2013). Revista ciencias técnicas agropecuarias. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3), 5-11. Recuperado a partir de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000300001
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta Edi). México D.F., México: Mc Graw Hill. Recuperado a partir de [https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia de la investigación 5ta Edición.pdf](https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigacion%205ta%20Edici3n.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>
- IICA. (2015). *El mercado y la producción de quinua en el Perú* (Estudio). Lima, Perú. Recuperado a partir de <http://www.iica.int/es/content/el-mercado-y-la-producci3n-de-quinua-en-el-peru>
- INEI. (2013). *Resultados definitivos IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Resultados Definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario*. Lima, Perú. Recuperado a partir de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENA>

GRO.pdf

- Israelsen, O., & Hansen, V. (1985). *Principios y aplicaciones del riego* (Tercera Ed). Barcelona, España: Editorial Reverté S.A.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Recuperado a partir de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- 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>
- Lázaro, P., & Saucedo, H. (2011). *Impacto del riego en la producción de cultivos*. Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado a partir de http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-nayarit/FOLLETOS_Y_MANUALES/FOLLETOS_IMTA_2009/Impacto_de_riegofinal.pdf
- 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>
- Machado, Y. (2016). *Caracterización de la evapotranspiración de referencia estimada y predicha para su inserción en la programación de riego* (Tesis de Grado de la Maestría en Agricultura Sostenible). Universidad Central Marta Areu de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Recuperado a partir de <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/6479>

- Martínez, F. J. (2014). *Introducción al riego* (Primera ed). Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de Valencia.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, 1(43), 63-84. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17604304>
- Méndez-Natera, J. R., Lara, L., & Gil-Marín, J. A. (2007). Efecto del riego por goteo en el crecimiento inicial de tres cultivares de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *SciELO*, 25(2), 7-15. Recuperado a partir de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292007000200002
- MINAGRI. (2017). La Quinoa: Producción y Comercio del Perú. *Boletín Perfil técnico* N° 2, 1-8. Recuperado a partir de <http://www.quinuainternacional.org.bo>
- MINCETUR. (2006). *Plan Operativo de la quinoa Región Puno* (Mesa de rabajo de la Quinoa - Puno). Puno, Perú. Recuperado a partir de https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiXhoDryPrXAhWCmuAKHRIEDogQFggwMAI&url=https%3A%2F%2Fwww.mincetur.gob.pe%2Fwp-content%2Fuploads%2Fdocumentos%2Fcomercio_exterior%2Fplan_exportador%2FPenx_2003_2013
- Mori, A. (2015). *Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinoa (*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>
- Mujica, A; Jacobsen, SE; Izquierdo, J; Marathe, J. (2001). Libro: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) ancestral cultivo de los andes, alimento del presente y futuro. Recuperado 25 de febrero de 2017, a partir de <https://es.slideshare.net/dioslokis/29879087-libroquinuaancestralcultivodelosandesrmiranda>
- Mujica, A., Sánchez, S., Vilca, M., & Jacobsen, S.-E. (1999). Producción actual y

- potencial de la quinua (*Chenopodium Willd*) en el Perú. En Universidad Nacional Agraria La Molina (Ed.), *Primer Taller Internacional sobre Quinua - Recursos genéticos y Sistemas de Producción*. Lima: S.-E. Jacobsen and A. Valdez. Recuperado a partir de <http://docslide.us/documents/212455212-produccion-actual-y-potencial-de-la-quinua-docx.html>
- Mujica, A., Suquilanda, M., Chura, E., Ruiz, E., León, A., Cutipa, S., & Ponce, C. (2013). *Producción orgánica de quinua*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano, FINCAGRO.
- 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/>
- Pereira, A., Angelocci, L. R., & Sentelhas, P. C. (2007). *Meteorología Agrícola*. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» Departamento de Ciências Exatas Piracicaba, SP.
- Pergolini, S., Castillo, C., & Espósito, G. (2014). *Efecto de la fertilización sobre el consumo y la eficiencia de uso del agua del cultivo de trigo*. Córdoba, Argentina. Recuperado a partir de <http://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/efecto-de-la-fertilizacion-sobre-el-consumo-y-la-eua-en-trigo>
- Pires, J. L. (2017). *Avaliação do comportamento agronômico da quinoa (Chenopodium quinoa Willd), em diferentes regimes hídricos e níveis de fertilização azotada, nas condições agroecológicas de Trás-os-Montes* (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico de Braganca , Escola Superior Agrária, Mestrado em Agricultura Tropical.
- Pizarro, F. (1990). *Riegos localizados de Alta Frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación*. (E. Mundi-Prensa, Ed.) (Segunda ed). Madrid, España.

- PRONADRET. (1988). Estudio Agrológico. En *Estudio de Factibilidad del Proyecto de Irrigacion Cabana Mañazo - Puno*. Puno, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, Programa Nacional de Drenaje y Recuperación de Tierras-PRONADRET.
- Puppo, L. (2015). Cálculo de la lámina de riego. Montevideo, Uruguay: Gobierno de Uruguay; Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Recuperado a partir de <https://www.youtube.com/watch?v=hs9edqD3eP8>
- Puppo, L., Betancor, L., Morales, P., & Hayashi, R. (2015). Agua en el suelo. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de suelos y aguas, Unidad de hidrología. Recuperado a partir de <http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/>
- Rea, J., Tapia, M., & Mujica, A. (1979). La quinua y la kañiwa: cultivos Andinos. En *La quinua y la Kañiwa: Cultivos andinos* (p. 227). Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Recuperado a partir de https://books.google.com.pe/books?id=FfemqEmGXysC&pg=PA87&lpg=PA87&dq=Temperatura+mínima+para+quinua&source=bl&ots=xqCLgOpBRY&sig=_dawj916q6SabxwMrs3oa2Wq42c&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwifob6J8qnXAhWHF5AKHc8qDBIQ6AEIXTAL#v=onepage&q=Temperatura míni
- Rosa, A. (2002). EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO. En *Apostila de Climatología*. Vitória, Espírito Santo, Brasil: Universidad Federal del Espíritu Santo - UFES, Centro de Ciencias Humana y Naturales, Departamento de Gesografía. Recuperado a partir de <http://www.mundogeomatica.com.br/Cl.htm>
- 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 Prr grado). 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>

Villanueva, A., Villanueva, I., & Vilchez, G. (s. f.). *Principios básicos del riego*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria - La Molina, Facultad de Ing. Agrícola, Departamento de Recursos Hídricos; Instituto Internacional de Riego.

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





Anexo 1. Información meteorológica – Estación climatológica Juli

Departamento	Puno	Latitud	16°12'3.6"	Código	116061								
Provincia	Chucuito	Longitud	19°27'35.7"	Record	1964-2015								
Distrito	Juli	Altitud	3812 m.s.n.m.										
PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL PROM
Temperatura (°C)													
T. máxima	13.9	13.9	14.0	14.1	13.5	12.8	12.6	13.2	13.8	14.7	15.1	14.5	166.1
T. mínima	4.9	4.9	4.6	3.3	0.9	-0.7	-1.1	0.1	2.0	3.4	4.2	4.9	31.4
T. media	9.4	9.4	9.3	8.7	7.2	6.1	5.7	6.6	7.9	9.0	9.7	9.7	98.7
T. max. Absoluta	18.3	18.5	18.8	17.5	17.8	16.8	17.7	18.0	18.2	19.7	20.0	19.4	220.7
Oscilación máx	16.6	17.0	18.0	19.4	20.7	21.2	22.8	22.8	19.0	19.1	19.8	18.8	235.2
Precipitación													
Total (mm)	202.0	185.8	153.3	55.1	12.6	6.2	5.6	15.4	28.4	39.2	53.9	122.2	879.7
N° días precipitación	24	21	21	10	3	1	2	3	7	8	10	18	128
Precipitación máx 24 Hrs	63.7	100.8	49.8	71.9	26.3	18.5	14.5	42.5	36.1	38.1	47.3	66.1	575.6
Humedad relativa	69	69	69	61	52	48	49	50	54	53	55	62	691
Evaporación tanque A	138.8	118.4	123.5	118.3	118.0	106.6	115.6	133.8	150.6	175.4	175.7	158.7	1633.4
Evaporación promedio diario	4.4	4.2	4	3.9	3.8	3.5	3.7	4.3	5	5.7	5.9	5.1	53.5
Nubosidad (octavos)	7	6	6	5	3	3	2	3	3	4	5	6	53
Velocidad del viento													
Velocidad del viento (m/seg)	2.6	2.6	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.7	3	3.1	3.1	2.9	32.2
Velocidad max viento	15	13	13	12	16	14	19	15	15	15	15	16	178
Dirección predominante	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Horas y décimas de sol	201.7	195.9	225.1	251.6	287.2	267.8	276.7	273.5	271.0	263.2	253.8	226.5	2994.0
Insolación %	50	53	59	72	82	84	84	81	78	73	69	58	843.0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI (2017)

Anexo 2. Precipitación mensual 1957 – 2010 – Estación Juli

Departamento	Puno					Latitud	16°12'3.6"			Código: 116061		
Provincia	Chucuito					Longitud	19°27'35.7"			Record		
Distrito	Juli					Altitud	3812 m.s.n.m.					
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1957	100.4	134.7	143.9	23.6	10.0	20.0	0.0	16.5	20.5	29.2	59.6	91.1
1963	306.4	196.4	144.5	51.5	4.1	0.0	0.0	0.0	36.0	0.0	16.4	165.7
1966	64.8	95.5	52.7	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	58.9	66.9	98.6
1967	68.0	172.1	191.7	66.4	16.8	0.0	0.0	0.0	44.9	30.3	5.7	177.1
1968	134.3	212.0	193.8	27.0	45.1	30.7	1.0	2.0	30.6	3.5	105.5	51.1
1969	172.1	164.0	87.4	31.8	0.0	7.0	1.8	9.1	22.4	23.1	17.3	98.4
1970	148.5	196.7	186.3	44.5	8.3	0.2	3.5	0.0	30.7	34.0	24.4	177.5
1971	166.8	345.9	71.0	74.9	3.8	2.3	0.0	11.5	0.0	29.5	98.9	134.9
1972	288.9	211.0	169.2	17.8	0.0	2.7	3.8	1.6	26.9	13.4	50.0	148.5
1973	271.4	189.9	144.5	109.2	12.9	0.0	8.1	17.1	44.6	45.4	30.9	68.6
1975	184.3	266.3	156.7	16.6	55.6	9.7	0.0	9.7	36.0	95.9	35.7	280.1
1976	331.2	201.2	136.3	21.0	44.0	1.0	2.4	43.6	63.4	9.5	5.9	51.1
1977	91.9	275.2	222.5	5.4	0.0	0.0	14.5	0.0	57.6	66.4	162.8	114.9
1978	250.9	99.2	117.5	19.7	0.0	0.0	4.0	8.7	22.9	0.9	88.2	146.4
1979	197.2	117.3	229.1	80.7	2.2	0.0	14.1	2.2	4.1	47.1	115.5	133.7
1985	128.8	304.8	162.6	101.6	38.1	26.8	0.0	22.3	89.7	13.3	164.2	163.3
1986	131.5	260.1	174.7	107.0	4.3	0.0	3.6	37.3	15.2	29.8	33.4	139.5
1987	296.3	70.3	82.6	37.3	5.5	8.7	19.2	1.3	18.6	64.2	155.4	43.7
1988	300.3	70.4	239.5	124.0	9.0	0.2	1.0	0.0	22.6	58.7	27.3	96.2
1989	160.2	176.0	195.1	111.3	16.4	3.8	6.3	17.3	18.1	3.7	27.0	58.4
1990	192.0	50.8	51.4	47.7	13.6	48.5	0.0	18.9	19.9	69.3	64.3	173.7
1991	147.1	101.3	152.8	70.8	10.1	31.5	3.8	0.6	11.8	49.8	30.9	74.0
1992	159.3	130.9	40.2	32.8	0.0	0.7	3.7	40.9	0.0	24.0	72.6	60.7
1993	219.6	88.2	185.2	30.8	7.6	2.9	0.0	35.1	21.1	73.0	122.0	69.7
1994	186.5	149.1	109.5	55.4	11.7	0.0	1.6	0.8	7.1	14.3	69.2	165.3
1995	128.9	105.9	134.5	19.9	6.1	0.0	0.6	7.2	17.8	26.3	71.6	117.2
1996	195.5	127.0	137.3	32.3	18.8	0.0	9.1	38.0	4.5	26.6	77.2	101.6
1997	264.1	220.4	162.3	66.1	11.1	0.0	0.0	64.0	79.7	36.2	79.2	54.0
1998	132.4	77.3	150.6	62.0	0.0	13.6	0.0	0.0	12.3	75.4	66.0	51.3
1999	151.5	278.2	309.8	61.5	28.4	2.2	3.1	1.9	58.1	130.3	18.5	93.0
2001	324.0	251.9	238.6	54.4	7.9	1.9	12.7	30.9	18.8	67.7	13.8	116.2
2002	145.8	215.8	239.1	134.2	8.6	16.5	42.4	10.9	3.7	39.4	37.4	107.1
2003	229.7	142.7	327.3	39.3	23.4	0.0	5.9	12.6	42.6	24.6	25.6	89.6
2004	322.0	115.8	68.4	54.9	11.6	2.0	34.0	49.9	25.3	11.1	25.7	126.3
2005	139.1	189.2	78.7	29.5	1.5	0.0	0.0	1.0	24.7	61.2	54.0	164.2
2006	347.2	197.3	174.1	44.6	7.1	3.3	0.0	2.3	13.9	43.5	113.6	93.9
2008	284.7	109.5	88.7	44.4	0.8	2.5	1.2	0.5	0.7	52.0	15.9	177.3
2009	161.7	210.5	170.1	77.0	0.0	0.0	6.6	0.0	54.0	34.0	125.9	128.5
2010	236.2	217.6	107.0	25.1	42.5	0.0	0.0	9.1	5.3	62.5	13.1	117.0

Fuente: Base de datos SENAMHI

Anexo 3. Cálculo necesidades totales de riego**1. Evapotranspiración del cultivo de referencia**

En base a la información climatológica de la Estación climatológica ordinaria de Juli, correspondiente al período 1964 – 2015d el anexo 1, se determinó la Evapotranspiración del cultivo de referencia con el Cropwat 8.0.

Mes	Tmin °C	TMax °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación %	Rad MJ/m ² /día	Eto mm/día
ENE	4.9	13.9	69	2.6	50	20.5	3.52
FEB	4.9	13.9	69	2.6	53	20.5	3.48
MAR	4.6	14	69	2.4	59	20.2	3.36
ABR	3.3	14.1	61	2.4	72	19.9	3.34
MAY	0.9	13.5	52	2.4	82	18.7	3.09
JUN	-0.7	12.8	48	2.4	84	17.6	2.87
JUL	-1.1	12.6	49	2.6	84	18.2	2.95
AGO	0.1	13.2	50	2.7	81	20.2	3.32
SET	2	13.8	54	3	78	22.5	3.77
OCT	3.4	14.7	53	3.1	73	23.8	4.20
NOV	4.2	15.1	55	3.1	69	24.1	4.32
DIC	4.9	14.5	62	2.9	58	22.2	3.93

Fuente: Elaboración propia con el Cropwat 8.0

2. Precipitación efectiva

Para el cálculo de la precipitación efectiva se siguió la siguiente secuencia

- En primer lugar se determinó la precipitación con diferente nivel de persistencia con el Método de Weibull, a partir de 39 años de información pluviométrica de la Estación climatológica ordinaria de Juli del período 1957 – 2010 que se muestra en el anexo 2.

Departamento Puno				Latitud		16°12'3.6"		Código: 116061					
Prov/Distrito Chucuito/Juli				Longitud		19°27'35.7"		Altitud: 3812 m.s.n.m.					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	f(%)
1	347.2	345.9	327.3	134.2	55.6	48.5	42.4	64.0	89.7	130.3	164.2	280.1	2.5
2	331.2	304.8	309.8	124.0	45.1	31.5	34.0	49.9	79.7	95.9	162.8	177.5	5.0
3	324.0	278.2	239.5	111.3	44.0	30.7	19.2	43.6	63.4	75.4	155.4	177.3	7.5
4	322.0	275.2	239.1	109.2	42.5	26.8	14.5	40.9	58.1	73.0	125.9	177.1	10.0
5	306.4	266.3	238.6	107.0	38.1	20.0	14.1	38.0	57.6	69.3	122.0	173.7	12.5
6	300.3	260.1	229.1	101.6	28.4	16.5	12.7	37.3	54.0	67.7	115.5	165.7	15.0
7	296.3	251.9	222.5	80.7	23.4	13.6	9.1	35.1	44.9	66.4	113.6	165.3	17.5
8	288.9	220.4	195.1	77.0	18.8	9.7	8.1	30.9	44.6	64.2	105.5	164.2	20.0
9	284.7	217.6	193.8	74.9	16.8	8.7	6.6	22.3	42.6	62.5	98.9	163.3	22.5
10	271.4	215.8	191.7	70.8	16.4	7.0	6.3	18.9	36.0	61.2	88.2	148.5	25.0
11	264.1	212.0	186.3	66.4	13.6	3.8	5.9	17.3	36.0	58.9	79.2	146.4	27.5
12	250.9	211.0	185.2	66.1	12.9	3.3	4.0	17.1	30.7	58.7	77.2	139.5	30.0
13	236.2	210.5	174.7	62.0	11.7	2.9	3.8	16.5	30.6	52.0	72.6	134.9	32.5
14	229.7	201.2	174.1	61.5	11.6	2.7	3.8	12.6	26.9	49.8	71.6	133.7	35.0
15	219.6	197.3	170.1	55.4	11.1	2.5	3.7	11.5	25.3	47.1	69.2	128.5	37.5
16	197.2	196.7	169.2	54.9	10.1	2.3	3.6	10.9	24.7	45.4	66.9	126.3	40.0
17	195.5	196.4	162.6	54.4	10.0	2.2	3.5	9.7	22.9	43.5	66.0	117.2	42.5
18	192.0	189.9	162.3	51.5	9.0	2.0	3.1	9.1	22.6	39.4	64.3	117.0	45.0
19	186.5	189.2	156.7	47.7	8.6	1.9	2.4	9.1	22.4	36.2	59.6	116.2	47.5
20	184.3	176.0	152.8	44.6	8.3	1.0	1.8	8.7	21.1	34.0	54.0	114.9	50.0
21	172.1	172.1	150.6	44.5	7.9	0.7	1.6	7.2	20.5	34.0	50.0	107.1	52.5
22	166.8	164.0	144.5	44.4	7.6	0.2	1.2	2.3	19.9	30.3	37.4	101.6	55.0
23	161.7	149.1	144.5	39.3	7.1	0.2	1.0	2.2	18.8	29.8	35.7	98.6	57.5
24	160.2	142.7	143.9	37.3	6.1	0.0	1.0	2.0	18.6	29.5	33.4	98.4	60.0
25	159.3	134.7	137.3	32.8	5.5	0.0	0.6	1.9	18.1	29.2	30.9	96.2	62.5
26	151.5	130.9	136.3	32.3	4.3	0.0	0.0	1.6	17.8	26.6	30.9	93.9	65.0
27	148.5	127.0	134.5	31.8	4.1	0.0	0.0	1.3	15.2	26.3	27.3	93.0	67.5
28	147.1	117.3	117.5	30.8	3.8	0.0	0.0	1.0	13.9	24.6	27.0	91.1	70.0
29	145.8	115.8	109.5	29.5	2.2	0.0	0.0	0.8	13.0	24.0	25.7	89.6	72.5
30	139.1	109.5	107.0	27.5	1.5	0.0	0.0	0.6	12.3	23.1	25.6	74.0	75.0
31	134.3	105.9	88.7	27.0	0.8	0.0	0.0	0.5	11.8	14.3	24.4	69.7	77.5
32	132.4	101.3	87.4	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	13.4	18.5	68.6	80.0
33	131.5	99.2	82.6	23.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	13.3	17.3	60.7	82.5
34	128.9	95.5	78.7	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	11.1	16.4	58.4	85.0
35	128.8	88.2	71.0	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	9.5	15.9	54.0	87.5
36	100.4	77.3	68.4	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	3.7	13.8	51.3	90.0
37	91.9	70.4	52.7	17.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	3.5	13.1	51.1	92.5
38	68.0	70.3	51.4	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	5.9	51.1	95.0
39	64.8	50.8	40.2	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	43.7	97.5

Fuente: Elaboración propia

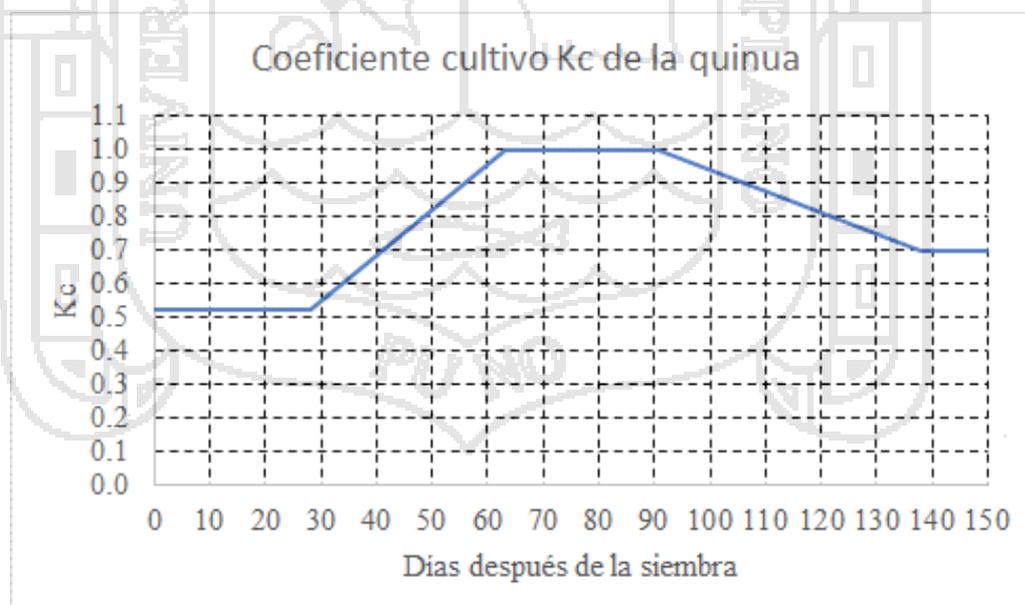
- Luego se determinó la Precipitación efectiva con el Método de Water Power Resources, para una precipitación mensual con un 75% de persistencia:

Mes	PP 75 % mm	% de la Precipitación efectiva por nivel de precipitación					Pe mm/mes	Pe mm/día
		0-5	30-95	55-90	80-82	105-65		
Ene	139.1	0.0	28.5	49.5	40.3	0.0	118.3	3.81
Feb	172.1	0.0	28.5	49.5	65.6	1.4	145.0	5.18
Mar	150.6	0.0	28.5	49.5	49.7	0.0	127.7	4.12
Abr	44.5	0.0	28.5	8.6	0.0	0.0	37.1	1.24
May	7.9	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	2.8	0.09
Jun	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Jul	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Ago	7.2	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	2.1	0.07
Sep	20.5	0.0	14.7	0.0	0.0	0.0	14.7	0.48
Oct	34	0.0	27.6	0.0	0.0	0.0	27.6	0.92
Nov	50	0.0	28.5	13.5	0.0	0.0	42.0	1.40
Dic	107.1	0.0	28.5	49.5	14.0	0.0	92.0	2.97

Fuente: Villanueva, Villanueva y Vilchez (s. f.)

3. Coeficiente Kc mensual del cultivo

- Para el cálculo del coeficiente de cultivo Kc, se asumió como válida la curva del coeficiente Kc adaptada para el altiplano Chileno por Lanino *et al.* (2008)



Fuente: Lanino *et al.* (2008)

- Los valores de Kc mensualizados para el cultivo de quinua sembrado el 22.12.2015 y de 150 días de ciclo vegetativo, se han estimado a partir de la curva del coeficiente de cultivo Kc adoptado y son los siguientes:

	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May						
Kc fase	0.00	0.52	0.52	0.60	0.84	1.00	1.00	0.98	0.86	0.73	0.70	0.00
Nº Días	24	9	19	12	23	5	23	8	30	9	12	10
Kc Mes	0.15	0.55	0.78	0.99	0.86	0.50						

Fuente: Elaboración propia

4. Factores de corrección para el cálculo de Evapotranspiración

La evapotranspiración real se debe corregir por efectos de localización de la planta y por las condiciones climatológicas locales; por lo que aplicando la metodología de Pizarro (1990), se tiene

	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Efecto localización	0.22	0.31	0.42	0.54	0.75	0.80
Variación climática	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Variación por advección	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Factor de corrección	0.29	0.40	0.54	0.70	0.97	1.04

Nota: Para el efecto de localización se consideró que el cultivo sombrea 10% en diciembre, 20% enero, 30% febrero, 40% marzo, 60% abril y 70% mayo.

Fuente: Elaboración propia según la metodología de Pizarro (1990)

5. Necesidades de lixiviación

Dada la tolerancia de la quinua a altos niveles de salinidad del sustrato y del agua, no será necesario aplicar una lámina de lixiviación a la dosis de riego.

6. Índices de calidad del riego

- En base a lo sugerido por Pizarro (1990) para cultivos con una profundidad radicular menor a 0.75 m. en suelos de textura media y zonas húmedas, se adopta una eficiencia de aplicación de 85%.
- En base a lo recomendado por Franco y Pérez (2008) para sistemas con goteros espaciados a menos de 1 m. en zonas con pendientes menores al 2% y topografía uniforme se adopta 90%.

7. Necesidades totales de riego

- Para una dosis equivalente al 100% de la ETc sin control de lluvias

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Eto	3.52	3.48	3.36	3.34	3.09	2.87	2.95	3.32	3.77	4.20	4.32	3.93
Kc	0.55	0.78	0.99	0.86	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
ETc	1.94	2.71	3.33	2.87	1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59
Pe	3.81	5.18	4.12	1.24	0.09	0.00	0.00	0.07	0.48	0.92	1.40	2.97
N. netas	0.00	0.00	0.00	1.63	1.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Efa (%)	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Cu (%)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
N. totales	0.00	0.00	0.00	2.13	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota: ETo: Evapotranspiración de referencia, ETc: Evapotranspiración del cultivo, N. netas: Necesidades netas, N. totales: Necesidades totales

- Para una dosis equivalente al 50% de la ETc con control de lluvias

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Eto	3.52	3.48	3.36	3.34	3.09	2.87	2.95	3.32	3.77	4.20	4.32	3.93
Kc	0.55	0.78	0.99	0.86	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
ETc	0.97	1.36	1.66	1.44	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
Pe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N. netas	0.97	1.36	1.66	1.44	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
Efa (%)	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Cu (%)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
N. totales	1.27	1.77	2.17	1.88	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39

Nota: ETo: Evapotranspiración de referencia, ETc: Evapotranspiración del cultivo, N. netas: Necesidades netas, N. totales: Necesidades totales

- Para una dosis equivalente al 25% de la ETc sin control de lluvias

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Eto	3.52	3.48	3.36	3.34	3.09	2.87	2.95	3.32	3.77	4.20	4.32	3.93
Kc	0.55	0.78	0.99	0.86	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
ETc	0.48	0.68	0.83	0.72	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
Pe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N. netas	0.48	0.68	0.83	0.72	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
Efa (%)	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Cu (%)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
N. totales	0.63	0.89	1.09	0.94	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19

Nota: ETo: Evapotranspiración de referencia, ETc: Evapotranspiración del cultivo, N. netas: Necesidades netas, N. totales: Necesidades totales

Anexo 4. Calendario de riegos – Tratamientos T-1; T-2 y T-3

FECHA	ETo mm/día	Kc	Pr m	T - 1: 100% ETc					T - 2: 50% ETc					T - 3: 25% ETc				
				ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min
22/12/15	3.93	0.52	0.10	2.04	12.09	10.05	379	6	1.02	12.09	11.07	189	3	0.51	12.09	11.58		
23/12/15	3.93	0.52	0.10	2.04	12.09	10.05	379	6	1.02	12.09	11.07	189	3	0.51	12.09	11.58	95	1
24/12/15	3.93	0.52	0.10	2.04	12.09	10.05	379	6	1.02	12.09	11.07	189	3	0.51	12.09	11.58	95	1
25/12/15	3.93	0.52	0.10	2.04	12.09	10.05	379	6	1.02	12.09	11.07	189	3	0.51	12.09	11.58	95	1
26/12/15	3.93	0.52	0.10	2.04	12.09	10.05	379	6	1.02	12.09	11.07	189	3	0.51	12.09	11.58	95	1
27/12/15	3.93	0.52	0.11	2.04	12.85	10.80	519	8	1.02	12.85	11.82	330	5	0.51	12.85	12.33	235	4
28/12/15	3.93	0.52	0.11	2.04	13.60	11.56	519	8	1.02	13.60	12.58	330	5	0.51	13.60	13.09	235	4
29/12/15	3.93	0.52	0.12	2.04	14.36	12.31	519	8	1.02	14.36	13.34	330	5	0.51	14.36	13.85	235	4
30/12/15	3.93	0.52	0.13	2.04	15.11	13.07	519	8	1.02	15.11	14.09	330	5	0.51	15.11	14.60	235	4
31/12/15	3.93	0.52	0.13	2.04	15.87	13.82	519	8	1.02	15.87	14.85	330	5	0.51	15.87	15.36	235	4
01/01/16	3.52	0.52	0.14	1.83	16.62	14.79	519	8	0.92	16.62	15.71	330	5	0.46	16.62	16.17	235	4
02/01/16	3.52	0.52	0.14	1.83	17.38	15.55	480	7	0.92	17.38	16.46	310	5	0.46	17.38	16.92	225	3
03/01/16	3.52	0.52	0.15	1.83	18.14	16.30	480	7	0.92	18.14	17.22	310	5	0.46	18.14	17.68	225	3
04/01/16	3.52	0.52	0.16	1.83	18.89	17.06	480	7	0.92	18.89	17.98	310	5	0.46	18.89	18.43	225	3
05/01/16	3.52	0.52	0.16	1.83	19.65	17.82	480	7	0.92	19.65	18.73	310	5	0.46	19.65	19.19	225	3
06/01/16	3.52	0.52	0.17	1.83	20.40	18.57	480	7	0.92	20.40	19.49	310	5	0.46	20.40	19.94	225	3
07/01/16	3.52	0.52	0.18	1.83	21.16	19.33	480	7	0.92	21.16	20.24	310	5	0.46	21.16	20.70	225	3
08/01/16	3.52	0.52	0.18	1.83	21.91	20.08	480	7	0.92	21.91	21.00	310	5	0.46	21.91	21.46	225	3
09/01/16	3.52	0.52	0.19	1.83	22.67	20.84	480	7	0.92	22.67	21.75	310	5	0.46	22.67	22.21	225	3
10/01/16	3.52	0.52	0.19	1.83	23.42	21.59	480	7	0.92	23.42	22.51	310	5	0.46	23.42	22.97	225	3
11/01/16	3.52	0.52	0.20	1.83	24.18	22.35	480	7	0.92	24.18	23.26	310	5	0.46	24.18	23.72	225	3
12/01/16	3.52	0.52	0.21	1.83	24.94	23.11	480	7	0.92	24.94	24.02	310	5	0.46	24.94	24.48	225	3
13/01/16	3.52	0.52	0.21	1.83	25.69	23.86	480	7	0.92	25.69	24.78	310	5	0.46	25.69	25.23	225	3

FECHA	ETo mm/día	Kc	Pr m	T - 1: 100% ETc					T - 2: 50% ETc					T - 3: 25% ETc				
				ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min
14/01/16	3.52	0.52	0.22	1.83	26.45	24.62	480	7	0.92	26.45	25.53	310	5	0.46	26.45	25.99	225	3
15/01/16	3.52	0.52	0.23	1.83	27.20	25.37	480	7	0.92	27.20	26.29	310	5	0.46	27.20	26.74	225	3
16/01/16	3.52	0.52	0.23	1.83	27.96	26.13	480	7	0.92	27.96	27.04	310	5	0.46	27.96	27.50	225	3
17/01/16	3.52	0.52	0.24	1.83	28.71	26.88	480	7	0.92	28.71	27.80	310	5	0.46	28.71	28.26	225	3
18/01/16	3.52	0.52	0.24	1.83	29.47	27.64	480	7	0.92	29.47	28.55	310	5	0.46	29.47	29.01	225	3
19/01/16	3.52	0.52	0.25	1.83	30.23	28.39	480	7	0.92	30.23	29.31	310	5	0.46	30.23	29.77	225	3
20/01/16	3.52	0.52	0.26	1.83	30.98	29.15	480	7	0.92	30.98	30.07	310	5	0.46	30.98	30.52	225	3
21/01/16	3.52	0.52	0.26	1.83	31.74	29.91	480	7	0.92	31.74	30.82	310	5	0.46	31.74	31.28	225	3
22/01/16	3.52	0.64	0.27	2.25	32.49	30.24	480	7	1.13	32.49	31.37	310	5	0.56	32.49	31.93	225	3
23/01/16	3.52	0.64	0.28	2.25	33.25	30.99	558	8	1.13	33.25	32.12	349	5	0.56	33.25	32.68	245	4
24/01/16	3.52	0.64	0.28	2.25	34.00	31.75	558	8	1.13	34.00	32.88	349	5	0.56	34.00	33.44	245	4
25/01/16	3.52	0.64	0.29	2.25	34.76	32.51	558	8	1.13	34.76	33.63	349	5	0.56	34.76	34.20	245	4
26/01/16	3.52	0.64	0.29	2.25	35.51	33.26	558	8	1.13	35.51	34.39	349	5	0.56	35.51	34.95	245	4
27/01/16	3.52	0.64	0.30	2.25	36.27	34.02	558	8	1.13	36.27	35.14	349	5	0.56	36.27	35.71	245	4
28/01/16	3.52	0.64	0.31	2.25	37.03	34.77	558	8	1.13	37.03	35.90	349	5	0.56	37.03	36.46	245	4
29/01/16	3.52	0.64	0.31	2.25	37.78	35.53	558	8	1.13	37.78	36.65	349	5	0.56	37.78	37.22	245	4
30/01/16	3.52	0.64	0.32	2.25	38.54	36.28	558	8	1.13	38.54	37.41	349	5	0.56	38.54	37.97	245	4
31/01/16	3.52	0.64	0.33	2.25	39.29	37.04	558	8	1.13	39.29	38.17	349	5	0.56	39.29	38.73	245	4
01/02/16	3.48	0.64	0.33	2.23	40.05	37.82	558	8	1.11	40.05	38.93	349	5	0.56	40.05	39.49	245	4
02/02/16	3.48	0.79	0.34	2.75	40.80	38.05	553	8	1.37	40.80	39.43	347	5	0.69	40.80	40.12	243	4
03/02/16	3.48	0.79	0.34	2.75	41.56	38.81	650	10	1.37	41.56	40.18	395	6	0.69	41.56	40.87	268	4
04/02/16	3.48	0.79	0.35	2.75	42.32	39.57	650	10	1.37	42.32	40.94	395	6	0.69	42.32	41.63	268	4
05/02/16	3.48	0.79	0.36	2.75	43.07	40.32	650	10	1.37	43.07	41.70	395	6	0.69	43.07	42.38	268	4
06/02/16	3.48	0.79	0.36	2.75	43.83	41.08	650	10	1.37	43.83	42.45	395	6	0.69	43.83	43.14	268	4
07/02/16	3.48	0.79	0.37	2.75	44.58	41.83	650	10	1.37	44.58	43.21	395	6	0.69	44.58	43.89	268	4
08/02/16	3.48	0.79	0.38	2.75	45.34	42.59	650	10	1.37	45.34	43.96	395	6	0.69	45.34	44.65	268	4

FECHA	ETo mm/día	Kc	Pr m	T - 1: 100% ETc					T - 2: 50% ETc					T - 3: 25% ETc				
				ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min
09/02/16	3.48	0.79	0.38	2.75	46.09	43.34	650	10	1.37	46.09	44.72	395	6	0.69	46.09	45.41	268	4
10/02/16	3.48	0.79	0.39	2.75	46.85	44.10	650	10	1.37	46.85	45.47	395	6	0.69	46.85	46.16	268	4
11/02/16	3.48	0.79	0.39	2.75	47.60	44.86	650	10	1.37	47.60	46.23	395	6	0.69	47.60	46.92	268	4
12/02/16	3.48	0.79	0.40	2.75	48.36	45.61	650	10	1.37	48.36	46.99	395	6	0.69	48.36	47.67	268	4
13/02/16	3.48	0.93	0.40	3.24	48.36	45.12	510	8	1.62	48.36	46.74	255	4	0.81	48.36	47.55	127	2
14/02/16	3.48	0.93	0.40	3.24	48.36	45.12	600	9	1.62	48.36	46.74	300	5	0.81	48.36	47.55	150	2
15/02/16	3.48	0.93	0.40	3.24	48.36	45.12	600	9	1.62	48.36	46.74	300	5	0.81	48.36	47.55	150	2
16/02/16	3.48	0.93	0.40	3.24	48.36	45.12	600	9	1.62	48.36	46.74	300	5	0.81	48.36	47.55	150	2
17/02/16	3.48	0.93	0.40	3.24	48.36	45.12	600	9	1.62	48.36	46.74	300	5	0.81	48.36	47.55	150	2
18/02/16	3.48	0.93	0.40	3.24	48.36	45.12	600	9	1.62	48.36	46.74	300	5	0.81	48.36	47.55	150	2
19/02/16	3.48	0.93	0.40	3.24	48.36	45.12	600	9	1.62	48.36	46.74	300	5	0.81	48.36	47.55	150	2
20/02/16	3.48	0.93	0.40	3.24	48.36	45.12	600	9	1.62	48.36	46.74	300	5	0.81	48.36	47.55	150	2
21/02/16	3.48	0.93	0.40	3.24	48.36	45.12	600	9	1.62	48.36	46.74	300	5	0.81	48.36	47.55	150	2
22/02/16	3.48	1.00	0.40	3.48	48.36	44.88	600	9	1.74	48.36	46.62	300	5	0.87	48.36	47.49	150	2
23/02/16	3.48	1.00	0.40	3.48	48.36	44.88	645	10	1.74	48.36	46.62	323	5	0.87	48.36	47.49	161	2
24/02/16	3.48	1.00	0.40	3.48	48.36	44.88	645	10	1.74	48.36	46.62	323	5	0.87	48.36	47.49	161	2
25/02/16	3.48	1.00	0.40	3.48	48.36	44.88	645	10	1.74	48.36	46.62	323	5	0.87	48.36	47.49	161	2
26/02/16	3.48	1.00	0.40	3.48	48.36	44.88	645	10	1.74	48.36	46.62	323	5	0.87	48.36	47.49	161	2
27/02/16	3.48	1.00	0.40	3.48	48.36	44.88	645	10	1.74	48.36	46.62	323	5	0.87	48.36	47.49	161	2
28/02/16	3.48	1.00	0.40	3.48	48.36	44.88	645	10	1.74	48.36	46.62	323	5	0.87	48.36	47.49	161	2
29/02/16	3.48	0.98	0.40	3.41	48.36	44.95	645	10	1.71	48.36	46.65	323	5	0.85	48.36	47.51	161	2
01/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	632	9	1.65	48.36	46.71	316	5	0.82	48.36	47.54	158	2
02/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
03/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
04/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
05/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2

FECHA	ETo mm/día	Kc	Pr m	T - 1: 100% ETc					T - 2: 50% ETc					T - 3: 25% ETc				
				ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min
06/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
07/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
08/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
09/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
10/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
11/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
12/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
13/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
14/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
15/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
16/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
17/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
18/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
19/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
20/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
21/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
22/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
23/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
24/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
25/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
26/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
27/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
28/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
29/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
30/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
31/03/16	3.36	0.98	0.40	3.29	48.36	45.07	611	9	1.65	48.36	46.71	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2

FECHA	ETo mm/día	Kc	Pr m	T - 1: 100% ETc					T - 2: 50% ETc					T - 3: 25% ETc				
				ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min
01/04/16	3.34	0.98	0.40	3.27	48.36	45.09	611	9	1.64	48.36	46.72	305	5	0.82	48.36	47.54	153	2
02/04/16	3.34	0.98	0.40	3.27	48.36	45.09	607	9	1.64	48.36	46.72	303	5	0.82	48.36	47.54	152	2
03/04/16	3.34	0.98	0.40	3.27	48.36	45.09	607	9	1.64	48.36	46.72	303	5	0.82	48.36	47.54	152	2
04/04/16	3.34	0.98	0.40	3.27	48.36	45.09	607	9	1.64	48.36	46.72	303	5	0.82	48.36	47.54	152	2
05/04/16	3.34	0.98	0.40	3.27	48.36	45.09	607	9	1.64	48.36	46.72	303	5	0.82	48.36	47.54	152	2
06/04/16	3.34	0.98	0.40	3.27	48.36	45.09	607	9	1.64	48.36	46.72	303	5	0.82	48.36	47.54	152	2
07/04/16	3.34	0.98	0.40	3.27	48.36	45.09	607	9	1.64	48.36	46.72	303	5	0.82	48.36	47.54	152	2
08/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	607	9	1.34	48.36	47.02	303	5	0.67	48.36	47.69	152	2
09/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
10/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
11/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
12/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
13/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
14/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
15/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
16/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
17/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
18/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
19/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
20/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
21/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
22/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
23/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
24/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
25/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2
26/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2

FECHA	ETo mm/día	Kc	Pr m	T - 1: 100% ETc						T - 2: 50% ETc						T - 3: 25% ETc					
				ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min	ETc mm/día	NHI mm	NHF mm	RID ml	Tr min			
27/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2			
28/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2			
29/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2			
30/04/16	3.34	0.80	0.40	2.67	48.36	45.69	496	7	1.34	48.36	47.02	248	4	0.67	48.36	47.69	124	2			
01/05/16	3.09	0.80	0.40	2.47	48.36	45.89	496	7	1.24	48.36	47.12	248	4	0.62	48.36	47.74	124	2			
02/05/16	3.09	0.80	0.40	2.47	48.36	45.89	458	7	1.24	48.36	47.12	229	3	0.62	48.36	47.74	115	2			
03/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	458	7	1.08	48.36	47.28	229	3	0.54	48.36	47.82	115	2			
04/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
05/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
06/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
07/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
08/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
09/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
10/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
11/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
12/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
13/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
14/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
15/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
16/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
17/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
18/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
19/05/16	3.09	0.70	0.40	2.16	48.36	46.20	401	6	1.08	48.36	47.28	201	3	0.54	48.36	47.82	100	2			
150				398.93					199.46					99.73							

Nota: Evapotranspiración de referencia (ETo); Coeficiente del cultivo (Kc); Profundidad radicular (Pr); Evapotranspiración del cultivo (ETc); Nivel de humedad inicial del suelo (NHI), Nivel de humedad final del suelo (NHF), Requerimiento de riego en el día (RID), Tiempo de riego (Tr).

Anexo 5. Datos de clima Estación Juli – 22.12.15-09.05.16

Fecha	Temperatura °C			Humedad Relativa %		Velocidad viento m/s		Radiación solar	Evap.	Precip
	Max	Med	Min	Max	Min	Max	Media	Hrs	mm	mm
22/12/15	16.0	11.1	6.2	92	64	4	2.0	5.9	5.6	0.0
23/12/15	13.2	10.1	7.0	81	64	6	2.9	4.9	4.9	0.8
24/12/15	15.4	10.6	5.8	86	55	6	2.9	7.6	5.7	3.4
25/12/15	14.8	11.1	7.4	77	66	6	2.9	6.1	7.3	19.1
26/12/15	12.8	8.4	4.0	92	71	4	2.0	4.5	4.3	1.1
27/12/15	15.2	11.0	6.8	76	60	6	2.9	4.9	4.5	0.3
28/12/15	15.6	10.3	5.0	68	53	6	2.9	9.6	4.6	0.0
29/12/15	15.2	10.2	5.2	67	37	6	2.9	9.9	6.4	0.0
30/12/15	15.8	11.0	6.2	69	45	4	2.0	7.7	5.2	0.0
31/12/15	16.0	10.4	4.8	68	47	6	2.9	11.2	6.6	0.0
01/01/16	15.6	9.9	4.2	43	35	6	2.6	9.7	7.2	0.0
02/01/16	15.0	11.0	7.0	52	48	8	3.5	10.0	5.9	0.3
03/01/16	15.6	10.3	5.0	60	42	6	2.6	8.4	6.4	0.0
04/01/16	17.0	10.8	4.6	55	47	6	2.6	11.2	6.0	0.0
05/01/16	16.0	10.5	5.0	68	51	6	2.6	8.3	6.0	0.0
06/01/16	16.6	11.7	6.8	60	50	6	2.6	10.1	7.0	9.8
07/01/16	14.4	9.9	5.4	68	50	6	2.6	5.0	5.2	0.6
08/01/16	15.2	9.9	4.6	56	50	6	2.6	9.2	5.4	0.0
09/01/16	16.2	11.6	7.0	62	51	6	2.6	9.3	6.1	6.3
10/01/16	14.8	9.9	5.0	70	55	4	1.7	7.3	5.9	13.2
11/01/16	15.0	10.6	6.2	67	56	4	1.7	7.6	4.2	9.7
12/01/16	13.8	10.2	6.6	73	64	4	1.7	3.0	4.2	0.6
13/01/16	15.0	11.6	8.2	60	60	4	1.7	4.8	4.0	2.0
14/01/16	15.2	9.6	4.0	54	37	2	0.9	8.7	4.5	0.0
15/01/16	16.2	11.1	6.0	57	48	6	2.6	10.5	5.4	0.0
16/01/16	15.6	12.3	9.0	65	49	4	1.7	8.9	6.2	16.7
17/01/16	14.8	10.9	7.0	70	56	6	2.6	5.3	5.4	1.5
18/01/16	14.2	10.6	7.0	75	62	4	1.7	5.0	4.2	20.0
19/01/16	14.0	10.4	6.8	69	62	4	1.7	4.5	4.1	2.9
20/01/16	15.6	11.8	8.0	69	63	4	1.7	7.2	5.2	3.4
21/01/16	15.0	11.4	7.8	63	54	4	1.7	10.6	5.7	0.0
22/01/16	16.0	11.0	6.0	60	50	6	2.6	10.3	6.1	0.0
23/01/16	17.0	11.1	5.2	63	44	6	2.6	10.7	5.5	0.9
24/01/16	16.4	11.3	6.2	61	48	8	3.5	9.5	6.7	0.0
25/01/16	17.6	11.8	6.0	52	57	4	1.7	8.7	5.0	0.0
26/01/16	15.0	9.9	4.8	59	53	4	1.7	6.3	4.7	0.0
27/01/16	16.0	10.6	5.2	61	56	6	2.6	10.7	5.9	0.2
28/01/16	16.4	12.2	8.0	62	47	4	1.7	8.0	5.4	0.0
29/01/16	16.2	12.0	7.8	65	45	6	2.6	9.3	6.2	0.2
30/01/16	17.0	12.1	7.2	54	45	8	3.5	10.7	5.7	0.0
31/01/16	14.0	11.1	8.2	73	36	8	3.5	3	7.3	26.5
01/02/16	13.4	9.7	6.0	70	59	4	1.8	6.4	5.0	12.8
02/02/16	13.2	9.6	6.0	73	64	6	2.7	3.8	5.0	3.3



Fecha	Temperatura °C			Humedad Relativa %		Velocidad viento m/s		Radiación solar	Evap.	Precip
	Max	Med	Min	Max	Min	Max	Media	Hrs	mm	mm
03/02/16	15.0	10.8	6.6	69	51	6	2.7	7.8	3.8	0.0
04/02/16	15.0	9.6	4.2	55	45	6	2.7	10.3	5.0	1.0
05/02/16	14.8	10.9	7.0	65	49	4	1.8	8.5	6.2	3.7
06/02/16	14.0	10.5	7.0	80	59	6	2.7	5.3	4.6	12.8
07/02/16	14.4	10.8	7.2	81	66	4	1.8	5.7	4.5	1.6
08/02/16	15.2	10.8	6.4	73	57	6	2.7	6.9	5.1	11.3
09/02/16	15.2	11.3	7.4	78	55	4	1.8	6.8	4.8	7.0
10/02/16	13.6	9.9	6.2	79	65	6	2.7	4.2	5.6	44.5
11/02/16	14.2	10.1	6.0	65	57	4	1.8	6.7	4.5	2.0
12/02/16	14.6	11.2	7.8	74	55	4	1.8	7.8	5.0	0.0
13/02/16	16.2	11.5	6.8	66	60	4	1.8	10.1	4.5	0.0
14/02/16	16.0	11.3	6.6	58	53	6	2.7	10.9	6.0	0.0
15/02/16	16.2	11.3	6.4	64	53	6	2.7	10.1	4.7	6.5
16/02/16	15.0	11.1	7.2	78	60	4	1.8	6.5	3.5	2.7
17/02/16	14.8	11.7	8.6	75	62	6	2.7	5.7	4.0	6.6
18/02/16	15.0	11.4	7.8	75	60	4	1.8	7.1	6.3	21.7
19/02/16	14.8	10.8	6.8	65	53	2	0.9	5.5	5.6	7.5
20/02/16	14.0	10.5	7.0	73	58	2	0.9	4.7	4.8	15.6
21/02/16	15.0	11.1	7.2	75	60	6	2.7	8.8	5.4	8.2
22/02/16	14.0	10.6	7.2	74	62	4	1.8	5.2	6.4	27.4
23/02/16	14.0	10.5	7.0	72	69	4	1.8	5.7	4.0	9.6
24/02/16	14.2	10.9	7.6	65	60	6	2.7	7.3	3.4	19.4
25/02/16	13.8	10.2	6.6	80	62	4	1.8	5.5	4.4	22.8
26/02/16	12.8	9.9	7.0	77	75	2	0.9	1.8	3.1	2.7
27/02/16	14.2	9.6	5.0	65	52	4	1.8	9.2	4.0	0.8
28/02/16	16.0	11.5	7.0	74	50	6	2.7	7.9	3.9	0.0
29/02/16	16.2	10.8	5.4	70	56	4	1.8	10.4	4.3	0.3
01/03/16	16.0	11.5	7.0	65	59	4	1.7	10.3	4.9	1.2
02/03/16	15.0	11.3	7.6	70	58	4	1.7	7.5	4.6	0.0
03/03/16	16.6	11.3	6.0	57	55	4	1.7	7.6	5.3	0.0
04/03/16	16.4	11.7	7.0	56	40	8	3.5	8.1	4.3	0.0
05/03/16	17.0	11.5	6.0	67	51	6	2.6	9.8	4.5	0.0
06/03/16	15.6	10.6	5.6	60	46	4	1.7	10.0	5.8	0.4
07/03/16	15.8	11.7	7.6	70	53	4	1.7	6.9	4.1	0.3
08/03/16	16.0	12.5	9.0	74	56	4	1.7	7.2	3.7	0.2
09/03/16	16.0	11.8	7.6	60	57	6	2.6	8.7	4.6	0.0
10/03/16	14.0	10.0	6.0	68	61	4	1.7	1.1	3.4	0.0
11/03/16	16.2	11.1	6.0	63	55	4	1.7	9.9	4.8	0.1
12/03/16	15.0	11.4	7.8	68	44	6	2.6	6.6	5.8	1.7
13/03/16	15.2	11.1	7.0	80	57	4	1.7	7.2	5.4	2.2
14/03/16	15.4	10.8	6.2	64	59	4	1.7	9.9	4.6	0.0
15/03/16	15.2	9.8	4.4	70	41	4	1.7	10.0	4.3	0.0
16/03/16	15.0	9.7	4.4	72	51	6	2.6	10.1	5.2	0.0
17/03/16	14.8	10.3	5.8	63	52	4	1.7	8.9	5.7	0.0
18/03/16	15.4	10.7	6.0	70	40	4	1.7	8.9	4.9	0.0



Fecha	Temperatura °C			Humedad Relativa %		Velocidad viento m/s		Radiación solar	Evap.	Precip
	Max	Med	Min	Max	Min	Max	Media	Hrs	mm	mm
19/03/16	14.2	9.6	5.0	68	58	4	1.7	7.9	4.8	0.0
20/03/16	15.6	10.4	5.2	70	58	6	2.6	8.0	4.5	0.0
21/03/16	16.4	11.6	6.8	67	55	6	2.6	7.1	3.5	0.0
22/03/16	17.0	11.6	6.2	75	52	4	1.7	6.8	3.9	0.0
23/03/16	16.4	11.5	6.6	65	56	6	2.6	7.9	4.9	0.0
24/03/16	16.6	10.3	4.0	42	35	6	2.6	10.2	5.0	0.0
25/03/16	17.0	10.9	4.8	70	51	6	2.6	9.8	5.4	0.0
26/03/16	16.4	10.9	5.4	70	39	4	1.7	8.2	4.8	0.0
27/03/16	16.8	10.7	4.6	60	34	6	2.6	9.2	5.6	0.0
28/03/16	16.8	11.6	6.4	54	45	4	1.7	8.5	5.1	0.6
29/03/16	16.4	10.6	4.8	55	39	4	1.7	8.5	5.3	0.0
30/03/16	15.6	10.4	5.2	70	50	6	2.6	7.9	3.8	0.0
31/03/16	16.6	10.4	4.2	79	50	6	2.6	9.8	5.0	0.0
01/04/16	16.0	10.5	5.0	70	48	6	2.6	10.1	4.9	0.0
02/04/16	16.4	10.2	4.0	62	45	4	1.7	9.2	5.1	0.0
03/04/16	16.0	11.2	6.4	60	48	4	1.7	9.3	4.6	0.0
04/04/16	15.2	10.1	5.0	72	54	4	1.7	7.7	4.6	0.8
05/04/16	15.0	10.2	5.4	78	55	6	2.6	7.1	3.3	12.3
06/04/16	15.2	11.1	7.0	77	55	4	1.7	7.8	4.3	0.3
07/04/16	14.4	10.2	6.0	80	53	4	1.7	5.9	3.9	5.7
08/04/16	14.4	9.8	5.2	71	58	6	2.6	6.7	4.5	8.6
09/04/16	14.0	9.3	4.6	73	57	2	0.9	7.1	3.9	1.4
10/04/16	15.0	10.3	5.6	62	58	4	1.7	8.8	4.1	3.7
11/04/16	13.4	9.7	6.0	77	55	6	2.6	4.6	3.0	2.0
12/04/16	13.2	9.4	5.6	69	59	4	1.7	5.1	4.8	2.4
13/04/16	15.0	9.0	3.0	60	43	2	0.9	10.1	4.2	0.0
14/04/16	15.8	10.2	4.6	60	45	4	1.7	10.0	3.0	0.0
15/04/16	14.0	9.0	4.0	63	53	4	1.7	8.0	4.7	0.0
16/04/16	15.4	10.0	4.6	65	50	2	0.9	9.0	3.8	19.1
17/04/16	15.0	10.1	5.2	73	56	6	2.6	6.6	4.4	7.3
18/04/16	14.4	10.0	5.6	78	55	6	2.6	8.5	4.0	6.9
19/04/16	11.4	8.5	5.6	77	65	4	1.7	1.7	3.6	10.4
20/04/16	13.0	7.6	2.2	73	54	6	2.6	4.3	3.2	0.0
21/04/16	15.2	10.1	5.0	55	50	4	1.7	6.7	2.8	0.0
22/04/16	14.8	10.4	6.0	63	45	6	2.6	5.8	3.4	0.0
23/04/16	15.0	9.4	3.8	60	38	4	1.7	10.1	4.4	0.0
24/04/16	14.8	8.3	1.8	45	28	4	1.7	10.1	4.6	0.0
25/04/16	13.4	6.9	0.4	50	35	2	0.9	9.8	5.0	0.0
26/04/16	16.0	8.0	0.0	43	31	4	1.7	10.1	5.2	0.0
27/04/16	15.8	8.3	0.8	61	36	8	3.5	10.1	4.4	0.0
28/04/16	15.0	8.4	1.8	50	30	4	1.7	10.1	4.0	0.0
29/04/16	16.2	9.1	2.0	53	36	2	0.9	10.1	5.7	0.0
30/04/16	16.0	10.0	4.0	60	40	6	2.6	10.2	3.8	0.0
01/05/16	15.2	9.6	4.0	61	28	4	1.7	10.1	4.4	0.0
02/05/16	14.8	9.7	4.6	50	35	5	2.2	9.0	5.2	0.0

Fecha	Temperatura °C			Humedad Relativa %		Velocidad viento m/s		Radiación solar	Evap.	Precip
	Max	Med	Min	Max	Min	Max	Media	Hrs	mm	mm
03/05/16	15.0	10.1	5.2	55	36	6	2.6	10.1	4.6	0.0
04/05/16	13.2	9.4	5.6	63	50	3	1.3	8.9	5.8	0.0
05/05/16	14.6	10.1	5.6	60	30	2	0.9	10.1	4.2	0.0
06/05/16	15.4	8.8	2.2	45	28	8	3.5	9.2	5.7	0.0
07/05/16	13.0	9.0	5.0	43	31	6	2.6	10.0	4.8	0.0
08/05/16	15.0	8.4	1.8	61	28	4	1.7	10.0	3.9	0.0
09/05/16	14.1	8.1	2.0	50	35	2	0.9	9.0	4.6	0.0
Promedio	15.2	10.4	5.7	66	51	5	2	7.9	4.9	3.4
Máx	17.6	12.5	9.0	92	75	8	4	11.2	7.3	44.5
Mín	11.4	6.9	0.0	42	28	2	1	1.1	2.8	0.0
Total									681.1	478.9
Días de lluvia										67

Nota: Máxima (Max); Media (Med); Mínimo (Min); Evaporación (Evap); Precipitación medido en la Parcela experimental (Precip)



Anexo 6. Evapotranspiración de referencia – 22.12.15-09.05.16

Día	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
1		5.40	3.60	4.40	4.40	4.20
2		5.20	3.20	3.90	4.20	4.20
3		4.90	4.40	4.20	4.20	4.50
4		5.30	4.90	5.30	3.60	3.30
5		4.50	4.40	4.70	3.60	3.50
6		5.10	3.50	4.60	3.60	5.10
7		3.90	3.40	4.00	3.20	4.50
8		4.70	4.00	4.00	3.50	4.00
9		4.90	3.90	4.40	3.10	3.20
10		4.00	3.10	2.80	3.70	
11		4.10	3.80	4.40	3.10	
12		3.10	4.00	4.30	3.00	
13		4.00	4.50	3.70	3.70	
14		4.40	5.00	4.20	4.10	
15		5.10	4.80	4.40	3.50	
16		4.70	3.70	4.30	3.50	
17		3.90	3.70	4.00	3.50	
18		3.40	3.80	4.30	3.50	
19		3.40	3.50	3.70	2.20	
20		4.00	3.20	3.90	3.00	
21		4.70	4.10	4.10	3.60	
22	3.40	5.00	3.40	3.80	3.80	
23	3.30	5.20	3.30	4.20	4.10	
24	4.00	5.10	4.00	5.30	4.30	
25	3.60	4.60	3.30	4.40	3.40	
26	2.70	4.00	2.40	4.30	4.40	
27	3.60	4.70	4.20	5.00	4.70	
28	4.60	4.60	4.30	4.40	4.20	
29	5.10	5.00	4.40	4.40	3.60	
30	4.40	5.60		4.10	4.40	
31	5.00	4.30		4.20		

Fuente: ETo Calculator (2017)

Anexo 7. Láminas de riego aplicada

FECHA	PP mm.	T - 1: 100% ETc		T - 2: 50% ETc		T - 3: 25% ETc	
		Requerido (mm)	Aplicado (mm)	Requerido (mm)	Aplicado (mm)	Requerido (mm)	Aplicado (mm)
22/12/15	0.0	0.00		0.00		0.00	
23/12/15	0.8	2.67	2.7	1.34	1.3	0.67	0.7
24/12/15	3.4	2.67	1.9	1.34	1.3	0.67	0.7
25/12/15	19.1	2.67	0.0	1.34	1.3	0.67	0.7
26/12/15	1.1	2.67	0.0	1.34	1.3	0.67	0.7
27/12/15	0.3	3.66	0.0	2.32	2.3	1.66	1.7
28/12/15	0.0	3.66	3.4	2.32	2.3	1.66	1.7
29/12/15	0.0	3.66	3.7	2.32	2.3	1.66	1.7
30/12/15	0.0	3.66	3.7	2.32	2.3	1.66	1.7
31/12/15	0.0	3.66	3.7	2.32	2.3	1.66	1.7
01/01/16	0.0	3.66	3.7	2.32	2.3	1.66	1.7
02/01/16	0.3	3.38	3.4	2.18	2.2	1.59	1.6
03/01/16	0.0	3.38	3.1	2.18	2.2	1.59	1.6
04/01/16	0.0	3.38	3.4	2.18	2.2	1.59	1.6
05/01/16	0.0	3.38	3.4	2.18	2.2	1.59	1.6
06/01/16	9.8	3.38	3.4	2.18	2.2	1.59	1.6
07/01/16	0.6	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
08/01/16	0.0	3.38	2.8	2.18	2.2	1.59	1.6
09/01/16	6.3	3.38	3.4	2.18	2.2	1.59	1.6
10/01/16	13.2	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
11/01/16	9.7	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
12/01/16	0.6	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
13/01/16	2.0	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
14/01/16	0.0	3.38	1.4	2.18	2.2	1.59	1.6
15/01/16	0.0	3.38	3.4	2.18	2.2	1.59	1.6
16/01/16	16.7	3.38	3.4	2.18	2.2	1.59	1.6
17/01/16	1.5	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
18/01/16	20.0	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
19/01/16	2.9	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
20/01/16	3.4	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
21/01/16	0.0	3.38	0.0	2.18	2.2	1.59	1.6
22/01/16	0.0	3.38	3.4	2.18	2.2	1.59	1.6
23/01/16	0.9	3.93	3.9	2.46	2.5	1.72	1.7
24/01/16	0.0	3.93	3.0	2.46	2.5	1.72	1.7
25/01/16	0.0	3.93	3.9	2.46	2.5	1.72	1.7
26/01/16	0.0	3.93	3.9	2.46	2.5	1.72	1.7
27/01/16	0.2	3.93	3.9	2.46	2.5	1.72	1.7
28/01/16	0.0	3.93	3.7	2.46	2.5	1.72	1.7
29/01/16	0.2	3.93	3.9	2.46	2.5	1.72	1.7
30/01/16	0.0	3.93	3.7	2.46	2.5	1.72	1.7
31/01/16	26.5	3.93	3.9	2.46	2.5	1.72	1.7
01/02/16	12.8	3.93	0.0	2.46	2.5	1.72	1.7

FECHA	PP mm.	T - 1: 100% ETc		T - 2: 50% ETc		T - 3: 25% ETc	
		Requerido (mm)	Aplicado (mm)	Requerido (mm)	Aplicado (mm)	Requerido (mm)	Aplicado (mm)
02/02/16	3.3	3.90	0.0	2.44	2.4	1.72	1.7
03/02/16	0.0	4.58	0.0	2.78	2.8	1.89	1.9
04/02/16	1.0	4.58	4.6	2.78	2.8	1.89	1.9
05/02/16	3.7	4.58	3.6	2.78	2.8	1.89	1.9
06/02/16	12.8	4.58	0.9	2.78	2.8	1.89	1.9
07/02/16	1.6	4.58	0.0	2.78	2.8	1.89	1.9
08/02/16	11.3	4.58	0.0	2.78	2.8	1.89	1.9
09/02/16	7.0	4.58	0.0	2.78	2.8	1.89	1.9
10/02/16	44.5	4.58	0.0	2.78	2.8	1.89	1.9
11/02/16	2.0	4.58	0.0	2.78	2.8	1.89	1.9
12/02/16	0.0	4.58	0.0	2.78	2.8	1.89	1.9
13/02/16	0.0	3.59	3.6	1.80	1.8	0.90	0.9
14/02/16	0.0	4.23	4.2	2.12	2.1	1.06	1.1
15/02/16	6.5	4.23	4.2	2.12	2.1	1.06	1.1
16/02/16	2.7	4.23	0.0	2.12	2.1	1.06	1.1
17/02/16	6.6	4.23	1.5	2.12	2.1	1.06	1.1
18/02/16	21.7	4.23	0.0	2.12	2.1	1.06	1.1
19/02/16	7.5	4.23	0.0	2.12	2.1	1.06	1.1
20/02/16	15.6	4.23	0.0	2.12	2.1	1.06	1.1
21/02/16	8.2	4.23	0.0	2.12	2.1	1.06	1.1
22/02/16	27.4	4.23	0.0	2.12	2.1	1.06	1.1
23/02/16	9.6	4.55	0.0	2.27	2.3	1.14	1.1
24/02/16	19.4	4.55	0.0	2.27	2.3	1.14	1.1
25/02/16	22.8	4.55	0.0	2.27	2.3	1.14	1.1
26/02/16	2.7	4.55	0.0	2.27	2.3	1.14	1.1
27/02/16	0.8	4.55	0.0	2.27	2.3	1.14	1.1
28/02/16	0.0	4.55	3.7	2.27	2.3	1.14	1.1
29/02/16	0.3	4.55	4.5	2.27	2.3	1.14	1.1
01/03/16	1.2	4.46	4.2	2.23	2.2	1.11	1.1
02/03/16	0.0	4.30	3.1	2.15	2.2	1.08	1.1
03/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
04/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
05/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
06/03/16	0.4	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
07/03/16	0.3	4.30	3.9	2.15	2.2	1.08	1.1
08/03/16	0.2	4.30	4.0	2.15	2.2	1.08	1.1
09/03/16	0.0	4.30	4.1	2.15	2.2	1.08	1.1
10/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
11/03/16	0.1	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
12/03/16	1.7	4.30	4.2	2.15	2.2	1.08	1.1
13/03/16	2.2	4.30	2.6	2.15	2.2	1.08	1.1
14/03/16	0.0	4.30	2.1	2.15	2.2	1.08	1.1
15/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
16/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
17/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1

FECHA	PP mm.	T - 1: 100% ETc		T - 2: 50% ETc		T - 3: 25% ETc	
		Requerido (mm)	Aplicado (mm)	Requerido (mm)	Aplicado (mm)	Requerido (mm)	Aplicado (mm)
18/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
19/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
20/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
21/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
22/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
23/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
24/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
25/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
26/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
27/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
28/03/16	0.6	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
29/03/16	0.0	4.30	3.7	2.15	2.2	1.08	1.1
30/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
31/03/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
01/04/16	0.0	4.30	4.3	2.15	2.2	1.08	1.1
02/04/16	0.0	4.28	4.3	2.14	2.1	1.07	1.1
03/04/16	0.0	4.28	4.3	2.14	2.1	1.07	1.1
04/04/16	0.8	4.28	4.3	2.14	2.1	1.07	1.1
05/04/16	12.3	4.28	3.5	2.14	2.1	1.07	1.1
06/04/16	0.3	4.28	0.0	2.14	2.1	1.07	1.1
07/04/16	5.7	4.28	0.0	2.14	2.1	1.07	1.1
08/04/16	8.6	4.28	0.0	2.14	2.1	1.07	1.1
09/04/16	1.4	3.49	0.0	1.75	1.7	0.87	0.9
10/04/16	3.7	3.49	2.1	1.75	1.7	0.87	0.9
11/04/16	2.0	3.49	0.0	1.75	1.7	0.87	0.9
12/04/16	2.4	3.49	1.5	1.75	1.7	0.87	0.9
13/04/16	0.0	3.49	1.1	1.75	1.7	0.87	0.9
14/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
15/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
16/04/16	19.1	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
17/04/16	7.3	3.49	0.0	1.75	1.7	0.87	0.9
18/04/16	6.9	3.49	0.0	1.75	1.7	0.87	0.9
19/04/16	10.4	3.49	0.0	1.75	1.7	0.87	0.9
20/04/16	0.0	3.49	0.0	1.75	1.7	0.87	0.9
21/04/16	0.0	3.49	0.0	1.75	1.7	0.87	0.9
22/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
23/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
24/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
25/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
26/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
27/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
28/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
29/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
30/04/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9
01/05/16	0.0	3.49	3.5	1.75	1.7	0.87	0.9

FECHA	PP mm.	T - 1: 100% ETc		T - 2: 50% ETc		T - 3: 25% ETc	
		Requerido (mm)	Aplicado (mm)	Requerido (mm)	Aplicado (mm)	Requerido (mm)	Aplicado (mm)
02/05/16	0.0	3.23	3.2	1.62	1.6	0.81	0.8
03/05/16	0.0	3.23	3.2	1.62	1.6	0.81	0.8
04/05/16	0.0	2.83	2.8	1.41	1.4	0.71	0.7
05/05/16	0.0	2.83	2.8	1.41	1.4	0.71	0.7
06/05/16	0.0	2.83	2.8	1.41	1.4	0.71	0.7
07/05/16	0.0	2.83	2.8	1.41	1.4	0.71	0.7
08/05/16	0.0	2.83	2.8	1.41	1.4	0.71	0.7
09/05/16	0.0	2.83	2.8	1.41	1.4	0.71	0.7
Total	479	538	343	293	293	170	170
Max			4.58		2.78		1.89
Min			0.00		1.34		0.67
Promedio			2.46		2.11		1.22

Nota: PP: Precipitación pluvias diaria



Anexo 8. Balance hídrico del cultivo – Tratamiento T-1

Intervalo de 5 días	ETo mm/día	ETc mm/día	Agua Lsim (mm)		AL-ETc mm	Nac mm	ARM mm	ALT mm	DEF mm	Exedencias (mm)		ETr mm	ETr mm/día	Kc	
			PP	Riego						Total	Total				Perc
0	0.00	0.00										0.00		0.52	
1	17.00	8.84	24.40	4.60	29.00	20.16	0.00	12.09	0.00	0.00	20.16	4.70	15.47	0.52	
2	22.70	11.80	0.30	14.38	14.68	2.87	0.00	14.51	0.00	0.00	2.88	2.88	0.00	0.52	
3	25.30	13.16	0.30	16.92	17.22	4.06	0.00	18.14	0.75	0.00	3.31	3.31	0.00	0.52	
4	22.60	11.75	29.90	9.60	39.50	27.75	0.00	21.76	0.31	0.00	27.43	5.25	22.18	0.52	
5	20.70	10.76	12.30	4.78	17.08	6.32	0.00	25.39	0.00	0.00	6.32	6.15	0.17	0.52	
6	19.40	10.09	44.50	3.40	47.90	37.81	0.00	29.02	0.00	0.00	37.81	7.06	30.75	0.52	
7	24.60	15.18	0.90	14.21	15.11	-0.07	33.78	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	
8	23.90	15.30	0.40	19.13	19.53	4.24	0.00	37.48	3.70	0.00	0.53	0.53	0.00	0.64	
9	20.40	14.93	43.60	8.50	52.10	37.17	0.00	41.11	3.10	0.00	34.07	9.77	24.30	0.73	
10	19.20	15.17	36.40	4.20	40.60	25.43	0.00	44.73	0.00	0.00	25.43	10.68	14.75	0.79	
11	20.40	17.45	46.50	10.42	56.92	39.48	0.00	48.36	0.00	0.00	39.47	11.47	28.00	0.86	
12	19.50	18.14	45.00	5.70	50.70	32.57	0.00	48.36	0.00	0.00	32.56	11.58	20.98	0.93	
13	18.00	17.25	80.20	0.00	80.20	62.95	0.00	48.36	0.00	0.00	62.95	11.58	51.37	0.96	
14	18.60	18.60	26.60	10.00	36.60	18.00	0.00	48.36	0.00	0.00	18.00	11.58	6.42	1.00	
15	22.50	22.05	1.20	20.21	21.41	-0.64	47.72	-0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	
16	19.80	19.40	0.90	20.60	21.50	2.10	48.36	0.64	0.00	0.00	1.46	1.46	0.00	0.98	
17	21.00	20.58	4.00	17.50	21.50	0.92	48.36	0.00	0.00	0.00	0.92	0.92	0.00	0.98	
18	20.20	19.80	0.00	21.52	21.52	1.73	48.36	0.00	0.00	0.00	1.72	1.72	0.00	0.98	
19	21.80	21.36	0.00	21.52	21.52	0.16	48.36	0.00	0.00	0.00	0.16	0.16	0.00	0.98	
20	22.20	21.76	0.60	20.91	21.51	-0.24	48.11	-0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	
21	20.60	19.68	0.80	20.64	21.44	1.76	48.36	0.25	0.00	0.00	1.51	1.51	0.00	0.96	
22	17.00	14.28	28.30	4.55	32.85	18.57	0.00	48.36	0.25	0.00	18.32	11.58	6.74	0.84	
23	17.60	14.78	8.10	8.19	16.29	1.51	48.36	0.00	0.00	0.00	1.51	1.51	0.00	0.84	
24	16.20	13.61	43.70	6.99	50.69	37.08	0.00	48.36	0.00	0.00	37.08	11.58	25.50	0.84	
25	18.80	15.79	0.00	13.97	13.97	-1.82	46.54	-1.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	
26	20.30	15.02	0.00	17.46	17.46	2.44	48.36	0.00	0.00	0.00	0.62	0.62	0.00	0.74	
27	20.60	15.24	0.00	16.28	16.28	1.03	48.36	0.00	0.00	0.00	1.04	1.04	0.00	0.74	
28	20.30	14.21	0.00	14.14	14.14	-0.07	48.29	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	
Total	571	446	479	350	829	383	1146	6	0	0	375	129	247	446	3.19

Anexo 9. Balance hídrico del cultivo – Tratamientos T-2 y T-3

ETc mm/día	Tratamiento T - 2: 50% ETc						Tratamiento T - 3: 25% ETc								
	Agua Lisim (mm) PP	Riego	Total	AL- ETc	Nac mm	ARM mm	ETr mm	Agua Lisim (mm) PP	Riego	Total	AL-ETc mm	Nac mm	ARM mm	ETr mm	ETr mm/día
8.84	0.00	5.34	5.34	-3.50	-3.50	9.05	8.38	0.00	2.67	2.67	-6.17	-6.17	7.26	7.50	1.50
11.80	0.00	11.62	11.62	-0.18	-3.68	11.26	9.41	0.00	8.28	8.28	-3.53	-9.70	7.44	8.10	1.62
13.16	0.00	11.06	11.06	-2.10	-5.78	13.19	9.13	0.00	8.00	8.00	-5.16	-14.85	7.99	7.45	1.49
11.75	0.00	10.92	10.92	-0.83	-6.61	16.06	8.05	0.00	7.93	7.93	-3.82	-18.68	9.22	6.70	1.34
10.76	0.00	10.92	10.92	0.16	-6.45	19.69	7.29	0.00	7.93	7.93	-2.83	-21.51	10.88	6.27	1.25
10.09	0.00	10.92	10.92	0.83	-5.62	23.91	6.70	0.00	7.93	7.93	-2.16	-23.67	12.83	5.98	1.20
15.18	0.00	11.75	11.75	-3.43	-9.05	25.91	9.75	0.00	8.34	8.34	-6.84	-30.50	13.75	7.42	1.48
15.30	0.00	12.30	12.30	-3.00	-12.05	27.18	11.03	0.00	8.62	8.62	-6.68	-37.18	13.90	8.47	1.69
14.93	0.00	12.93	12.93	-2.00	-14.05	29.21	10.90	0.00	8.94	8.94	-6.00	-43.18	14.38	8.46	1.69
15.17	0.00	13.92	13.92	-1.25	-15.30	31.78	11.35	0.00	9.43	9.43	-5.74	-48.91	14.98	8.83	1.77
17.45	0.00	12.27	12.27	-5.18	-20.48	31.67	12.38	0.00	7.61	7.61	-9.83	-58.74	14.51	8.08	1.62
18.14	0.00	10.58	10.58	-7.56	-28.04	27.08	15.17	0.00	5.29	5.29	-12.85	-71.59	14.51	5.29	1.06
17.25	0.00	10.89	10.89	-6.37	-34.41	23.75	14.22	0.00	5.29	5.29	-11.96	-83.55	14.51	5.29	1.06
18.60	0.00	11.37	11.37	-7.23	-41.64	20.44	14.68	0.00	5.29	5.29	-13.31	-96.87	14.51	5.29	1.06
22.05	0.00	10.84	10.84	-11.20	-52.84	16.22	15.06	0.00	5.29	5.29	-16.76	-113.63	14.51	5.29	1.06
19.40	0.00	10.76	10.76	-8.64	-61.48	14.51	12.47	0.00	5.29	5.29	-14.12	-127.74	14.51	5.29	1.06
20.58	0.00	10.76	10.76	-9.82	-71.30	14.51	10.76	0.00	5.29	5.29	-15.29	-143.03	14.51	5.29	1.06
19.80	0.00	10.76	10.76	-9.04	-80.34	14.51	10.76	0.00	5.29	5.29	-14.51	-157.54	14.51	5.29	1.06
21.36	0.00	10.76	10.76	-10.60	-90.94	14.51	10.76	0.00	5.29	5.29	-16.08	-173.62	14.51	5.29	1.06
21.76	0.00	10.76	10.76	-11.00	-101.94	14.51	10.76	0.00	5.29	5.29	-16.47	-190.09	14.51	5.29	1.06
19.68	0.00	10.72	10.72	-8.96	-110.90	14.51	10.72	0.00	5.29	5.29	-14.40	-204.48	14.51	5.29	1.06
14.28	0.00	10.30	10.30	-3.98	-114.88	14.51	10.30	0.00	5.15	5.15	-9.13	-213.61	14.51	5.15	1.03
14.78	0.00	8.73	8.73	-6.05	-120.93	14.51	8.73	0.00	4.37	4.37	-10.42	-224.03	14.51	4.37	0.87
13.61	0.00	8.73	8.73	-4.88	-125.81	14.51	8.73	0.00	4.37	4.37	-9.24	-233.27	14.51	4.37	0.87
15.79	0.00	8.73	8.73	-7.06	-132.87	14.51	8.73	0.00	4.37	4.37	-11.43	-244.70	14.51	4.37	0.87
15.79	0.00	8.73	8.73	-7.06	-139.93	14.51	8.73	0.00	4.37	4.37	-10.66	-255.35	14.51	4.37	0.87
15.02	0.00	8.14	8.14	-6.88	-146.81	14.51	8.14	0.00	4.07	4.07	-11.18	-266.53	14.51	4.07	0.81
15.24	0.00	7.07	7.07	-8.17	-154.98	8.85	7.07	0.00	3.53	3.53	-10.68	-277.20	14.51	3.53	0.71
448	0	293					290		169					166	1.19

Anexo 10. Respuesta del cultivo por planta - dosis de riego

Lisímetro 5					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	1.25	0.12	0.37	23.33	9.69
P 02	1.16	0.14	0.41	29.99	11.84
P 03	1.16	0.14	0.39	25.79	11.90
P 04	1.16	0.15	0.34	33.74	13.64
P 05	1.11	0.12	0.40	17.98	8.99
P 06	1.17	0.14	0.38	19.10	9.45
P 07	1.11	0.12	0.41	25.06	9.90
Media	1.16	0.13	0.39	25.00	10.77
Lisímetro 6					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	1.20	0.16	0.42	32.03	13.50
P 02	1.26	0.11	0.41	19.82	9.70
P 03	1.10	0.11	0.28	20.27	9.20
P 04	1.12	0.13	0.36	21.59	11.10
P 05	1.15	0.13	0.41	27.25	10.11
P 06	1.19	0.14	0.37	32.52	13.00
P 07	1.15	0.13	0.37	27.25	10.11
	1.17	0.13	0.37	25.82	10.96
Lisímetro 7					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	1.22	0.13	0.40	29.31	13.00
P 02	1.17	0.13	0.39	20.22	10.00
P 03	1.13	0.13	0.35	24.66	12.90
P 04	1.27	0.11	0.32	20.93	10.10
P 05	1.21	0.15	0.43	35.16	13.40
P 06	1.22	0.13	0.42	28.65	12.40
P 07	1.21	0.11	0.43	23.73	11.20
	1.20	0.13	0.39	26.09	11.86
Lisímetro 8					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	1.26	0.13	0.48	19.66	10.90
P 02	1.19	0.14	0.39	23.24	12.80
P 04	1.24	0.11	0.40	19.39	9.80
P 05	1.25	0.13	0.50	19.35	10.00
P 06	1.13	0.11	0.42	26.95	12.00
P 07	1.12	0.11	0.30	19.76	9.70
P 08	1.13	0.11	0.31	20.10	10.00
	1.19	0.12	0.40	21.21	10.74

Lisímetro 9					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	0.77	0.09	0.22	13.50	5.00
P 03	0.74	0.09	0.26	14.20	6.00
P 04	0.75	0.10	0.26	19.45	6.90
P 05	0.81	0.10	0.23	19.70	7.10
P 06	0.74	0.10	0.22	14.99	5.10
P 07	0.84	0.10	0.25	19.03	5.10
P 08	0.85	0.09	0.28	12.64	5.20
	0.79	0.10	0.25	16.22	5.77
Lisímetro 10					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	0.80	0.09	0.26	14.36	4.60
P 02	0.78	0.09	0.23	16.80	6.80
P 03	0.78	0.09	0.24	15.41	5.80
P 04	0.91	0.13	0.26	24.41	8.00
P 05	0.83	0.09	0.27	13.65	5.70
P 06	0.85	0.09	0.26	20.61	5.60
P 07	0.75	0.10	0.26	9.58	4.80
	0.81	0.10	0.25	16.40	5.90
Lisímetro 11					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	0.75	0.09	0.22	16.93	5.10
P 02	0.82	0.12	0.26	25.57	7.40
P 03	0.76	0.10	0.24	17.12	5.10
P 04	0.85	0.10	0.27	19.02	6.70
P 05	0.88	0.10	0.28	15.19	4.60
P 06	0.88	0.12	0.29	23.55	7.50
P 06	0.75	0.10	0.24	17.12	5.10
	0.81	0.10	0.26	19.21	5.93
Lisímetro 12					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	0.88	0.12	0.24	25.29	8.20
P 02	0.84	0.11	0.25	18.60	6.10
P 03	0.75	0.09	0.19	18.50	6.40
P 04	0.79	0.09	0.24	14.68	4.50
P 05	0.84	0.09	0.19	16.15	5.20
P 07	0.78	0.09	0.15	10.86	5.40
P 08	0.84	0.11	0.22	14.06	5.60
	0.82	0.10	0.21	16.88	5.91

Lisímetro 13					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	0.59	0.11	0.26	12.75	3.10
P 03	0.59	0.10	0.28	18.78	3.40
P 04	0.59	0.10	0.21	9.12	2.40
P 05	0.57	0.10	0.25	11.10	3.00
P 06	0.53	0.10	0.25	12.16	3.50
P 07	0.55	0.09	0.21	12.20	3.30
P 08	0.53	0.09	0.21	9.34	2.80
	0.56	0.10	0.24	12.21	3.07
Lisímetro 14					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	0.64	0.09	0.29	23.93	3.30
P 02	0.61	0.09	0.21	12.85	2.40
P 03	0.62	0.08	0.25	15.66	3.60
P 04	0.56	0.09	0.24	12.10	3.30
P 05	0.53	0.09	0.23	11.83	2.30
P 06	0.55	0.09	0.23	15.66	3.30
P 07	0.54	0.10	0.23	14.66	3.10
	0.58	0.09	0.24	15.24	3.04
Lisímetro 15					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	0.55	0.0945	0.26	22.58	2.50
P 02	0.65	0.108	0.27	23.29	3.50
P 03	0.62	0.0945	0.27	17.31	3.50
P 04	0.5	0.081	0.25	12.14	3.00
P 05	0.5	0.0945	0.2	9.86	2.60
P 06	0.56	0.0945	0.21	15.9	3.30
P 04	0.5	0.081	0.25	12.14	3.00
	0.55	0.09	0.24	16.17	3.06
Lisímetro 16					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	0.57	0.08	0.27	16.71	3.20
P 02	0.62	0.08	0.23	15.76	3.20
P 03	0.60	0.07	0.19	14.14	3.30
P 04	0.62	0.07	0.13	11.90	2.30
P 05	0.50	0.07	0.18	12.03	2.90
P 06	0.43	0.07	0.19	11.70	3.10
P 03	0.60	0.07	0.19	14.14	3.30
	0.56	0.07	0.20	13.77	3.04

Anexo 11. Respuesta del cultivo por lisímetro - dosis de riego

Tratamiento T - 1: 100% ETc						
Lisímetro	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)	Rendimiento (Kg/ha)
L - 5	1.16	0.13	0.39	25.00	10.77	5316
L - 6	1.17	0.13	0.37	25.82	10.96	5408
L - 7	1.20	0.13	0.39	26.09	11.86	5851
L - 8	1.19	0.12	0.40	21.21	10.74	5301
Media	1.18	0.13	0.39	24.53	11.08	5469
Tratamiento T - 2: 50% ETc						
Lisímetro	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)	Rendimiento (Kg/ha)
L - 9	0.79	0.10	0.25	16.22	5.77	2848
L - 10	0.81	0.10	0.25	16.40	5.90	2911
L - 11	0.81	0.10	0.26	19.21	5.93	2925
L - 12	0.82	0.10	0.21	16.88	5.91	2918
Media	0.81	0.10	0.24	17.18	5.88	2901
Tratamiento T - 3: 25% ETc						
Lisímetro	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)	Rendimiento (Kg/ha)
L - 13	0.56	0.10	0.24	12.21	4.01	1516
L - 14	0.58	0.09	0.24	15.24	4.09	1501
L - 15	0.55	0.09	0.24	16.17	3.99	1508
L - 16	0.56	0.07	0.20	13.77	4.03	1501
Media	0.57	0.09	0.23	14.35	4.03	1706

Anexo 12. Parámetros del cultivo de la parcela adyacente por planta

Cultivo adyacente					
Planta	Altura m.	Diámetro Tallo (m)	Long. Panoja (m)	Peso Biomasa (gr)	Peso Grano (gr.)
P 01	1.12	0.09	0.40	20.38	10.15
P 02	1.23	0.10	0.56	39.44	12.15
P 03	1.12	0.09	0.47	31.96	12.00
P 04	1.07	0.08	0.39	18.01	8.50
P 05	1.05	0.09	0.40	21.46	10.50
P 06	1.37	0.10	0.56	40.62	13.20
P 07	1.42	0.12	0.57	52.79	13.20
Promedio	1.20	0.10	0.48	32.09	11.39
Desv Est	0.14	0.01	0.08	11.97	1.61
CV	11.4%	12.3%	16.2%	37.3%	14.2%



Anexo 13. Archivo fotográfico



Foto 01. Instalación de Lisímetros



Foto 02. Clasificación textural del suelo por capas



Foto 03. Primes etapas de desarrollo del ecotipo local de quinua



Foto 04. Ecotipo local de quinua en fase de panojamiento

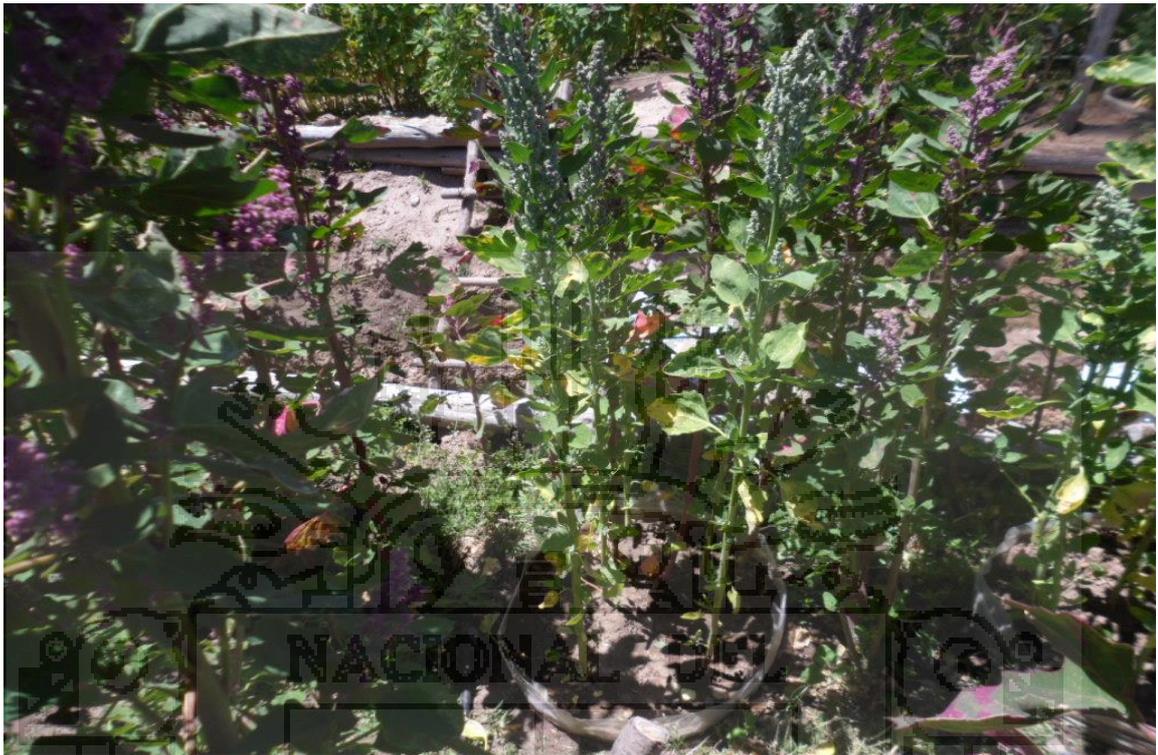


Foto 05. Ecotipo local de quinua en fase de floración



Foto 06. Ecotipo local en fase de grano lechoso



Foto 07. Ecotipo de quinua en fase de grano pastoso



Foto 08. Ecotipo en fase de madures fisiológica



Foto 09. Ecotipo de quinua en fase de madures fisiológica

