

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y
EXUDACIÓN EN EL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium
quinoa Willd*) EN EL INIA –LA MOLINA”**

Presentado por:

ZENAIDA ROSSANA PORRAS JORGE

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

La Molina

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA

**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y EXUDACIÓN EN EL
CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) EN EL INIA –LA MOLINA”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. ZENAIDA ROSSANA PORRAS JORGE

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

MG.SC. GUILLERMO C. AGUILAR GIRALDO
PRESIDENTE

DRA. LÍA RAMOS FERNANDEZ
PATROCINADOR

ING.ANTONIO C. ENCISO GUTIERREZ
MIEMBRO

DRA. LUZ RAYDA GOMEZ PANDO
MIEMBRO

LIMA – PERU

2015

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a vencer las adversidades.

A mi madre, por ser el pilar más importante y demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional y sobre todo por ser un gran ejemplo de sacrificio y lucha. A mi padre por los consejo, comprensión y amor. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanas Alicia, Luz, Liz, que con su amor me han enseñado a salir adelante. Gracias por su paciencia, pero sobre todo porque son un ejemplo de vida. A mi sobrino Fernando quien ha sido y es una mi motivación, inspiración y felicidad.

A Víctor Ricardo Vega Bardales, quien ha sido un motor importante durante los últimos años de mi vida universitaria y de forma especial en el desarrollo de mi proyecto de titulación. Gracias por tus concejos, por ser un amigo leal con quien puedo contar en todo momento y sobre todo por la paciencia y amor.

A Don Sergio Carbajal, apoyarnos siempre . Gracias también por compartir esta etapa tan importante.

AGRADECIMIENTO

A mi Patrocinadora de tesis, Dra. Lía Ramos Fernández, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar la presente tesis con éxito.

Al Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos (PNIA) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) por darme la oportunidad de realizar la presente tesis en sus parcelas experimentales y de manera especial a mi Co-patrocinadora de tesis, Msg. Elsa Valladares, quien me ayudo desde el principio con la presente investigación y los conocimientos obtenidos durante los cursos de capacitación. Gracias a los Ingenieros Jonell Soto y César Bravo por atender siempre mis dudas y buscar soluciones así como también al Sr. Samuelito por su constante apoyo durante la etapa de campo.

Al Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA por compartir la información meteorológica de la estación Meteorológica Automática La Molina (HOBO H-21), durante el periodo Junio – Noviembre del 2014 y de manera especial al Dr. Glein Quintanilla por la buena disposición que me brindó.

A la biblioteca que contribuyo facilitándome el acceso a la información requerida para alcanzar los objetivos trazados en esta tesis y de manera especial a los bibliotecarios Jesús Huarcaya y Mario Jaulis.

A mis amigos Jhakelin Ochoa, Víctor Chávez, Janet Quincho, José Ortiz, quienes que me apoyaron en diversas etapas de la presente investigación.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles durante el desarrollo de la presente investigación. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado. Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

I. INDICE

I. INDICE.....	6
II. RESUMEN	15
III. INTRODUCCIÓN	17
3.1 Objetivo general	18
3.2 Objetivos específicos.....	18
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	19
4.1. Sistema de riego localizado	19
4.1.1. Goteo	19
4.1.2. Exudación	21
4.2. Necesidades hídricas de los cultivos.....	26
4.2.1. Evapotranspiración	26
4.2.2. Evapotranspiración de referencia (ET _o).....	27
4.2.3. Evapotranspiración del cultivo (ET _c).....	28
4.2.4. Coeficiente dual del cultivo ($K_c \text{ dual} = K_{cb} + K_e$).....	28
4.2.5. Necesidades netas	31
4.2.6. Necesidades totales.....	31
4.2.7. Eficiencia de aplicación.....	32
4.3. El cultivo de quinua	35
4.3.1. Importancia del cultivo de la quinua	35
4.3.2. Zonas agroecológicas potenciales de producción de quinua en el Perú	36
4.3.3. Fenología	39
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
5.1. Materiales.....	41

5.1.1.	Ubicación de la zona experimental.....	41
5.1.2.	Características climáticas de la zona	41
5.1.3.	Fuente de agua	41
5.1.4.	Suelo	44
5.1.5.	Sistema de riego.....	46
5.1.6.	Material genético	48
5.1.7.	Equipos, herramientas y software.....	50
5.2.	Metodología.....	50
5.2.1.	Manejo del cultivo	50
5.2.2.	Diseño experimental	56
5.3.	Evaluaciones experimentales:.....	57
5.3.1.	Demanda de agua del cultivo.....	57
5.4.1.	Coeficiente de uniformidad - Goteo	58
5.4.2.	Coeficiente de uniformidad - Exudación.....	58
5.4.3.	Prueba de bulbo húmedo - Goteo	59
5.4.4.	Variables biométricas	59
5.4.5.	Rendimiento.....	59
5.4.6.	Parámetros agronómicos.....	60
5.4.7.	Análisis Financiero	60
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
6.1.	Demanda de agua del cultivo.....	63
6.2.	Evaluación de los sistemas de riego.....	67
6.1.1.	Coeficiente de uniformidad	67
6.1.2.	Prueba de bulbo húmedo	69
6.1.3.	Distribución de la humedad.....	69
6.3.	Volúmenes aplicados	70
6.4.	Caracteres agronómicos del cultivo	72

7.2.1. Variables biométricas	72
7.2.2. Rendimiento del grano.....	75
7.2.3. Parámetros agronómicos.....	76
7.2.4. Determinación de las unidades de calor (°D)	80
6.5. Análisis Financiero	81
VII. CONCLUSIONES.....	84
VIII.RECOMENDACIONES	86
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	87
X. ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4. 1 Corte transversal del lateral de riego exudante.	25
Figura 4. 2 Variación de la evaporación, transpiración e índice de área foliar durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual.....	26
Figura 4. 3 Zonas de producción de quinua en el Perú INIA, FAO (2013)	37
Figura 5. 1 Ubicación de la zona de estudio.....	42
Figura 5. 2 Condiciones meteorológicas diarias a lo largo de los meses de Junio a Octubre del 2014. Elaborado con información de la Estación Meteorológica Automática del SENASA, La Molina (HOBO H-21).....	43
Figura 5. 3 Diseño experimental: Dos tratamientos R0 (riego por goteo) y R1 (riego por exudación) y cuatro bloques en cada tratamiento.....	56
Figura 5. 4 Procedimiento general para calcular la evapotranspiración del cultivo, bajo la metodología Kc dual FAO (2006).	57
Figura 5. 5 Protocolo para la medición de cobertura de canopy	61
Figura 5. 6 Protocolo para la medición de índice de área foliar.....	62
Figura 6. 1 Evaluación de la evapotranspiración de referencia (ET _o) y evapotranspiración del cultivo (ET _c) durante el desarrollo del cultivo de quinua de la variedad INIA 431- Altiplano, bajo dos sistemas de riego para el periodo de Junio a Octubre del 2014.	65
Figura 6.2 Variación del coeficiente del cultivo dual (K _c dual), durante el desarrollo del cultivo de quinua variedad INIA 431-Altiplano, bajo riego por goteo y exudación, en el periodo de Junio a Octubre del 2014. Donde: K _c , es el coeficiente del cultivo; K _e , es el coeficiente de evaporación; K _{cb} , es el coeficiente basal.....	66
Figura 6. 3 Dimensiones de los diámetros y profundidad del bulbo humedo con un tiempo de aplicación de 1, 2 y 3 horas con cinta de riego <i>Aqua-Traxx PC</i> , con un caudal 0.5l/h, evaluada el 08 de setiembre del 2014.....	69

Figura 6. 4 Variación de la humedad del suelo en diferentes etapas del con cinta de riego exudante en suelo Franco Arcillo Arenoso y con un de caudal 1 l/h/metro.	70
Figura 6. 5 Volumen total de agua gastado (m3) durante el ciclo vegetativo del cultivo de quinua, variedad INIA 431- Altiplano, en los sistemas de R.L.A.F.: Goteo y Exudación, bajo condiciones de La Molina en el periodo Junio- Octubre del 2014.....	71
Figura 6. 6 La comparación de medias de la altura de planta, longitud de raíz y biomasa aérea, bajo dos tratamientos de riego: (R1) goteo y (RO) exudación en La Molina, Lima, para el periodo de Junio a Octubre del 2014. Siendo:(51-60DDS) Panojamiento, (61-70DDS) Inicio de Floración, (72-86DDS) Floración, (87-98DDS) Grano lechoso, (98-108DDS) Grano pastoso.....	74
Figura 6. 7 Valores promedio del rendimiento de grano, bajo dos tratamientos de goteo y exudación en el cultivo quinua ((<i>Chenopodium quinoa Willd</i>), en condiciones de La Molina. Periodo de Junio a Octubre del 2014.	76
Figura 6. 8 Valores promedio de índice de área foliar, cobertura de canopy, Índice de cosecha, bajo dos tratamientos goteo y exudación en el cultivo quinua ((<i>Chenopodium quinoa Willd</i>), en condiciones de La Molina. Periodo de Junio a Octubre del 2014.Siendo P: Panojamiento P: Inicio de Panojamiento IF: Inicio de floración F: Floración GL: Grano lechoso GP: Grano pastoso.....	79
Figura 6. 9 Requerimientos acumulados de Unidades de Calor (U.C.) (°D) para cada etapa fenológica del cultivo de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) de la variedad INIA 431- Altiplano bajo condiciones de La Molina. Durante el periodo Junio – Octubre del 2014. .	81
Figura 6. 10 Representación grafica del Costo/ ha, Ingreso Total, Ingreso neto para la producción de quinua, bajo riego por Goteo y Exudación	82
Figura 6. 11 Representación grafica del Costo/ ha, Ingreso Total, Ingreso neto para la producción de quinua, bajo riego por Goteo y Exudación	82
Figura 6. 12 Análisis de Beneficio/ Costo por los sistemas.	83
Figura 6. 13 Representación grafica de la rentabilidad	83

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 4.1 Relación de la textura del suelo con la pérdida de agua por percolación.....	33
Tabla 4.2 Taxonomía y descripción botánica de la quinua	37
Tabla 4.3 Fenología de la variedad INIA 431 - Altiplano.....	40
Tabla 5. 1 Análisis de agua.....	44
Tabla 5. 2 Análisis de caracterización del suelo.....	45
Tabla 5. 3 Datos generales de la variedad INIA-Altiplano	48
Tabla 5. 4 Descripción morfológica de la variedad INIA 431-Altiplano.....	49
Tabla 5. 5 Herramientas, equipos y software	50
Tabla 5. 6 Cronograma de actividades realizadas en la conducción del experimento bajo el sistema por goteo, en el cultivo de quinua de la variedad 431-Altiplano.....	54
Tabla 5. 7 Cronograma de actividades realizadas en la conducción del experimento bajo el sistema por exudación, en el cultivo de quinua de la variedad 431-Altiplano	55
Tabla 5. 8 Valores recomendados para caracterizar el coeficiente de uniformidad, Según Merrian y Keller (1978).....	58
Tabla 6. 1 Especificaciones técnicas para la cinta de goteo	67
Tabla 6. 2 Resultados de los emisores de riego por goteo y prueba del coeficiente de uniformidad al inicio y al final de la campaña.	67
Tabla 6. 3 Especificaciones técnicas para la cinta exudante	68
Tabla 6. 4 Resultados de los emisores de riego por exudación y prueba del coeficiente de uniformidad al inicio y al final de la campaña.	68
Tabla 6. 5 Programación mensual del sistema de riego por goteo	70

Tabla 6. 6 Programación mensual del sistema de riego por exudación.....	71
Tabla 6. 7 Valores promedios y Prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$, N= 4) de cobertura de canopy, índice de área foliar, altura de planta, Biomasa aérea seca, Longitud de raíces en función del tipo de riego para diferentes edades en el cultivo de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) de la variedad INIA 431- Altiplano en condiciones de la costa central. La Molina. Junio – Octubre 2014.	73
Tabla 6. 8 Valores promedios y Prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) del rendimiento, componentes del rendimiento e índice de área foliar en función del tipo de riego para diferentes edades en el cultivo de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) de la variedad INIA 431- Altiplano en condiciones de la costa central. La Molina. Junio – Octubre 2014.	73
Tabla 6. 9 Relación de eficiencia de uso de agua (EUA) en (kg/m ³)	80
Tabla 6. 10 Análisis de Beneficio/ Costo por los sistemas.....	83

ANEXOS

Anexo 1. Datos meteorológicos del mes de Junio del 2014.....	91
Anexo 2. Datos meteorológicos del mes de Julio del 2014.....	92
Anexo 3. Datos meteorológicos del mes de Agosto del 2014.....	93
Anexo 4. Datos meteorológicos del mes de Setiembre del 2014	94
Anexo 5. Datos meteorológicos del mes de Octubre del 2014	95
Anexo 6. Análisis de varianza la altura de planta a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS.....	96
Anexo 7. Análisis de varianza de la longitud de raíz a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS.....	97
Anexo 8. Análisis de varianza de la biomasa aérea a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS.....	98
Anexo 9. Análisis de varianza del rendimiento: Rendimiento (Kg/ha)	99
Anexo N° 10. Análisis de varianza del rendimiento: Índice de cosecha (Kg/ha)	99
Anexo 11. Análisis de varianza de la cobertura de canopy a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS.....	100
Anexo 12. Análisis de varianza del Índice de área foliar a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS.....	101
Anexo 13. Cálculo para determinar $ET_c = (K_{cb} + K_e) * ET_o$, con la aplicación del concepto de Kc dual, bajo riego por goteo-Etapa I.....	102
Anexo 14. Cálculo para determinar $ET_c = (K_{cb} + K_e) * ET_o$, con la aplicación del concepto de Kc dual, bajo riego por goteo-Etapa II	103
Anexo 15. Cálculo para determinar $ET_c = (K_{cb} + K_e) * ET_o$, con la aplicación del concepto de Kc dual, bajo riego por goteo-Etapa III.....	104

Anexo 16. Cálculo para determinar $ET_c = (K_{cb} + K_e) * ET_o$, con la aplicación del concepto de Kc dual, bajo riego por goteo-Etapa IV	105
Anexo 17. Costo de producción para una hectárea de quinua.....	106
Anexo 18. Certificado	108
Anexo 19. Análisis de agua	109
Anexo 20. Análisis de caracterización del suelo	111
Anexo 21. Panel fotográfico durante la conducción del cultivo.	112

PLANOS

Plano 1	114
Plano 2	115
Plano 3	116

II. RESUMEN

La presente investigación se fundamenta en la evaluación de los sistemas de riego localizado sobre el crecimiento y producción del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*). Fue llevado a cabo durante el periodo de Junio a Octubre del 2014, en los campos experimentales del Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos PNIA, Distrito de La Molina. Evaluando dos sistemas de riego: goteo (RI) y exudación (RO) en parcelas divididas con cuatro bloques (B₁, B₂, B₃, B₄). Las variables en estudio fueron: demanda de agua del cultivo, eficiencia de aplicación, altura de planta, longitud de raíz, biomasa aérea seca, cobertura del canopy (CC), índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), rendimiento, unidades de calor (D°) requeridas para alcanzar cada fase de desarrollo y el análisis financiero Beneficio/Costo (B/C).

Una vez concluido el estudio, las variables en estudio alcanzaron los siguientes resultados: volumen total de agua aplicada bajo el sistema de riego por exudación con 1,571.6 m³/ha y por goteo con 1,708.5 m³/ha. La eficiencia de aplicación obtenida fue de 81% para goteo y 78% para exudación. La cobertura del canopy a 80 DDS fue superior (88.5%) por exudación en comparación con el goteo (69.8). El índice de área foliar óptimo se tuvo a 73 DDS siendo (2.9) bajo exudación y (2.5) bajo riego por goteo, el índice de cosecha por exudación fue altamente significativo con un valor de (0.5) a diferencia de goteo con (0.3). El sistema de riego por exudación tuvo el mayor rendimiento con 3,519.3 Kg/ha seguido por goteo con 1,587.9 Kg. /ha. La mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) fue bajo riego por exudación con 2.2 kg/m³ y la menor en goteo con 0.9 kg/m³. El cultivo de quinua de la variedad Inia 431- Altiplano, requiere en promedio un total de 1178.8 grados día de calor acumulado que el cultivo requiere para concluir su ciclo. El análisis financiero B/C y rentabilidad determinan que el mejor sistema de riego es exudación con 2.9 B/C y 190 % de rentabilidad y lo secunda el riego por goteo con 2.4 B/C y 186% de rentabilidad. La demanda de agua, la eficiencia de uso de agua, el desarrollo del cultivo y el análisis financiero Beneficio/Costo respondieron positivamente en la producción del cultivo de quinua bajo el sistema de riego por exudación a diferencia del goteo.

ABSTRACT

This research is based on the evaluation of drip irrigation systems on growth and crop production of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). It was conducted during the period from June to October 2014, in the experimental fields of the National Agricultural Innovation Program Crops (PNIA), District of La Molina. Evaluating two irrigation systems: drip (RI) and exudation (RO) in divided with four blocks (B1, B2, B3, B4) plots. The variables studied were: crop water demand, application efficiency, plant height, root length, dry biomass, canopy cover (CC), leaf area index (IAF), harvest index (IC) performance heat units (D°) required to reach each stage of development and financial analysis benefit / cost (B / C).

Once the study is completed, the variables under study reached the following results: total volume of water applied under the irrigation system by exudation to 1571.6 m³ / ha and drip 1708.5 m³ / ha. Application efficiency obtained was 81% and 78% drip for exudation. Canopy coverage to 80 DDS was higher (88.5%) for bleeding compared with dripping (69.8). The optimal leaf area index had to be 73 DDS (2.9) under exudation and (2.5) under drip irrigation, harvest index by exudation was highly significant with a value of (0.5) unlike drip (0.3). The irrigation system by exudation had the highest performance with 3519.3 Kg / ha followed by dripping with 1587.9 Kg. / Ha. More efficient water use (USA) was under irrigation by exudation with 2.2 kg / m³ and the lowest in dripping with 0.9 kg / m³. The cultivation of quinoa variety Inia 431- Altiplano, requires on average a total of 1178.8 degrees of heat accumulated day the crop requires to complete its cycle. The financial analysis B / C and profitability determine the best irrigation system is oozing with 2.9 B / C and 190% return and secondary drip irrigation with 2.4 B / C and 186% return. Water demand, efficient water use, crop development and financial analysis benefit / cost responded positively in the production of quinoa under the irrigation system by exudation unlike drip irrigation.

III. INTRODUCCIÓN

El agua de riego en la costa peruana siempre ha sido escasa, de los cincuenta y tres ríos que discurren desde Tumbes a Tacna, el 80% de ellos, son de régimen irregular y solamente el 20% se puede utilizar todo el año. Por este motivo, el recurso hídrico, se constituye como el “Factor limitante de primer orden”, en la producción agrícola. Esta situación obliga a todo agricultor, usuario y/o productor a manejar el agua de riego, con racionalidad y eficiencia. Por lo que es necesario adoptar nuevas técnicas de riego, que mejore la eficiencia en el uso del agua e incremente los niveles de producción. En tal sentido el interés de investigar sistemas de riego localizados como son; los sistemas de riego por goteo y exudación, caracterizados por su alta eficiencia en la aplicación del agua, incrementando los niveles de producción especialmente en cultivos de alto valor comercial como es el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*). Precisamente en estos últimos tres años el cultivo de quinua, se han incorporado a la actividad agrícola de la costa del Perú. Este desarrollo se vio impulsado no sólo por la aparición de nuevas técnicas de cultivo, sino por el interés que han despertado el producto en el consumidor, especialmente en el mercado externo.

Las bondades peculiares del cultivo de la quinua están dadas por su alto valor nutricional. El contenido de proteína de la quinua varía entre 13.81 y 21.9% dependiendo de la variedad. Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana, PROINPA et al. (2011). En la actualidad el Perú es el principal productor y exportador mundial de quinua y está cobrado gran interés internacional debido a que es un grano nativo altamente nutritivo es uno de los pocos vegetales que posee los aminoácidos esenciales para el ser humano. FAO y MINAGRI (2015).

De acuerdo a lo citado anteriormente se elaboró el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos.

3.1 Objetivo general

Comparar los sistemas de riego goteo y exudación, aplicados al cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), de la variedad INIA 431- Altiplano, bajo condiciones de la Molina a través de los siguientes objetivos específicos:

3.2 Objetivos específicos

- Obtener la demanda de agua mediante el cálculo de la evapotranspiración del cultivo bajo la metodología del Kc dual proporcionada por FAO –N° 56.
- Determinar las eficiencias de uso de agua en los sistemas de R.L.A.F.: Goteo y Exudación en el cultivo.
- Evaluar el desarrollo del cultivo a través de caracteres biométricos (altura de planta, longitud de raíz, biomasa aérea), rendimiento y parámetros agronómicos.
- Realizar un análisis financiero Beneficio/Costo de los sistemas de riego en el cultivo de quinua.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Sistema de riego localizado

La utilización del riego localizado, consiste en la aplicación del agua al suelo en forma localizada. Estos métodos son apropiados para zonas donde el agua es escasa, ya que su aplicación se hace en pequeñas dosis y de manera frecuente, consiguiendo con esto un mejor control de la aplicación del agua y algunos otros beneficios agronómicos. En efecto, Singh et al., (2000) y Domínguez (1993) mencionan que el riego localizado es el sistema más adecuado ya que utiliza pequeños caudales a baja presión y alta frecuencia y no humedece la totalidad del suelo, aunque demanda una alta inversión de capital inicial y una mayor capacidad de gestión respecto a los sistemas convencionales, Cetin y Uygan (2008). Por otra parte, Cárdenas (2000) plantea que la uniformidad de aplicación del riego es un parámetro que está muy relacionado con la eficiencia del riego y con la producción de los cultivos.

4.1.1. Goteo

En el riego por goteo se caracteriza como un riego localizado ya que su diseño agronómico e hidráulico está concebido para devolver al suelo en forma localizada el consumo diario de agua. Este consumo está íntimamente relacionado con la demanda atmosférica por agua y el contenido de agua del suelo. En efecto, Domínguez (1993) afirma que se denominan riego localizado, debido a que el agua se aplica en puntos concretos del suelo, de modo que solo se humedece una parte del mismo.

El riego por goteo es eficiente por tener una casi nula evaporación directa y el mínimo escurrimiento y la alta uniformidad en la aplicación del agua. Según Evans et al. (2007) los sistemas de riego bien diseñados, instalados y operados pueden alcanzar alta uniformidad y eficiencia de aplicación del agua.

Por otro lado, Rodrigo López et al. (1992) sostienen que aún bajo condiciones eficientes de manejo, en suelos arenosos y limosos se producen pérdidas por percolación, pero que éstas son insignificantes en suelos francos.

A. Distribución de sales y nutrientes

El patrón de penetración de agua tiene influencia adicional en la distribución de nutrientes y de sales en el volumen de suelo mojado. Los sistemas de riego por inundación y por aspersión que mojan el volumen completo de suelo crean un perfil que aumenta sostenidamente en salinidad con la profundidad del suelo hacia el fondo de la zona de raíces (Hoffman et al., 1990). En sistemas de riego por goteo, el mojado más superficial implica que áreas de mojado superficial están expuestas a la evaporación directa de agua y a una gradual acumulación de sales en la superficie del suelo. Los ciclos repetidos de riego y de evaporación crean un área de lavado justo debajo del gotero, y la sal se acumula en los bordes del volumen mojado en la superficie del suelo (Kafkafi y Bar-Yosef, 1980).

Finalmente, el riego por goteo es considerado una de las tecnologías más utilizadas en la producción de de cultivos en todo el mundo por la exactitud en la aplicación del recurso hídrico, sin importar las condiciones variables de suelo, terrenos ondulados, dimensiones irregulares de las parcelas, ni los tramos largos del sistema de riego. Así, Pizarro (1990), afirma que uno de los aspectos más espectaculares del desarrollo del riego por goteo en los últimos años, ha sido la transformación de terrenos marginales, que con los métodos tradicionales se consideraban no rentables. Pero también, es en estos suelos donde se han producido los mayores fracasos de riego por goteo, debido a la diferenciación que en ellos experimentó el bulbo húmedo.

B. El Sistema de riego por Goteo INIA- Modelo B

Este sistema se caracteriza por su bajo costo, no requiere energía convencional para su funcionamiento, pues aprovecha la fuerza de la gravedad que le da la columna mínima de 3m de altura que debe presentar la fuente de agua utilizada respecto al terreno que se requiere regar. La fuente de agua puede ser un reservorio o un canal de riego.

Se regó por medio de cintas de riego con una descarga por emisor nominal de 0,5l/h y un distanciamiento de 0.20m, El riego se programó de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo (ET_c), INIA (2013).

Ventajas

- No utiliza ningún tipo de energía convencional (eléctrica o combustible) pues utiliza la fuerza de la gravedad para dar la presión necesaria al agua que recorre el campo a través de una red de tubería. Requerimientos menores de agua para riego por goteo, con relación a métodos tradicionales.
- Aplicar el agua de riego en forma localizada, continua, oportuna y eficiente.
- Adaptarse a cualquier suelo y condiciones topográficas diversas.
- Aplicar el agua y los fertilizantes cuando las plantas lo requieran.
- Alcanzar elevada eficiencia de aplicación, mayor a 90 %.

Desventajas

- Taponamiento de los emisores, a causa de las partículas de arena, residuos orgánicos y precipitados químicos.
- Riesgos de salinización del suelo, debido a que la gran cantidad de sales provenientes de agua de riego son dejadas en el suelo, acumulándose entre bulbos y en la línea de la superficie humedecida.
- Desarrolla una zona o bulbo que limita el crecimiento y expansión de las raíces

4.1.2. Exudación

El riego por exudación es un sistema de riego localizado que aplica el agua de forma continua mediante una cinta textil porosa que exuda agua en toda su longitud y en la totalidad de su superficie. El agua exudada a través de los pequeños poros de la pared del tubo poroso, produce una banda de humedad continua, ancha y uniforme en toda la longitud de las líneas de riego. Al respecto el Manual Informativo del Tubo Geotextil Exudante, (1990) indica que la emisión de agua a través de los pequeños poros de la pared del tubo, es uniforme para las diferentes presiones de trabajo, produce una banda de humedad continua, ancha y uniforme en toda la longitud de las líneas de riego, satisfaciendo así las necesidades de los diferentes cultivos.

El método de tubería exudante es casi tan antiguo como el método de riego por goteo. Fue desarrollado en Europa y EE.UU., durante la década de 1960, pero no fue hasta fines del siglo XX que logró su mayor desarrollo. Paralelamente, la investigación se centró en torno al uso de los geotextiles para uso en riego exudante. Poritex (1995).

Pizarro (1990), la cinta está compuesta por microfibras de polietileno de alta densidad entrecruzado, que forma una malla cuyos poros tienen un tamaño de 4 a 5 micras y ocupan el 50 por ciento de la superficie, denominada Cinta exudante.

La membrana cuenta con una serie de propiedades: gran resistencia mecánica, insensibilidad al agua, álcalis, ácidos y a la mayoría de los productos químicos. Asimismo mantiene sus propiedades entre -72°C y 85°C , siendo su punto de fusión a los 135°C . Poritex, (1995).

Por otro lado, Agroriego EIRL (2015) indica que la autorregulación del emisor frente a la humedad que posee el suelo se da por la interacción que ocurre entre el emisor, el suelo y la evapotranspiración del cultivo. Es así que, al ir disminuyendo el contenido de agua del suelo debido a la extracción que realizan las plantas, la succión del agua de la cinta exudante por parte del suelo va aumentando, esto hace que el caudal exudado también aumente, manteniendo siempre el suelo un adecuado contenido de humedad, sin que se produzcan pérdidas por percolación en profundidad por debajo de la zona de raíces. Entregando caudales muy bajos que varía entre 0.5 y 1.5 litros/hora/metro lineal; liberando mayor caudal cuando el suelo se encuentra seco. Así también Pizarro (1990) manifiesta que numerosos experimentos demuestran que existe un valor umbral del potencial hídrico del suelo, que fundamentalmente depende de la planta y que por encima del cual la producción del cultivo no se altera. Es decir, el efecto de que los cultivos obtengan altos rendimientos no depende del sistema de riego sino del régimen de humedad del suelo.

Con el riego exudante se obtiene una elevada uniformidad de emisión del agua de riego para diferentes presiones de trabajo debido a que se tiene una distribución uniforme de la cantidad de agua aplicada para satisfacer las necesidades de los cultivos, que se traduce en un uso eficiente del agua de riego por parte de los cultivos y en un mayor rendimiento de éstos. Así mismo Gurovich (1985), concluye que cuando se riega eficientemente un cultivo, es decir, se mantiene un nivel alto y constante de humedad, se producen aumentos en el rendimiento en relación a los cultivos deficientemente regados. Esto se debe a que con las técnicas de riego tradicionales, no se logra una distribución uniforme del agua a lo largo de toda la unidad de riego, que permitiría a las plantas alcanzar un rendimiento potencial uniforme.

Por otro lado, el sistema de cinta exudante está diseñado para que funcione a baja presión, en valor de altura de carga no superior a dos metros de columna de agua (m.c.a.). Siendo el motor del sistema, no la presión que pueda imprimirse si no, la fuerza de gravedad (conducción y distribución) y capilaridad (entre el emisor, suelo y cultivo). Cabe mencionar que la carga de altura por topografía que adquiere el agua en el emisor se pierde por fricción en su avance y la humedad del suelo en el mojado hace de regulador para el emisor. Según, Agroriego EIRL (2015), para efectos de diseño y cálculo del diseño hidráulico, se deben calcular con presiones normalmente comprendidos entre 0,5 a 1,5 m.c.a., además, el sistema funciona en forma continua (con frecuencias de riego de 24,48, 72, 96 horas) que dependerá del diseño, desarrollo y requerimiento de la humedad.

Joyce (1977), en un estudio comparativo del sistema de riego por exudación con el sistema tradicional, determina ahorros significativos en agua de riego, con el sistema moderno de irrigación que trabaja a presiones menores a 0.2Kg/cm^2 equivalente a 2.0 metros de columna de agua (m.c.a.) Dichos valores alcanzan valores que oscilan entre 50% a 75%. Rodríguez (1976), menciona otro estudio comparativo entre el sistema de riego por exudación y el sistema de riego por gravedad, concluye que con el primero, el ahorro de agua es 40% respecto al segundo. Dupont (1972), en un estudio sobre pruebas de riego efectuadas por agricultores de Estados Unidos de Norte América, concluye que el ahorro de agua utilizando un sistema de agua por exudación, se encuentra alrededor del 60% respecto al riego por gravedad.

Obando (1990) realizó un experimento en vainita con cuatro láminas de riego empleando riego por exudación y su conclusión mas importante fue que los rendimientos tendieron a aumentar conforme se incrementaba la lámina de riego. El mayor rendimiento lo logró cuando utilizó el 80% de la lámina de riego. A si también Quilca (1998), realizó un comparativo de entre sistemas modernos: goteo vs exudación en cultivo de maíz choclo (*Zea mays L.*) variedad Pardo. Encontrando el mayor rendimiento en el sistema de exudación (20.22 tn/ha), siendo el 3% mas que el rendimiento por goteo (19.49 tn/ha).

Finalmente podemos mencionar que con la masificación de métodos tecnificados de riego, iniciada en la década de los 60 en Israel y California con el goteo, aspersión y recientemente con la cinta de exudación, los países desarrollados y en vías de desarrollo

han logrado incrementar la eficiencia en el uso del agua, la productividad y la calidad de los cultivos. Agroriego EIRL (2015).

A continuación se describe las ventajas y desventajas del sistema:

Ventajas

- Ideal uniformidad en el reparto de agua exudada y nutrientes, lo cual origina una gran uniformidad en la producción de cultivos.
- Necesita una baja presión de trabajo (1.00 – 3.50 metros de columna de agua (m.c.a.) ó 0.1 – 0.3 bar), lo cual significa un máximo ahorro de energía.
- El caudal exudado por las cintas Viaflo es variable (0.5 – 2 litros/metro/línea/ha), a presiones que van de 0.1 a 0.3 kg/cm², aunque por tratarse de un emisor que trabaja en régimen laminar dicho caudal se ve afectado por la temperatura y su viscosidad que es variable en función de la salinidad.
- Al encontrarse en forma subterránea las cintas de riego y debido al movimiento de capilaridad, se evita al máximo las pérdidas de agua por evaporación, percolación profunda, estableciendo una eficiencia total de riego del 98%.
- La obturación de poros es menor y de fácil limpieza.
- Utilización de aguas de baja calidad (pozo, canal, reciclada, etc.) con filtración estándar.
- La vida útil de las cintas se estiman en 12 a 15 años cuando van tapadas y 8 a 12 cuando quedan expuestas al sol.

Desventajas

- Su uso con lleva a una tecnología que debe de ser perfectamente conocido por el usuario ya que es necesario una constante revisión del sistema, realizando operaciones tales como mediciones del caudal, tratamientos químicos del agua, regulaciones de presión.
- Dificultad en localizar fugas y averías
- Su vulnerabilidad al ataque de ciertos insectos en el suelo.
- La topografía y tamaño de la parcela condicionan el diseño de este sistema, es más adecuado para parcelas pequeñas o medianas sin pendiente o con pendientes moderadas menor al 2%.

Shani et al. (1996), señalan que la variabilidad del suelo puede afectar el flujo de agua emitido desde los goteros enterrados. Esto es porque la presión gradual del agua en el suelo, no es transmitida fácilmente desde los emisores.

Cuidados en la instalación de la cinta exudante

La cinta va enterrada a una profundidad de 5 a 15 cm y el sentido del riego debe ir en el sentido de la pendiente. Para cubrir la cinta debe hacerse regando y teniendo cuidado de que no esté doblada ó tenga una piedra encima. Se debe dejar regando varias horas o días funcionando, dependiendo del largo del lateral de riego, a efecto que forme el “túnel” de mojamiento. En la figura 5.4 se visualiza el lateral de riego exudante antes y después de la formación del “túnel” de mojamiento.

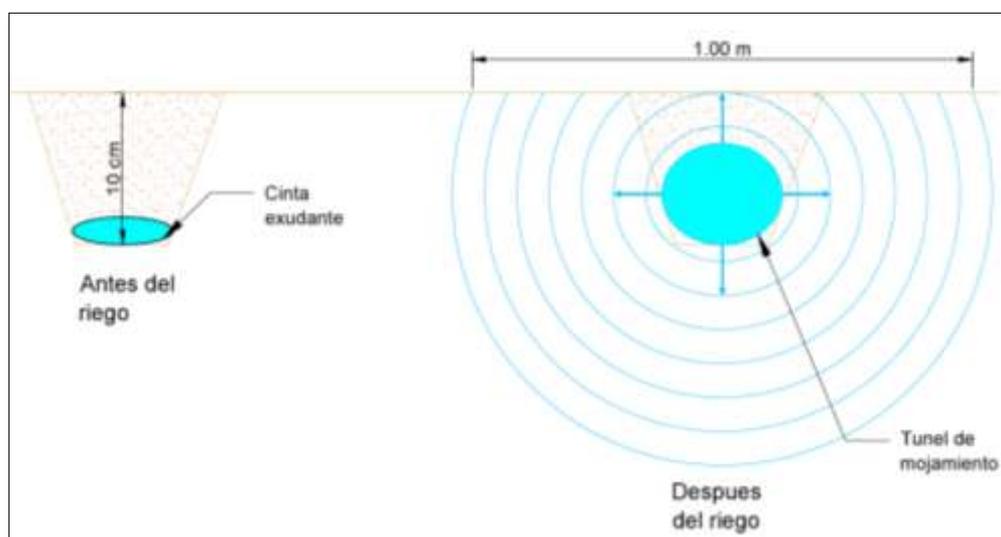


Figura 4. 1 Corte transversal del lateral de riego exudante.

Fertirrigación

Fertirrigación o fertigación, son los términos para describir el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego. Con esta técnica, se puede controlar fácilmente la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizantes según Nathan (1997). Sin embargo Quezada et al. (2007) afirma que en suelos con buen nivel de fertilidad natural la fertirrigación permanente no tiene un impacto relevante sobre el rendimiento, siendo más importante el método de riego y el control de la humedad del suelo.

4.2. Necesidades hídricas de los cultivos

Para poder cumplir con su ciclo fenológico, los cultivos dependen fuertemente del agua, cuyo consumo está controlado por la energía radiante proveniente del sol y la energía del viento que favorece los cambios de estado de líquido a vapor. Santibáñez (1994). Por otra parte, la fuente de agua se encuentra en el suelo, a partir del cual las plantas extraen el agua según sus requerimientos. Se establece así un flujo suelo-planta-atmósfera (Figura 4.1), el cual requiere de un balance de agua y energía para entender el estado hídrico y las necesidades de agua del vegetal (Evet, 1999).

4.2.1. Evapotranspiración

La evapotranspiración incluye dos procesos distintos por el cual se pierde agua; uno de carácter físico y el otro de carácter fisiológico, que son la evaporación de agua del suelo y la transpiración de las plantas. La transpiración o pérdida de agua en estado de vapor por la planta, es un fenómeno común en todas las plantas. Barcelo et al. (1988).

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal, FAO (2006).

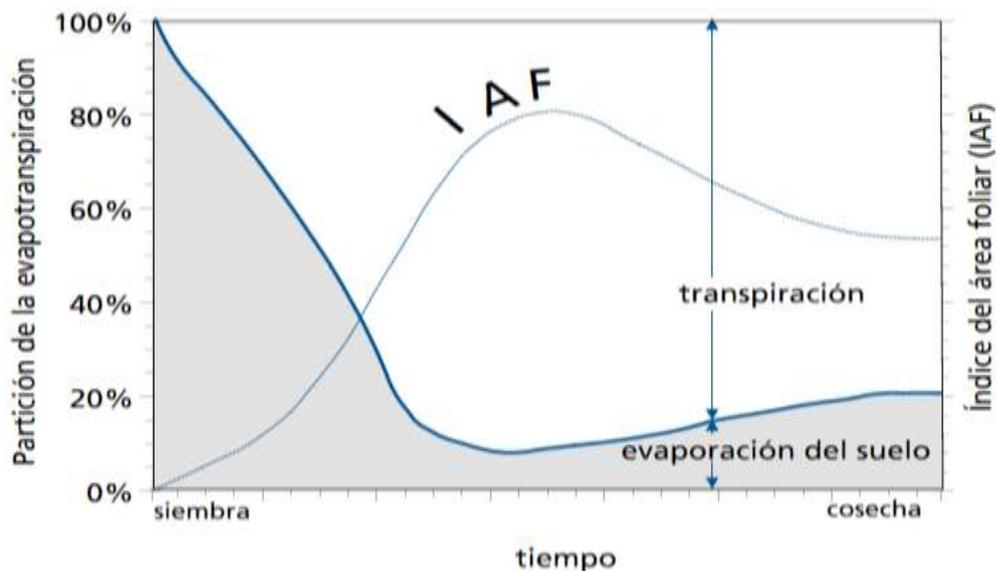


Figura 4. 2 Variación de la evaporación, transpiración e índice de área foliar durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual

4.2.2. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia y se denomina ET_o.

Los procedimientos modificados para calcular la ET_o según la ecuación Penman-Monteith de la FAO, requieren de datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento y fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado, FAO (2006).

Ecuación de Penman-Monteith

La ecuación FAO Penman-Monteith fue derivada, a partir de la ecuación original de Penman-Monteith y de las ecuaciones de resistencia aerodinámica y del cultivo, FAO (2006).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

Donde:

- ET_o : Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)
- R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)
- R_a : Radiación extraterrestre (mm día⁻¹)
- G : Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)
- T : Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- u₂ : Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)
- e_s : Presión de vapor de saturación (kPa)
- e_a : Presión real de vapor (kPa)
- e_s - e_a : Déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
- γ : Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

4.2.3. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ETo por Kc el cual es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia. Esta diferencia puede ser combinada dentro de un coeficiente único o integrado del cultivo, o puede ser separada en dos factores que describen por separado las diferencias en evaporación y transpiración entre las dos superficies. La selección del procedimiento a seguir dependerá del propósito del cálculo, la precisión requerida, la disponibilidad de datos climáticos y la escala temporal bajo la cual se realizan los cálculos, FAO (2006).

$$\text{Calculamos: } ET_c = (K_{cb} + K_e) E_{To} \quad (2)$$

Donde:

ETc : Evapotranspiración del cultivo

Kcb : Coeficiente basal del cultivo

Ke : Coeficiente de evaporación

ETo : Evapotranspiración de referencia

4.2.4. Coeficiente dual del cultivo ($K_c \text{ dual} = K_{cb} + K_e$)

El procedimiento del coeficiente dual del cultivo es más complicado y requiere de más cálculos que el procedimiento del coeficiente único del cultivo (Kc). El procedimiento se aplica con datos diarios y es particularmente adecuado para el cálculo mediante el uso de computadoras. Se recomienda el uso de este procedimiento cuando se requieran estimaciones más precisas del valor de Kc, por ejemplo cuando se determina el calendario de riego diario de campos individuales, FAO (2006).

El coeficiente único Kc es reemplazado mediante la ecuación:

$$K_c \text{ dual} = K_{cb} + K_e \quad (3)$$

Donde:

Kcb : coeficiente basal del cultivo

Ke : Ke coeficiente de la evaporación

Kc dual : Coeficiente dual del cultivo

A. Duración de las etapas de desarrollo según la FAO

(i) Etapa inicial: la etapa inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo.

(ii) Etapa de desarrollo del cultivo: la etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa.

(iii) Etapa de mediados de temporada: la etapa de mediados de temporada comprende el período de tiempo entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez.

(iv) Etapa de finales de temporada: la etapa final o tardía de crecimiento comprende el período entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia.

B. Ajuste del Kcb medio y Kcb final

Ajuste de los valores de coeficiente basal del cultivo (Kcb) correspondientes a la etapa inicial (Kcb ini), de mediados de temporada (Kcb med) y final (Kcb fin), Los valores tabulados de Kcb representan valores de Kcb asociados a climas sub-húmedos y velocidades de viento moderadas. En climas donde se requieran ajustes, es decir donde el valor de HR min sea diferente a 45% o donde la velocidad del viento sea mayor o menor 2 m/s los valores de Kcb med y Kcb fin que sean mayores a 0,45 deberán ajustarse utilizando la siguiente Ecuación, FAO (2006).

$$Kcb = Kcb(Tab) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(HRmin - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (4)$$

Donde:

Kcb : Coeficiente basal del cultivo

Kcb (Tab) : Coeficiente basal del cultivo tabulado, Para las etapas media y final (Si Kcb (Tab) \geq 0,45) se somete a ajustes

Kc dual : Coeficiente dual del cultivo

u_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura ($m s^{-1}$)

HR min : Humedad relativa mínima diaria (%) para ($20\% \leq HR \text{ min} \leq 80\%$)

h : Altura promedio de las plantas (m)

C. Variación diaria del Ke para la evaporación en la superficie del suelo

A medida que la superficie del suelo se va secando una menor cantidad de humedad estará disponible para la evaporación, por lo que la evaporación comenzará a reducirse en función de la cantidad de agua remanente en la capa superficial del suelo, FAO (2006).

Es decir:

$$K_e = K_r (K_c \text{ max} - K_{cb}) \leq f_{ew} K_c \text{ max} \quad (5)$$

Donde:

- K_e : Coeficiente de la evaporación
- K_{cb} : Coeficiente basal del cultivo
- $K_c \text{ max}$: Valor máximo de K_c
- K_r : Coeficiente adimensional de reducción de la evaporación
- f_{ew} : Fracción del suelo que se encuentra simultáneamente expuesto y humedecido

C.1 Cálculo del K_c máximo

Es decir el límite superior, determinar para cada día durante la temporada de crecimiento:

$$K_c \text{ max} = \left[\left\{ (1, 2) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004 (HR_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \right\}, \{ K_{cb} + 0,05 \} \right] \quad (6)$$

Donde:

- h : Altura máxima promedio de las plantas durante (etapa inicial, desarrollo, mediados de temporada o final) [m]
- K_{cb} : Coeficiente basal del cultivo
- $K_c \text{ max}()$: Valor máximo de los parámetros entre los paréntesis { }
- HR_{\min} : Humedad relativa mínima diaria (%) para ($20\% \leq HR_{\min} \leq 80\%$)
- u_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura ($m s^{-1}$)

C.2 Fracción de suelo expuesto y mojado (f_{ew})

La fracción de suelo expuesto y mojado, f_{ew} , es la fracción del cultivo en el que se produce evaporación. La fracción expuesta y mojada también tiene en cuenta que en algunos tipos de riego no se humedece toda la superficie expuesta, como es el caso del riego por goteo o micro-irrigación. En estos casos debe considerarse en el cálculo de la evaporación la fracción que está sin cobertura vegetal y que a la vez se está humedeciendo f_{ew} se calcula en función de la superficie húmeda y de la fracción de cobertura vegetal. , FAO (2006).

$$f_{ew} = \min (1 - f_c, f_w) \quad (7)$$

Donde:

- f_{ew} : Fracción de suelo expuesta y humedecida por precipitación o riego [0.001-1]
- f_c : Fracción de cobertura vegetal [0.001-1]
- f_w : Fracción humedecida por el riego o precipitación [0.001-1]

C.3 Coeficiente de reducción (Kr)

Kr es el coeficiente adimensional de reducción de la evaporación, del agotamiento de la humedad (lámina acumulada de evaporación), en la parte superior del suelo, FAO (2006).

$Kr = 1$ cuando $De, i-1 \leq AFE$ y $Kr = 0$ cuando $AET = AFE$

Donde:

$De, i-1$: Lámina acumulada de evaporación en la capa superficial del suelo al final del día [mm]

AET : Agua evaporable total

AFE : Agua fácilmente evaporable.

4.2.5. Necesidades netas

Además de la ETc , la precipitación efectiva (Pe) debe tenerse en cuenta en el cálculo. La precipitación efectiva es aquella parte de la lluvia que se almacena en el volumen del suelo a profundidad radicular y es consumida por la planta en proceso de evapotranspiración. Las necesidades netas vienen dadas por la expresión:

$$Nn = ETc - (Pe + W) \quad (8)$$

Siendo:

Nn : Necesidades netas mm/día.

ETc : Evapotranspiración del cultivo en mm/día.

Pe : Precipitación efectiva en mm/día.

W : Variación de la humedad en el suelo en mm.

En las zonas de climatología árida y semiárida y riego por goteo, Pe y W se consideran nulos coincidiendo las necesidades netas con la evapotranspiración del cultivo.

4.2.6. Necesidades totales

Además de las necesidades consuntivas, hay otras cantidades adicionales de agua que son necesarias para compensar las pérdidas por las condiciones en que se desarrolla el cultivo.

Estas pérdidas se producen por:

- Percolación en profundidad fuera de la rizosfera
- Uniformidad del reparto del agua en la unidad de riego
- Requerimiento de lavado de sales en caso de utilizar aguas salinas

Todas estas pérdidas de agua se cuantifican en un término denominado eficiencia de aplicación (EfA). Las necesidades totales de riego vienen dadas por la relación

$$N_t = N_n/E_fA) \quad (9)$$

Siendo:

N_n : Necesidades netas de agua en mm/día.

N_t : Necesidades totales de agua en mm/día.

E_fA : Eficiencia de aplicación en tanto por uno.

4.2.7. Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación (E_fA) se define como la relación entre el volumen de agua almacenado a profundidad radicular (utilizable por el cultivo) y volumen total que llega a la parcela.

En los riegos localizados de alta frecuencia, las pérdidas producidas por transporte dentro de la unidad de riego son nulas, siendo debidas a la percolación no controlable fuera del alcance radicular, a la falta de uniformidad de descarga de los emisores en la superficie de riego y a las producidas por la salinidad del agua de riego.

De acuerdo con el concepto de eficiencia, las pérdidas por percolación dan lugar a una eficiencia que denominaremos eficiencia de percolación (E_fP), las producidas por falta de uniformidad de reparto de caudal en la parcela de riego, Eficiencia de Uniformidad (E_fU) y las producidas por necesidad de lixiviación de sales a la eficiencia por salinidad de agua (E_fS).

• Eficiencia de Uniformidad. (E_fU)

La falta de uniformidad de aplicación es debida a la diferencia de descarga en los emisores situados en puntos extremos de la subunidad de riego. Para compensar dichas diferencias, se deben aportar cantidades adicionales de riego de forma que todas las plantas reciban como mínimo la dosis neta de riego. La eficiencia por uniformidad de la instalación (CU), al que se le asigna valor mínimo de 0.9 en el diseño del sistema de riego, de donde:

$$E_fU = CU \quad (10)$$

• Eficiencia de Percolación (E_fP)

La estimación de las pérdidas de agua por percolación no controlables fuera del alcance radicular, se realiza incrementando las necesidades consuntivas del cultivo (ETc.) mediante factores distintos según tipo de suelo, siendo las cantidades de agua totales a aportar:

$$E_fP = 1/f \quad (11)$$

Siendo:

EfP : Eficiencia de percolación

F Factor de incremento según tipo de suelo

(Hoare, 1974)

La siguiente tabla, presenta valores de f y de EfP para distintos tipos de suelo, para riegos localizados.

Tabla 4.1 Relación de la textura del suelo con la pérdida de agua por percolación

TEXTURA DEL SUELO	Efu*	f*	Efp
Arenoso	0.9	1.15	0.9
Franco – Arenoso	0.9	1.12	0.92
Franco	0.9	1.10	0.95
Franco Arcilloso	0.9	1.05	0.97
Arcilloso	0.9	1.00	1.00

• **Eficiencia por salinidad de agua de riego (EfS)**

Cuando se utilizan aguas salinas, se deben aportar cantidades adicionales de agua para lixiviar (desplazar fuera de la zona radicular) las sales que pudieran acumularse en el bulbo humedo por efecto de la evapotranspiración de las plantas. La lixiviación de sales es práctica obligada en el control de la salinidad del medio de cultivo a nivel radicular.

$$EfS = 1 - RL \quad (12)$$

Donde:

EfS : Eficiencia por salinidad de agua de riego.

RL : Minimo requerimiento de lavado para controlar las sales en la zona radicular.

En ausencia de datos experimentales, el requerimiento de lavado en el riego localizado de alta frecuencia se determina mediante la siguiente formula.

$$RL = CE_{ar} / 2 \max CE_{es} \quad (13)$$

Donde:

CE_{ar} : Conductividad eléctrica del agua de riego.

CE_{es} : Conductividad eléctrica máxima del extracto de saturación del suelo para una producción de un 100%.

Para la aplicación de EfS se tiene que tener en cuenta EfP, dado que los procesos de percolación de agua en el suelo que generan ambas eficiencias no se producen conjuntamente en el proceso del

riego, actuando solo la eficiencia que provoca mayor pérdida de agua. En este sentido hay que distinguir:

Cuando $EfP < EfS$, es la cantidad de agua perdida por percolación es mayor que la necesaria para lixiviar sales por lo que en este caso solo interviene EfP , Siendo:

$$EfA = EfU * EfP \quad (13)$$

Cuando $EfP > EfS$, es la cantidad de agua necesaria para lixiviación de sales perdida por percolación es mayor que las de percolación no controlables. En este caso se debe aplicar EfS . La eficiencia de aplicación viene dada por:

$$EfA = EfU * EfS \quad (14)$$

• Frecuencia de riego

La frecuencia o el intervalo entre riegos están en función de la capacidad de retención de agua del suelo, de la ETc del cultivo y de la calidad de agua de riego. Siendo la frecuencia máxima de riego igual a:

$$\text{Frecuencia de riego máxima} = \text{Lamina neta (mm/día)} / ETc \text{ (mm/día)}$$

El valor obtenido es el número de días máximos para distanciar un riego del siguiente. Sin embargo en los riegos localizados se utilizan frecuencias de uno a tres días según la disponibilidad del agua para riego.

• Lamina neta

Es la capacidad de retención de agua que tiene el suelo en función a su capacidad de retención, la profundidad de las raíces, el descenso tolerable y el porcentaje de área mojada. Se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Lamina neta} = (CC\% - PMP\%) / 100 * DAP * \text{Prof. de raíz} * D.T. * \% \text{ Area mojada (mm)} \quad (15)$$

Donde:

CC :	Humedad del suelo a capacidad de campo (%)
PMP :	Humedad del suelo a Punto de Marchitez (%)
DAP :	Densidad aparente del suelo (gr/cm ³)
Prof. de raíz :	Profundidad de las raíces según la edad de los cultivos(mm)
D.T. :	Descenso tolerable de la humedad
% AM :	% de área mojada dentro de la plantación (%)

• Dosis neta de riego

Se define como el volumen de agua a aportar en cada riego para restituir al suelo las necesidades netas de agua por el cultivo en el intervalo entre riegos.

$$Dn = Nn * Fr \quad (15)$$

Donde:

Dn :	Dosis neta de riego en mm/ día
Fr :	Frecuencia de riegos en días
DAP :	Densidad aparente del suelo (gr/cm ³)

• Tiempo de riego

Es el tiempo necesario para aportar la dosis de riego.

$$tr = Dn * (d1 * d2) / qa \quad (15)$$

Donde:

tr :	Tiempo de riego en horas.
d1 :	Distancia entre emisores m.
d2 :	Distancia entre laterales de riego m.
qa:	Caudal nominal de descarga del emisor en l/h.

4.3. El cultivo de quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) tiene sus orígenes en la región andes. Siendo cultivada por miles de años, encontrándose las áreas de mayor concentración en el Altiplano del Perú y Bolivia, según INIA (2003).

4.3.1. Importancia del cultivo de la quinua

Debido a su alto valor nutritivo para la alimentación, los pueblos indígenas y los investigadores lo denominan “el grano de oro de los Andes”. La quinua tiene una extraordinaria versatilidad para adaptarse a diferentes pisos agroecológicos. Se adapta a climas desde el desértico hasta climas calurosos y secos, puede crecer con humedades relativas desde 40% hasta 88%, y soporta temperaturas desde -8°C hasta 38°C. Es una planta eficiente al uso de agua, es tolerante y resistente a la falta de humedad del suelo y permite producciones aceptables con precipitaciones de 100 a 200 mm según PROINPA, FAO ALC (2011). Por estas características en 1996 la quinua fue catalogada

por la FAO como uno de los cultivos promisorios de la humanidad, no sólo por sus grandes propiedades nutricionales y por sus múltiples usos, sino también por considerarla como una alternativa para solucionar los graves problemas de nutrición humana. La distribución geográfica de la quinua en América del Sur se extiende desde los 5° Latitud Norte (Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia), hasta los 43° Latitud Sur (Argentina y Chile) y su distribución altitudinal varía desde el nivel del mar hasta los 4 000 msnm, con mayor diversidad genética en el altiplano de Perú y Bolivia (Cuenca del Lago Titicaca); en tal sentido, se tienen quinuas del Altiplano, de los Salares, de los Yungas y a nivel del mar. Los principales productores del mundo son Bolivia y Perú. El año 2008 la producción de ambos países representó el 92% de la quinua producida en el mundo.

Las variedades mejoradas de quinua obtenidas por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), mediante el Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos Andinos son cuatros entre las cuales destaca Salcedo INIA e INIA 431-Altiplano, La variedad INIA 431-Altiplano fue liberada el año 2013, el mejoramiento para la obtención de dicha variedad se realizó de 1997 a 2012, como respuesta a la demanda de los productores por disponer de quinuas de grano grande y dulce requerido por el mercado, INIA (2003).

4.3.2. Zonas agroecológicas potenciales de producción de quinua en el Perú

La producción de quinua en el Perú se concentra principalmente en el altiplano y los valles interandinos, con tendencia creciente del cultivo en la costa por sus características agroclimáticas favorables para la producción, en siembras de invierno – Primavera.

De acuerdo a la elasticidad genética del cultivo existen tres zonas potenciales de producción: el altiplano de Puno, que alberga la mayor superficie y volúmenes de producción, los valles interandinos y finalmente la costa peruana donde se han adaptado variedades comerciales procedentes del altiplano, precisamente estos últimos años se han logrado la adaptación de cultivares para la costa, habiéndose desarrollado, experiencias de producción en altitudes de 1000msnm (Yunga de Arequipa), así como también a nivel del mar (Mala, Barranca). Esta clasificación agroecológica se complementa con la revisión de las características varietales y los resultados de respuesta de la quinua a diferentes condiciones climáticas, y el potencial para la generación de nuevas variedades adaptables al contexto actual de cambio climático, según Vidal et al. (2013).

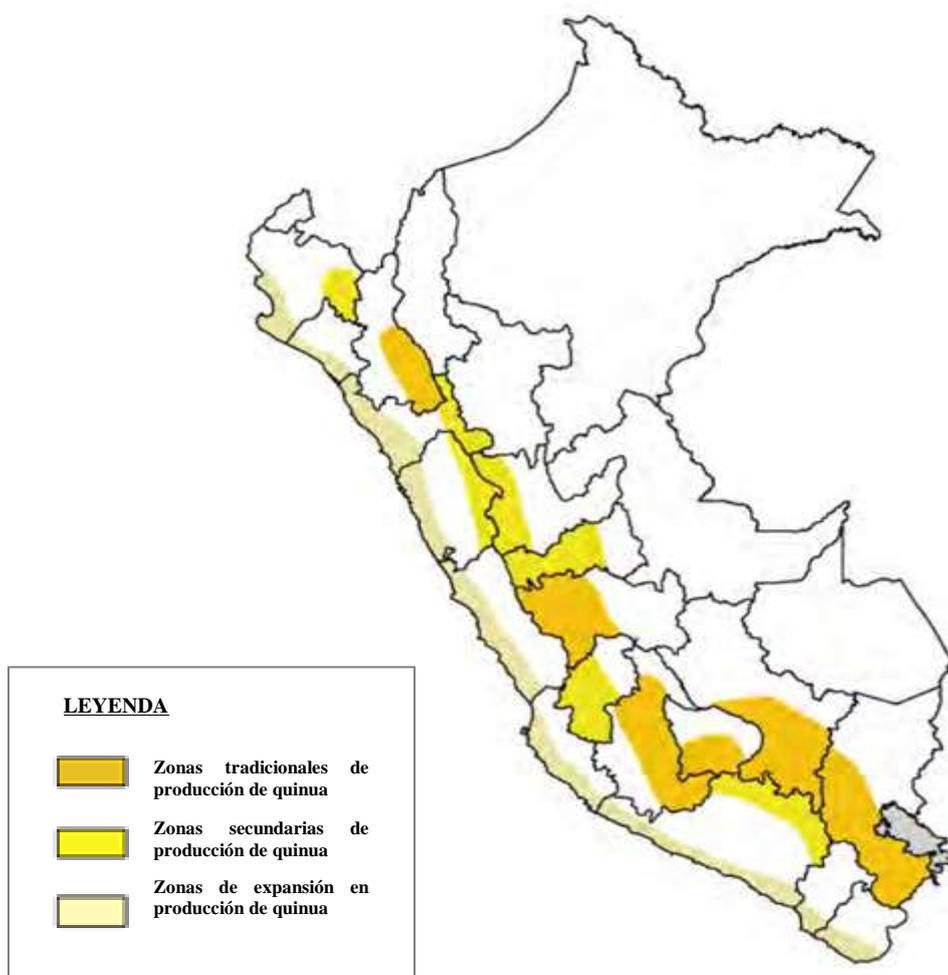


Figura 4. 3 Zonas de producción de quinua en el Perú INIA, FAO (2013)

Tabla 4.2 Taxonomía y descripción botánica de la quinua

Posición taxonómica de la quinua	
Reino:	Vegetal
División:	Fanerógamas
Clase:	Dicotiledoneas
Sub clase:	Angiospermas
Orden:	Centrospermales
Familia:	Amaranthacea
Sub familia	chenopodiodeal
Género:	<i>Chenopodium</i>
Sección:	Chenopodia
Subsección:	Cellulata
Especie:	<i>Chenopodium quinoa</i> <i>Willdenow</i>

Descripción botánica y agronómica

La quinua es una planta herbácea anual, dicotiledónea de amplia dispersión geográfica, con características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se cultiva. Presenta enorme variación y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y se cultiva desde el nivel del mar hasta 4 000 msnm; muy tolerante a factores climáticos adversos como sequía, heladas, salinidad de suelos entre otros que afectan al cultivo. Su periodo vegetativo varía desde 90 hasta 240 días, crece con precipitaciones desde 200 a 280 ml anuales, en la zona de los salares hasta 1000 ml anuales en el sur de Chile, se adapta a suelos ácidos de pH 4,5, hasta alcalinos con pH de 9,0. Asimismo prospera en suelos arenosos hasta los arcillosos, la coloración de la planta es también variable con los genotipos y etapas fenológicas, desde el verde hasta el rojo, pasando por el púrpura oscuro, amarillo, anaranjado granate y demás gamas que se puedan diferenciar.

Planta: Es erguida, alcanza alturas variables desde 0.60 a 3.00 m, dependiendo del tipo de quinua, los genotipos, de la fertilidad de los suelos y las condiciones ambientales donde crece.

Raíz: Es pivotante, vigorosa, profunda, puede alcanzar hasta 1,80 cm de profundidad, bastante ramificada y fibrosa, lo cual le confiere resistencia a la sequía y buena estabilidad a la planta.

Tallo: Es cilíndrico en el cuello de la planta y angulosos a partir de las ramificaciones, de coloración variable desde el verde al rojo, muchas veces presenta estrías y también axilas pigmentadas de color, verde rojo o púrpura.

Hojas: 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, 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.

Inflorescencia: Es una panoja típica, constituida por un eje central y ramificaciones secundarias, terciarias y pedicelos que sostienen a los glomérulos. Puede ser del tipo Glomerulante Intermedia y Amarantiforme de acuerdo a la variedad, puede ser laxa intermedia. La longitud de la panoja es variable, dependiendo de los genotipos, tipo de

quinua, lugar donde se desarrolla y condiciones de fertilidad de los suelos, alcanzando de 30 a 80 cm de longitud por 5 a 30 cm de diámetro, el número de glomérulos por panoja varía de 80 a 120 y el número de semillas por panoja de 100 a 3000, encontrando panojas grandes que rinden hasta 500 gramos de semilla por inflorescencia.

Flores: Son pequeñas, con tamaño máximo de 3 mm, incompletas, sésiles y desprovistas de pétalos, son hermafroditas y pistiladas (femeninas) y androestériles, tienen 10% de polinización cruzada.

Fruto: Es un aquenio, tiene forma cilíndrica- lenticular, levemente ensanchado hacia el centro. Está constituido por el perigonio que envuelve a la semilla por completo, y contiene una sola semilla, de coloración variable, la cual se desprende con facilidad a la madurez.

El fruto maduro sin el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, presentando las siguientes partes bien definidas que son: Pericarpio o envoltura del fruto donde se encuentra la saponina que le da un sabor amargo al grano y cuya adherencia a la semilla es variable con los genotipos y Episperma o envoltura de la semilla está formado por dos cotiledones y la radícula y constituye el 30% del volumen total de la semilla, el cual envuelve al perisperma como un anillo, con una curvatura de 320°, es de color amarillo, mide 3,54 mm de longitud y 0,36 mm de ancho.

Perisperma: es el principal tejido de almacenamiento y está constituido principalmente por granos de almidón, es de color blanquecino y representa prácticamente el 60% de la superficie de la semilla.

4.3.3. Fenología

La fenología, es el estudio de los cambios externos diferenciables y visibles que muestran las plantas como resultado de sus relaciones con las condiciones ambientales (temperatura, luz, humedad, suelo) del lugar donde se desarrollan. La fenología mide las diferentes fases de desarrollo de la planta, a través de la observación y determina los distintos eventos de transformación fenotípica de la planta, dando rangos de tiempo comprendidos entre una y otra etapa (Mujica, 2006).

Apaza (2009), determinó que la fenología de la quinua de la variedad INIA 431 – Altiplano, atraviesa por 12 fases importantes y claramente distinguibles las fases son las siguientes:

Tabla 4.3 Fenología de la variedad INIA 431 - Altiplano

Nº	Fase Fenológica	Descripción
1	Emergencia	Se observa las hojas cotiledonales, esto ocurre a los 6 a 8 dds.
2	Formación de dos hojas verdaderas	Fuera de las hojas cotiledonales, aparecen dos hojas verdaderas, ocurre entre 10 a 12 dds.
3	Formación de cuatro hojas verdaderas	Se observan dos pares de hojas verdaderas, ocurre de los 15 a 20 dds.
4	Seis hojas verdaderas	Hojas extendidas, protección al ápice vegetativo, ocurre de 25 a 35 dds.
5	Ramificación	Ocho hojas extendidas, ocurre entre los 35 a 40 dds
6	Inicio de Panojamiento	Se observa que va emergiendo del ápice de la planta, alrededor hay aglomeración de hojas pequeñas que cubren la panoja (40 a 50 dds)
7	Panojamiento	La inflorescencia sobresale con claridad por encima de las hojas y se observa los glomérulos que lo conforman y en su base los botones florales, ocurre de 50 a 60 dds.
8	Inicio del Floración	Ocurre a los 60 a 65 dds, en esta fase es bastante sensible a la falta de agua.
9	Floración	Cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas. Ocurre a los 70 a 75 dds.
10,11	Grano Lechoso, Grano Pastoso	Ocurre entre los 80 a 105 dds, los granos al ser presionados dejan salir un líquido lechoso y pastoso es cuando los granos al ser presionados presentan una consistencia pastosa.
12	Madurez Fisiológica	Es cuando el grano formado es presionado por las uñas y presenta resistencia a la penetración, aproximadamente ocurre a los 109 a 120 dds, el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16 %.

Fuente: INIA (2013)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

5.1.1. Ubicación de la zona experimental

El trabajo de investigación se realizó en el Programa Nacional de Innovación Agraria (INIA) - Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos (PNIA) Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, ubicada en el departamento de Lima, provincia del de Lima, dentro del distrito de La Molina a una altitud de 241 m.s.n.m. Geográficamente se encuentra ubicada a los 12°04'36" latitud Sur y 76°56'43" longitud Oeste.

5.1.2. Características climáticas de la zona

En cuanto a las temperaturas registradas se tuvo una máxima de 25.4°C en el mes de octubre y una mínima de 12.41 °C en el mes de junio. La velocidad del viento se mantuvo con a un promedio de 3.38 m/s. La máxima humedad relativa fue 98.8% y se dio en los meses de julio y agosto y una mínima de 61.7 %, en el mes de octubre. Durante los meses de junio a octubre no hubo precipitaciones. La evapotranspiración de referencia máxima fue 3.77 mm/día en el mes de octubre. Observase en la Figura 5.2

5.1.3. Fuente de agua

Para el riego de la presente investigación se contó con aguas del reservorio INIA. Y de acuerdo al informe analítico de aguas de riego del Laboratorio de Aguas, Plantas y Fertilizantes de la UNALM. El agua presenta una conductividad eléctrica de 0.57 dS/m y según la clasificación de las aguas se caracteriza con un peligro de salinidad medio (C2). El SAR (Relación de Absorción de Sodio) es 0.42, el cual nos indica un bajo (S1) peligro de Na. El pH o grado de acidez del agua es 8.02 es ligeramente alcalino y según los estándares de calidad ambiental ECA) que establece que el pH normal para uso en riego es de 6,5 y 8,4. En conclusión las aguas del reservorio corresponden al tipo C2-S1, lo cual indica que el agua del reservorio INIA es apta para cualquier tipo de suelo y cultivo. Los resultados se presentan en la **Tabla 5.1**, se incluye el formato original en el Anexo 23 y 24.

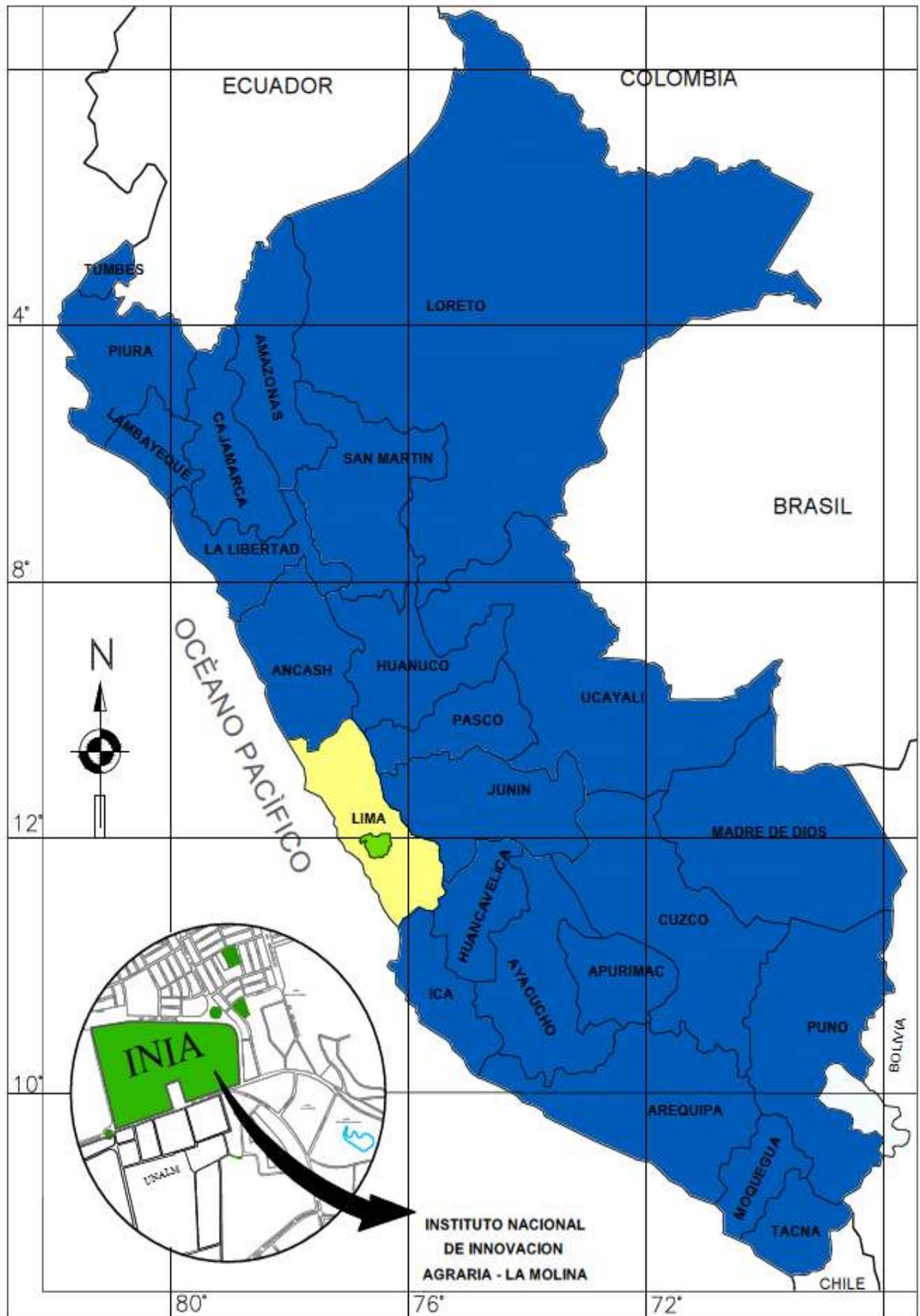


Figura 5. 1 Ubicación de la zona de estudio



Figura 5. 2 Condiciones meteorológicas diarias a lo largo de los meses de Junio a Octubre del 2014. Elaborado con información de la Estación Meteorológica Automática del SENASA, La Molina (HOBO H-21).

Tabla 5. 1 Análisis de agua

Determinación	Unidad	Valor
pH	-	7.08
C.E	dS/m	0.57
Calcio	meq/l	4.67
Magnesio	meq/l	0.66
Potasio	meq/l	0.09
Sodio	meq/l	0.68
Suma de Cationes		6.1
Nitratos	meq/l	0.04
Carbonatos	meq/l	0.00
Bicarbonatos	meq/l	2.41
Sulfatos	meq/l	1.46
Cloruros	meq/l	2.50
Suma de Aniones		6.41
Sodio	%	11.15
RAS		0.42
Boro	Ppm	0.13
Clasificación		C2-S1

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas, Aguas y Fertilizantes .UNALM

5.1.4. Suelo

Para la caracterización físico-química del área en estudio, se realizó un muestreo del suelo y se llevo al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria la Molina. De acuerdo al resultado el suelo presenta una textura Franco Arcillo Arenoso. Presenta una reacción ligeramente alcalina. La conductividad eléctrica es ligeramente salina. El porcentaje de materia orgánica es bajo, por lo tanto el porcentaje de nitrógeno en el suelo también es limitado. En conclusión es un suelo apropiado para instalar el sistema de riego por goteo, siendo apto para el cultivo de quinua.

Tabla 5. 2 Análisis de caracterización del suelo

Muestra (1:1)	pH	C.E. (1:1)	CaCO3 (%)	M.O. (%)	P (pmm)	K (ppm)	Análisis Mecánico			Clase textural	Cationes Cambiables (me/100g)					Suma de cationes	Suma de bases	% de saturación de bases	
							Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)		CIC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	Na ⁺¹				Al ⁺³ + H ⁺
Nº 4	7.59	1.11	0	1.38	13.5	105	50	26	24	Fr.Ar.A.	11.2	8.66	1.57	0.5	0.47	0	11.2	11.2	100

Fr.Ar.A.: Franco arcillo arenoso

Muestra	D.A. g/cm3	C.C %	P.M. %
Lote Nº 4	1.72	20.4	11.2

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas, Aguas y Fertilizantes .UNALM.

5.1.5. Sistema de riego

A. Componentes del sistema de riego por goteo INIA

La fuente de agua es captada del reservorio INIA y está ubicado a una altura de 3 metros, sobre las parcelas a regar, Dicha altura genera la presión necesaria para el riego.

El reservorio tiene una tubería de ingreso y otra de salida del agua, las misma que se instala a 0.5 m de la base del reservorio por se conduce el agua hacia los campos de cultivos. La tubería de salida se conecta con un filtro compuesto por una malla de 120 mesh (0.13mm) que realiza un tamizado superficial reteniendo aquellas partículas de tamaño superior al de los orificios de la malla (0.16mm), seguidamente este empalma con empalma a la tubería de salida el cual llega al cabezal principal de riego. Las características del reservorio se detallan en el plano N°1 – Anexo.

A continuación describiremos los componentes del sistema de riego por goteo INIA, los cuales que se detallaran en el plano N°2.

i. Válvula principal

La válvula principal regula el suministro de agua y está conectado con el tubo de filtro y su ubicación en un punto de salida 3.00 m abajo del reservorio. Esta válvula tiene como objetivo interrumpir el paso del agua en tuberías o secciones de ellas, controlando la cantidad de agua necesaria. Además cuenta con varios accesorios como piezas de PVC, hierro galvanizado (HG), polietileno (PE) y otros materiales que se utilizan en una instalación de riego por goteo para unir tuberías, de igual o distinto diámetro, hacer derivaciones, conectar válvulas, salvar obstáculos de terreno.

ii. Tanque de fertilización

El tanque de polietileno usado para aplicación de fertilizantes con el agua de riego. Tiene una capacidad de 200 litros, para realizar las operaciones de fertirrigación y cada parcela cuenta con un tanque por separado.

iii. Tubería de conducción y tubería secundaria

Es la tubería que conduce el agua desde el cabezal principal hasta los subcabezales que controlan cada uno de los sectores de riego. La tubería es de PVC de 90 mm. La tubería secundaria, es la tubería que conduce agua desde la tubería de conducción hasta el cabezal del sector de riego es la tubería que alimenta las laterales de riego. El material utilizado es el Polietileno de alta densidad PEAD y el diámetro empleado es de 63 mm. Esta tubería se encuentra enterrada.

iv. Arco de Riego

Permiten controlar la presión y caudal que ingresa a la unidad de riego. Está compuesto por una (01) válvula de control, la cual controla la salida del agua hacia el sector de riego por goteo. La válvula de 2" obedece al riego por goteo. El material utilizado es el Polietileno de alta densidad.

v. Lateral de Riego

Las laterales de riego se extienden a lo largo de la hilera del cultivo y transporta el agua desde la tubería secundaria hasta los emisores y de estos al suelo. La cinta de riego es de 16 mm de diámetro con goteros separados cada 20 cm con un caudal nominal 0.5 l/h. En la Figura 5.5.se muestra el esquema del sistema de riego por goteo.

B. Componentes del sistema de riego por exudación

El sistema podría regar directamente con la captación de las aguas del reservorio, pero por motivos de un mejor control se consideró tener cilindro de 200 litros ubicado en el cabezal y ubicado a 1m sobre el nivel de la parcela, así se aprovecha la fuerza de la gravedad por diferencia de altura generada. A continuación describiremos los componentes del sistema de riego por goteo INIA, los cuales que se detallaran en el plano N°3

i. Tanque regulador de caudal

Se empleo un cilindro de polietileno de 200 litros como tanque regulador del caudal, manteniendo constante la presión de riego a un metro de columna de agua, en el cual se instalaron un medidor de agua y una válvula de paso, el medidor de agua fue marca ELSTER de diámetro 3/4", que se encargó de medir con un caudal nominal de 1.5 m³/h y un caudal mínimo de 30l/h y la válvula de paso de 3/4" de PVC.

ii. Tanque de fertilización

Consistió en un cilindro de polietileno de 100 litro para el fertirriego, que se encuentra sobre un soporte de metal, a lado del tanque regulador de caudal.

iii. Tubería principal y secundaria

La tubería principal es la tubería PVC que conduce las aguas desde el reservorio al tanque regulador, con un diámetro de 90 mm y la tubería secundaria es la que conduce desde el arco de riego hasta el cabezal del sector de riego. Es la tubería que alimenta las laterales de riego. El material utilizado es el Polietileno de alta densidad PEAD y el diámetro empleado fue de 63 mm.

iv. Laterales de riego

Las cintas de exudación son tuberías porosas, membrana compuesta de microfibras de polietileno entrecruzadas, formando una malla en la que los poros tienen un tamaño medio de 4-5 micras y ocupan el 50% de la superficie de la membrana. La fuerza motriz que impulsa al agua a salir a través de sus microporos es la diferencia de potencial entre el agua en el poro y el agua presente en el suelo que rodea, o sea, se trata de condiciones de flujo no saturado. Estas cintas tienen 15.2mm de diámetro interior, el caudal exudado por la cinta es variable (normalmente operaban entre 0.5 y 2 litros/metro/hora a una presión de 1 m.c.a.), en función de la calidad de las aguas, la presión de trabajo y el control de su limpieza. Fue empleado en largos periodos de riego y con muy alta frecuencia.

v. Otros

Los accesorios de conexión que se utilizó para los sistemas de riego goteo y exudación fueron 8 microtubos de P.E. de 6.5 mm de diámetro y 9 cm de largo, 8 conos de conexión, niples, tees, cinta teflón, pegamento. Además se utilizó un piezómetro que consistió en colocar manguera de nivel en el cabezal de riego sobre una madera graduada, en el cual se podía visualizar y medir la presión del sistema de riego por exudación.

5.1.6. Material genético

Se utilizó semilla básica de quinua de la variedad INIA 431- Altiplano. La semilla determina en gran medida el rendimiento en campo y la calidad del producto, considerando que es una semilla básica es una semilla de alta calidad.

Tabla 5. 3 Datos generales de la variedad INIA-Altiplano

Nombre de la variedad	Adaptación
INIA 431 - Altiplano	Zona agroecológica circunlacustre y suni del altiplano puneño entre los 3800 y 3950 msnm, con clima semi seco frio, precipitación pluvial de 400 a 560 mm, con temperaturas de 6° a 17°C, en suelos de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 7,8. Actualmente se cultiva en costa.
Lugar y año de liberación	
Región Puno, 2013	
Obtentor y mantenedor	Principales usos
Instituto Nacional de Innovación (INIA)	Consumo tradicional: Sopas, ensaladas (hojas), guisos, postres y bebidas.
Método de mejoramiento	
Cruza recíproca de la variedad Illpa INIA X Salcedo INIA.	Agroindustria: Perlada, laminada, molienda, fideos.

Fuente: Catalogo de variedades comerciales de quinua en Perú. INIA, FAO (2013).

Tabla 5. 4 Descripción morfológica de la variedad INIA 431-Altiplano

Descripción general	Detalle
Tipo de Crecimiento	: Simple
Ciclo Vegetativo	: 150 días (para el altiplano) : 120 días (para la costa)
Altura de planta	: 1,50 m
Rendimiento promedio de grano	: 3,00 t/ha
Características del tallo	Detalle
Forma del tallo principal	: Sin ángulos
Diámetro del tallo	: 2,10 a 2,50 cm
Presencia de axilas pigmentadas	: Ausentes
Presencia de estrías	: Presentes
Color de las estrías	: Verde claro
Color del tallo principal	: Verde
Presencia de ramificación	: Ausente
Características de la panoja	Detalle
Borde de las hojas inferiores	: Dentado
Dientes de las hojas	: 12 a 30 dientes
Longitud máxima del peciolo	: 5,00 a 6,50 cm
Longitud máxima de las hojas	: 9,00 a 12,00 cm
Anchura máxima de las hojas	: 8,40 a 10,20 cm
Color de las hojas	: Verde
Características de panoja	Detalle
Color de la panoja en la floración	: Verde
Intensidad del color de la panoja en la floración	: Tenue
Color de la panoja en la madurez fisiológica	: Blanca
Intensidad del color de la panoja en la madurez fisiológica	: Tenue
Forma de la panoja	: Amarantiforme
Longitud de panoja	: 33,80 cm
Densidad de la panoja	: Intermedia
Diámetro de panoja	: 8,60 cm
Longitud de los glomérulos	: 7,70 cm
Número de panojas por planta	: 1
Características de Grano	Detalle
Aspecto del grano	: Opaco
Color del perigonio	: Verde
Color del pericarpio	: Crema
Color del episperma	: Blanco
Color del perisperma	: Blanco
Forma del borde del grano	: Afilado
Forma del grano	: Cilíndrico
Uniformidad del color del grano	: Bastante uniforme
Latencia de la semilla	: Presente
Diámetro del grano	: 2,20 mm
Rendimiento de semillas por planta	: 30,50 g
Peso de 1 000 granos (g)	: 3,30 g

Fuente: Catalogo de variedades comerciales de quinua en Perú. INIA, FAO (2013).

5.1.7. Equipos, herramientas y software

Tabla 5. 5 Herramientas, equipos y software

Objetivo		Herramientas
i.	Realizar la prueba de coeficiente de uniformidad.	Probeta graduada, recipientes, cronómetro, bandeja de medición, lápiz, etiquetas.
ii.	Determinar la biomasa seca, alt.de planta y long. De raíz.	Regla, sobre, cronómetro, etiquetas, desecadora.
iii.	Determinar cobertura de canopy.	Bandeja (malla con marco de 0.5m x0.5m), cronometro, etiquetas.
iv.	Calculo del área foliar.	Tijera, cuaderno de campo, etiquetas, sobres de papel.
v.	Realizar la prueba de bulbo húmedo.	Lampa, regla, cronómetro, etiquetas;
vi.	Determinar la humedad del suelo.	Barreno, sobre de papel.
vii.	Determinación del rendimiento y sus componentes.	Hoz, costal, zaranda, vernier
viii.	Medición de las áreas de cada parcela	Wincha de 30 m
Equipos		
i.	Determinar imágenes de cobertura de canopy, área foliar	Cámara fotográfica
ii.	Obtención de la humedad del suelo, biomasa seca, peso de grano,	Balanza analítica, balanza precisión Estufa
iii.	Actividades fitosanitarias	Mochila fumigadora
iv.	Redacción de la tesis.	Laptop,
Software		
i.	Determinar el área foliar.	Sigma Scan
ii.	Determinar el área de la cobertura del canopy.	Autocad Civil
iii.	Para el análisis estadístico.	SAS (Statistical Analysis System) y Minitab
iv.	Diseño de gráficos	Graficador: GraphPad
v.	Cálculos y tablas	Otros: Microsoft Excel 2007.

5.2. Metodología

5.2.1. Manejo del cultivo

A. Preparación del terreno

Esta actividad se ejecutó de acuerdo a la preparación convencional en los terrenos de la costa, primero se realizó una aradura, luego dos pasadas de rastra, en seguida se trabajó el terreno con rastrillo tratando de nivelar el terreno (la semilla de la quinua requiere de

terrenos totalmente desterronados para su adecuada germinación), posteriormente se surco el terreno.

B. Fertilización

Para esta labor se utilizó una dosis de fertilización de 200N-150P-120K niveles recomendados para la costa, además se tomó en cuenta el contenido de P y K según el análisis de suelo. Las fuentes usadas fueron urea, superfosfato triple de calcio y cloruro de potasio. En la siembra se aplicó el fósforo y el potasio, en cuanto al nitrógeno, se fraccionó a 50% y el otro 50% al momento del aporque.

C. Siembra

La siembra se hizo con la sembradora manual de quinua Fisher (modelo. Horti-100), En la sembradora se puede regular la profundidad de siembra de 1 a 4cm, tapa la semilla así como también la densidad de siembra con pequeños ajustes en los calibradores. Esta labor fue realizada el 17 de junio del 2014. La densidad de siembra fue 5 kg/ha. El distanciamiento entre surcos mellizos fue de 40 cm. Al momento del tapado se verificó que las semillas quedaran a una profundidad no mayor de 2cm. Antes a la siembra se desinfectó las semillas con los siguientes fungicidas (Benomil + Vitavax)

D. Desahije

Se eliminó las plantas débiles y pequeñas, dejando las vigorosas de 15 a 25 plantas por metro lineal para favorecer el mejor crecimiento y desarrollo. El desahije evita la competencia por nutrientes y permite el control de plagas y enfermedades garantizando una buena producción.

E. Control de malezas

Esta actividad se realizó de forma manual, en forma simultánea con el desahije, aprovechando la humedad del suelo los días después de riego.

F. Aporque

Esta labor se realizó después del deshierbo o control de maleza y cuando en la mayoría de plantas se empezaba a observar el panojamiento

G. Riegos

Se regó por medio de cintas de riego con una descarga por emisor nominal de 0,5l/h y un distanciamiento de 0.20 m, El riego se programó de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo (ETc). Bajo el riego por goteo se tuvo 21 riegos con una frecuencia de 5 días y un tiempo de riego de 4 horas y en exudación se tuvo 14 riegos con una frecuencia de 14 días y un tiempo de riego de 12 horas.

H. Control Fitosanitario

El cultivo en costa es susceptible a los siguientes problemas sanitarios:

- Chupadera fungosa (*Rhizoctonia Solani*), se tuvo la aparición en la etapa de emergencia, se controló con riegos moderados en el periodo de germinación y con una aplicación de BOTRIZIM 50 FW (Ingrediente activo: Carbendazim). Es un fungicida de tipo sistémico, su acción preventiva y curativa, controla los hongos patógenos evitando que estos penetren en las plantas.
- Mildiú (*Peronospora farinosa*), es una enfermedad producida por los hongos Oomycetes los cuales se producen por una humedad elevada y temperaturas entre 10 y 20°C. Fue el que causó mayores problemas en el cultivo y fue controlado con dos aplicaciones del fungicida RIDOMIL 68 WP (Ingredientes activos: Metalaxil-M + Mancozeb), la dosis de aplicación fue de (150gr/ 200 lt.).
- En la etapa de floración se tuvo la presencia de la mosca (*Liriomiza brasiliensis*) y se controló con aplicaciones de BAMECTIN (Ingrediente activo: Abamectina). La dosis de aplicación fue de (250 ml/cilindro).

Ataque de aves: Las aves ocasionan daños durante los primeros y últimos períodos vegetativos de la planta, especialmente en el estado lechoso, pastoso y de madurez fisiológica del grano. Cuando picotean la panoja, producen la caída de un gran número de semillas por desgrane o ruptura de los pedicelos de los glomérulos. En la costa, las aves pueden destruir por completo el cultivo en el momento de la emergencia de los cotiledones. El ataque es más notorio en las variedades dulces, Según Delgado (2014), a través del proyecto “Aves plaga del cultivo de la quinua y alternativas de control”, determinó que durante la campaña agrícola 2012-2013, los daños promedio ocasionados por aves plaga en el cultivo de la quinua bajo condiciones de costa (Arequipa) fue del orden de 11% de producción.

I. Cosecha

La cosecha se realizó una vez que las plantas llegaron a la madurez fisiológica, reconocible porque el grano, al ser presionado con las uñas ofrece resistencia que dificulta su penetración. Para llegar a esta fase transcurrieron 117 días. Esta labor fue realizada el día 11 de octubre del 2014. La actividad consta de cinco fases:

- i. Corte o siega: se cortaron con la hoz entre 10 a 15 cm por debajo de la panoja preferentemente en horas de la madrugada para evitar que se derrame el grano y se va colocando en gavillas pequeñas.
- ii. Formación de parvas: consistió en colocar las panojas en un mismo sentido y formando montículos donde completarán su madurez y perderán humedad.
- iii. Trilla o azotado: se realizó cuando las plantas estuvieron totalmente secas y el grano se desprendió fácilmente mediante el golpeado.
- iv. Limpieza y venteo: se separaron los granos de la broza aprovechando la corriente de aire. Luego se utilizan tamices o zarandas que permitieron obtener la semilla limpia.
- v. Secado y Pesado: es recomendable almacenar cuando el grano alcanza 12% de humedad. Finalmente se determino la humedad de grano en el laboratorio del Programa Especial de la Autoridad en Semillas - PEAS, verificando así el porcentaje de humedad adecuada para la determinación del Rendimiento.

Un cronograma de las actividades desarrolladas y detalles del manejo del cultivo, bajo el riego por goteo y exudación y se observa a continuación en las Tablas 5.6 y 5.7, respectivamente.

Tabla 5. 6 Cronograma de actividades realizadas en la conducción del experimento bajo el sistema por goteo, en el cultivo de quinua de la variedad 431-Altiplano

Fecha	Labor Realizada
08/05/14	Muestreo y análisis de Suelo
13-14/05/14	Gradeo, nivelación
15/06/14	Surcado
16/06/14	Instalación de las cinta de goteo marca :Aqua Traxx PC, Autocompensante,@0.20 cm , Ø 16mm, Q= 0.51 l/h
17/06/14	Fertilización de fondo en una dosificación de 200N* -150P -120K
17/06/14	Siembra y primer riego
22/06/14	Segundo riego
27/06/14	Primera aplicación de fungicida BOTRIZIM 50 W (Carbendazim) para prevenir de la chupadera(<i>Rhizoctonia Solani</i>), en la etapa de emergencia, Tercer riego
03/07/14	Cuarto riego
07/07/14	Quinto riego
10/07/14	Aplicación de bionutriente líquido AMINOVIGOR (Abono liquido de pescado) regulador nutricional de la planta, promueve la fotosíntesis.
11/07/14	Desahije y desmalezado
12/07/14	Sexto riego
18/07/14	Segunda aplicación de fungicida RIDOMIL 68 WP (Metalaxil + Mancozeb), para prevenir el Liriomiza brasiliensis (<i>Peronospora farinosa</i>) y séptimo riego
22/07/14	Octavo riego
27/07/14	Noveno riego
31/07/14	Aporque, remoción con punta entre surcos mellizos.
01/08/14	Décimo riego
05/08/14	Tercera aplicación de fungicida RIDOMIL 68 WP (Metalaxil + Mancozeb) para curar el mildiú (<i>Peronospora farinosa</i>)
06/08/14	Undécimo riego
11/08/14	Duodécimo riego
16/08/14	Aplicación Insecticida- Acaricida BAMECTIN (Abamectina) para el control de la mosca (<i>minadora Liriomyza huidobrensis</i>), Decimotercero riego
21/08/14	Decimocuarto riego
23/08/14	Aplicación de micronutrientes Bionut, BIO-NUT bioestimulante y nutriente foliar, prepara a la planta para una buena floración y fructificación.
26/08/14	Decimoquinto riego
31/08/14	Decimosexto riego
05/09/14	Decimoséptimo riego
10/09/14	Decimooctavo riego
15/09/14	Decimonoveno riego
20/09/14	Vigésimo riego
25/09/14	Último riego
11/10/14	Cosecha (Siega ,pesado y emparvado)

* En la siembra se aplicó el fósforo y el potasio y en cuanto al nitrógeno se fraccionó a 50% y el otro 50% al momento del aporque.

Tabla 5. 7 Cronograma de actividades realizadas en la conducción del experimento bajo el sistema por exudación, en el cultivo de quinua de la variedad 431-Altiplano

Fecha	Labor Realizada
08/05/14	Muestreo y análisis de Suelo
13-14/05/14	Gradeo, nivelación
15/06/14	Surcado
16/06/14	Instalación de las cinta de exudación, microfibras de polietileno, Ø 16mm, Q= 0.5- 1.5 l/h/m
17/06/14	Fertilización de fondo en una dosificación de 200N* -150P -120K
17/06/14	Siembra y primer riego
27/06/14	Primera aplicación de fungicida BOTRIZIM 50 W (Carbendazim) para prevenir de la chupadera(<i>Rhizoctonia Solani</i>), en la etapa de emergencia
02/07/14	Segundo riego
03/07/14	Primera aplicación de Confidor: Abamectina
10/07/14	Aplicación de bionutriente líquido AMINOVIGOR (Abono líquido de pescado) regulador nutricional de la planta, promueve la fotosíntesis.
11/07/14	Desahije y desmalezado
16/07/14	Tercer riego
17/07/14	Tercera aplicación de plaguicida. Dorsan y Dethomil
18/07/14	Fertirrigación nitrogenado (urea) y aplicación Nativo 75 WG y Aminovigor
30/07/14	Cuarto riego
31/07/14	Aporque, remoción con punta entre surcos mellizos.
05/08/14	Tercera aplicación de fungicida RIDOMIL 68 WP (Metalaxil + Mancozeb) para curar el mildiú (<i>Peronospora farinosa</i>)
13/08/14	Quinto riego
16/08/14	Aplicación Insecticida- Acaricida BAMECTIN (Abamectina) para el control de la mosca (<i>minadora Liriomyza huidobrensis</i>)
23/08/14	Aplicación de micronutrientes Bionut, BIO-NUT bioestimulante y nutriente foliar, prepara a la planta para una buena floración y fructificación.
27/08/14	Sexto riego
10/09/14	Séptimo riego
24/09/14	Último riego
11/10/14	Cosecha (Siega ,pesado y emparvado)

* En la siembra se aplicó el fósforo y el potasio, en cuanto al nitrógeno se fraccionó a 50% y el otro 50% al momento del aporque.

5.2.2. Diseño experimental

Se evaluó el efecto de dos sistemas de riego en el desarrollo agronómico del cultivo de quinua variedad INIA 431- Altiplano. Siendo R0, para el sistema de riego por goteo y R1, para el sistema por exudación. Para ello se utilizaron cuatro bloques en cada tratamiento, como se aprecia en la Figura 5.6.

Se utilizó un análisis de la varianza para valorar el nivel de significación de los tratamientos. Para comparar la diferencia entre los valores medios de los tratamientos se realizó también la Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para comparar medias. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SAS.

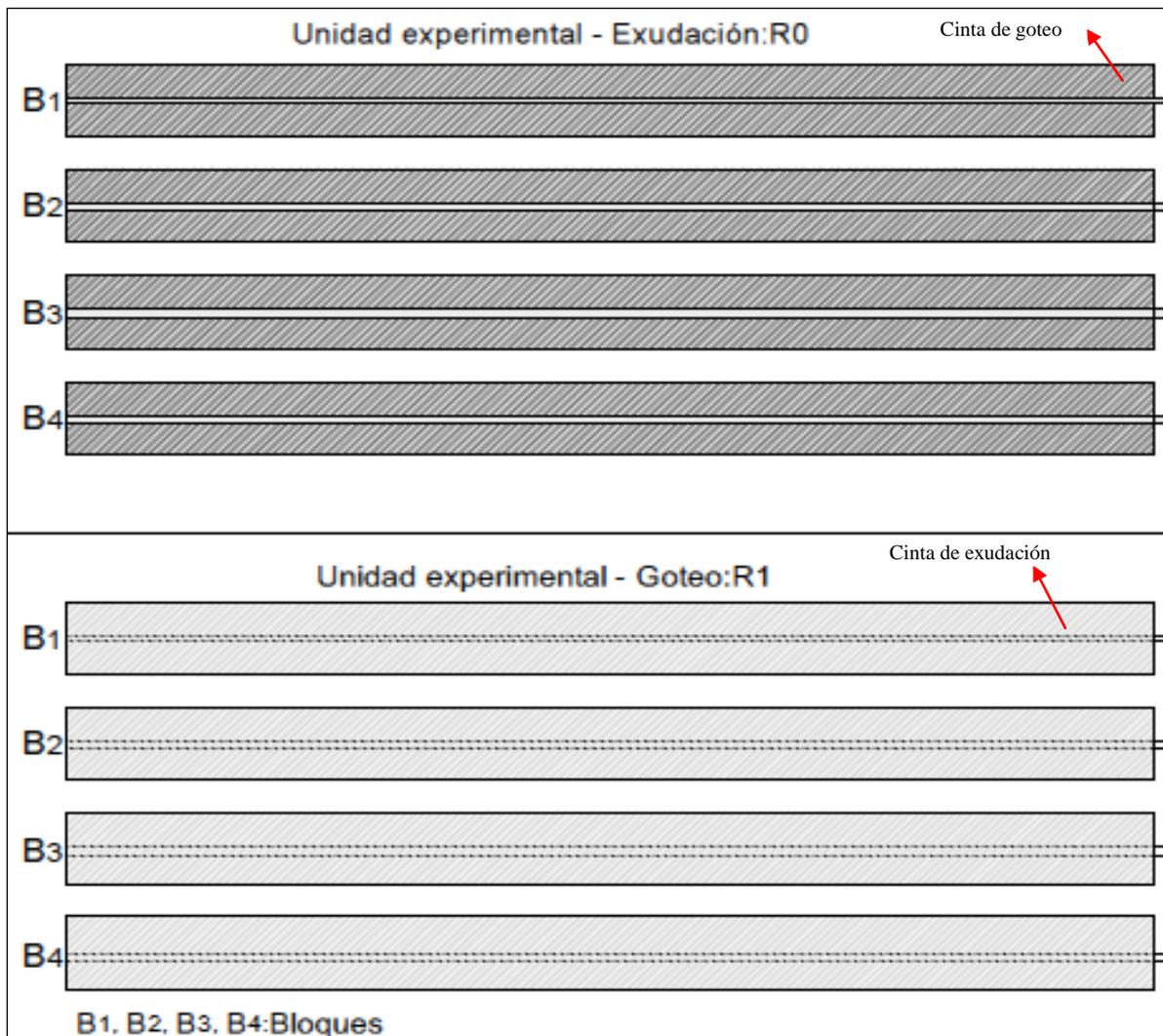


Figura 5. 3 Diseño experimental: Dos tratamientos R0 (riego por goteo) y R1 (riego por exudación) y cuatro bloques en cada tratamiento.

5.3. Evaluaciones experimentales:

5.3.1. Demanda de agua del cultivo

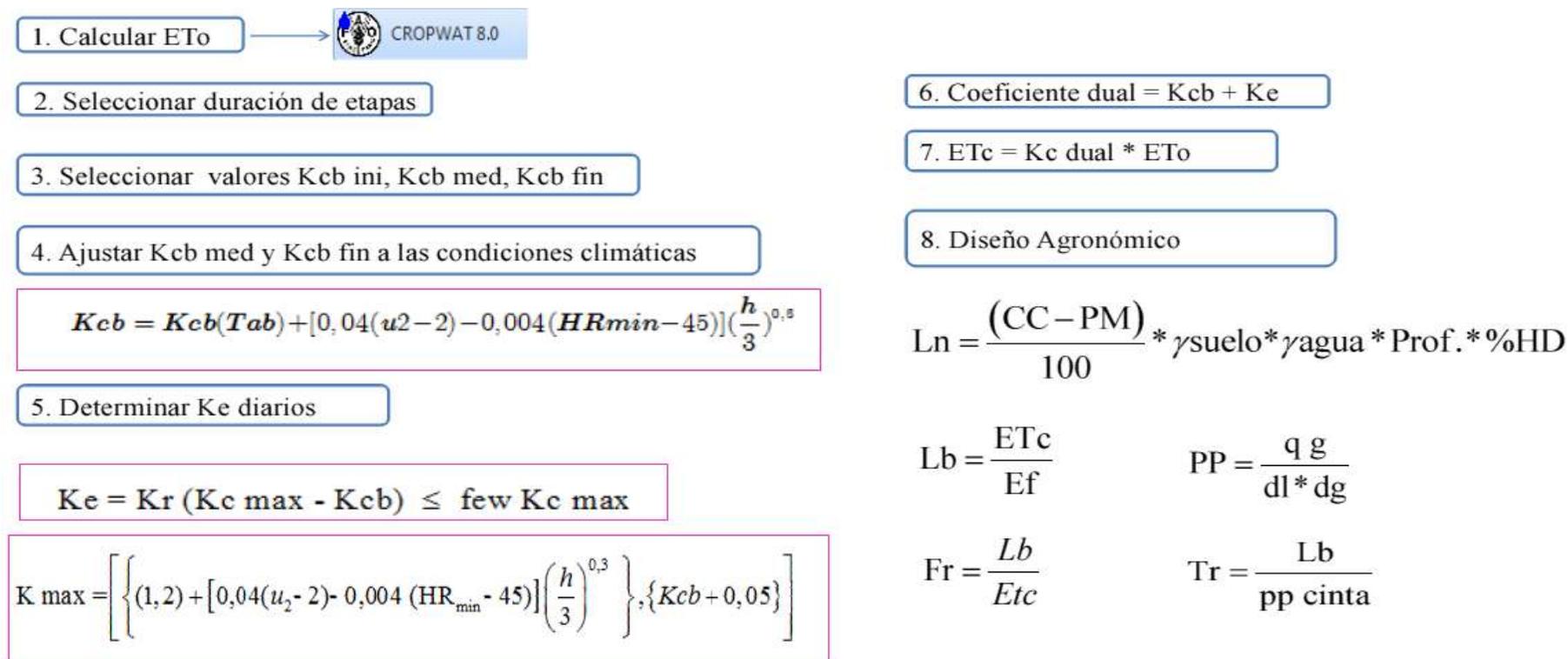


Figura 5. 4 Procedimiento general para calcular la evapotranspiración del cultivo, bajo la metodología Kc dual FAO (2006).

5.4.1. Coeficiente de uniformidad - Goteo

Este coeficiente indica el grado de uniformidad de aplicación del riego dentro de la unidad operacional a la que pertenece la sub-unidad evaluada. El procedimiento utilizado para la medición del coeficiente de uniformidad (CU) fue el de Merriam y Keller (1978).

El procedimiento consistió en seleccionar la unidad de riego, luego se seleccionan 4 laterales: el primero, el último y los situados a un tercio y dos tercios del punto de alimentación. En dichos laterales se eligen 4 plantas, con el mismo criterio que el descrito para la selección de los laterales, de forma que se evalúen un total de 16 plantas. Se puso en funcionamiento la instalación según las condiciones normales de manejo y se recogió y se midió durante un tiempo determinado. Con los datos obtenidos en campo se calculó la uniformidad de emisión.

Tabla 5. 8 Valores recomendados para caracterizar el coeficiente de uniformidad, Según Merriam y Keller (1978)

Funcionamiento	Valores de CU
Excelente	90%-100%
Bueno	80%-90%
Aceptable	70%-80%
inaceptable	< 70%

El coeficiente de uniformidad de riego del cuarto más bajo CU_{25} se calculó según la siguiente expresión: $CU_{25} = 100x \left(\frac{q_{med}}{q_{25}} \right)$ (7)

Donde: q_{med} es el caudal medio de las 16 zonas medidas en (l/h) y q_{25} es el caudal medio de las 4 zonas con menor caudal en (l/h).

5.4.2. Coeficiente de uniformidad - Exudación

El procedimiento utilizado para la medición del coeficiente de uniformidad (CU) fue el de Merriam y Keller (1978) y el Coeficiente de variación total de caudales (CV) según Bralts y Kesner (1998). El procedimiento consistió en seleccionar la unidad de riego, luego se seleccionan 4 laterales: el primero, el último y los situados a un tercio y dos tercios del punto de alimentación. En dichos laterales se eligen 4 plantas, con el mismo criterio que el descrito para la selección de los laterales, de forma que se evalúen un total de 16 plantas.

Se puso en funcionamiento la instalación según las condiciones normales de manejo y se recogió el caudal precipitado en una bandeja de medición (un metro lineal de tubo de 2”

cortado transversalmente) y fue necesario excavar en el lugar donde se encuentran los emisores, para poder medir el volumen, decir su caudal horario. Con los datos obtenidos en campo se calculó la uniformidad de emisión de la unidad

El coeficiente de uniformidad de riego del cuarto más bajo CU_{25} se calculó según la siguiente expresión: $CU_{25} = 100 \times \left(\frac{q_{med}}{q_{25}} \right)$ (7)

Donde: q_{med} es el caudal medio de las 16 zonas medidas en (l/h) y q_{25} es el caudal medio de las 4 zonas con menor caudal en (l/h).

5.4.3. Prueba de bulbo húmedo - Goteo

Para el sistema de riego por goteo se determinó de las características hidráulicas del suelo utilizando el método de Shani et al. (1987), para lo cual, se midió los radios de humedecimiento de los emisores para cada uno de los siguientes tiempos de aplicación: 1 hora, 2 horas, 3 horas con sus respectivas repeticiones. Los bordes del área humedecida se determinaron visualmente. Un promedio del diámetro fue estimado midiendo el diámetro observado en diferentes direcciones. Finalizado el tiempo de aplicación se abrió una zanja, según la línea recta que pasa por el punto donde está situado el emisor.

5.4.4. Variables biométricas

Las evaluaciones se llevaron a cabo durante 8 evaluaciones los cuales fueron a: 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 días después de la siembra. Por cada parcela se midieron 4 plantas en los surcos centrales. Las variables biométricas evaluadas fueron:

Longitud de raíz (cm), se midió la raíz principal desde la base hasta del cuello de la raíz.
Altura de planta (cm), se midió desde la base de la planta hasta el punto apical de la panoja.

Biomasa aérea (g/planta), se cortaron las plantas a la altura del cuello, al momento de la cosecha y se determinó el peso fresco.

5.4.5. Rendimiento

Se cosecharon de los surcos centrales de cada parcela, tres bloques con un área efectiva de 1 m^2 , para ambos tratamientos. Posteriormente se determinó el rendimiento corregido a 12% de humedad y se transformaron a Kg/ha.

5.4.6. Parámetros agronómicos

La evaluación se realizó semanalmente a partir de día 52 después de la siembra (DDS) hasta 108 (DDS), para la determinación de la cobertura de canopy e índice de área foliar por cuanto ambas evaluaciones requieren de una alta intensidad de muestreo. Por otro lado la evaluación de índice de cosecha rendimiento y volúmenes de agua se calcularon con los datos de rendimiento y volumen de agua consumido.

Cobertura de canopy ó Desarrollo del dosel (CC) %

La para la evaluación de la cobertura de canopy es importante tener despejado el cielo en el horario de 12 am. Para una mejor explicación se desarrollo un protocolo de medición de cobertura de canopy. Véase en la Figura 5.5

Índice de área foliar (IAF)

Para determinar el (ÍÁF), se transformó el área total por planta en cm² a m² y se dividió entre 0,028 m² que representa el área efectiva de suelo (área de referencia) ocupada por cada planta de acuerdo a la población de plantas. Para una mejor explicación se desarrollo un protocolo de medición del índice de área foliar. Véase en la Figura 5.6

Índice de cosecha (IC)

Es la relación entre el peso del grano y el peso en seco de toda la planta, incluyendo la el peso del grano.

$$IC = (PG/PB+PG * 100)$$

Donde: PG: Peso de Grano PB: Peso de Broza

Eficiencia del uso del agua (EUA)

La eficiencia del uso del agua o llamado también productividad media, viene a ser el cociente de relacionar el rendimiento del producto (kg/ha) por unidad de agua usada en la evapotranspiración (m³/ha). La productividad media esta expresada en kg/m³.

5.4.7. Análisis Financiero

Una vez concluida la investigación, se procedió a determinar el Beneficio/ Costo de cada tratamiento evaluado; tomando en cuenta costos de producción: sistema de riego, fertilizantes y control fitosanitario, establecimiento del cultivo (siembra, cosecha y Poscosecha). El análisis financiero se realizó por el método de presupuesto parcial.

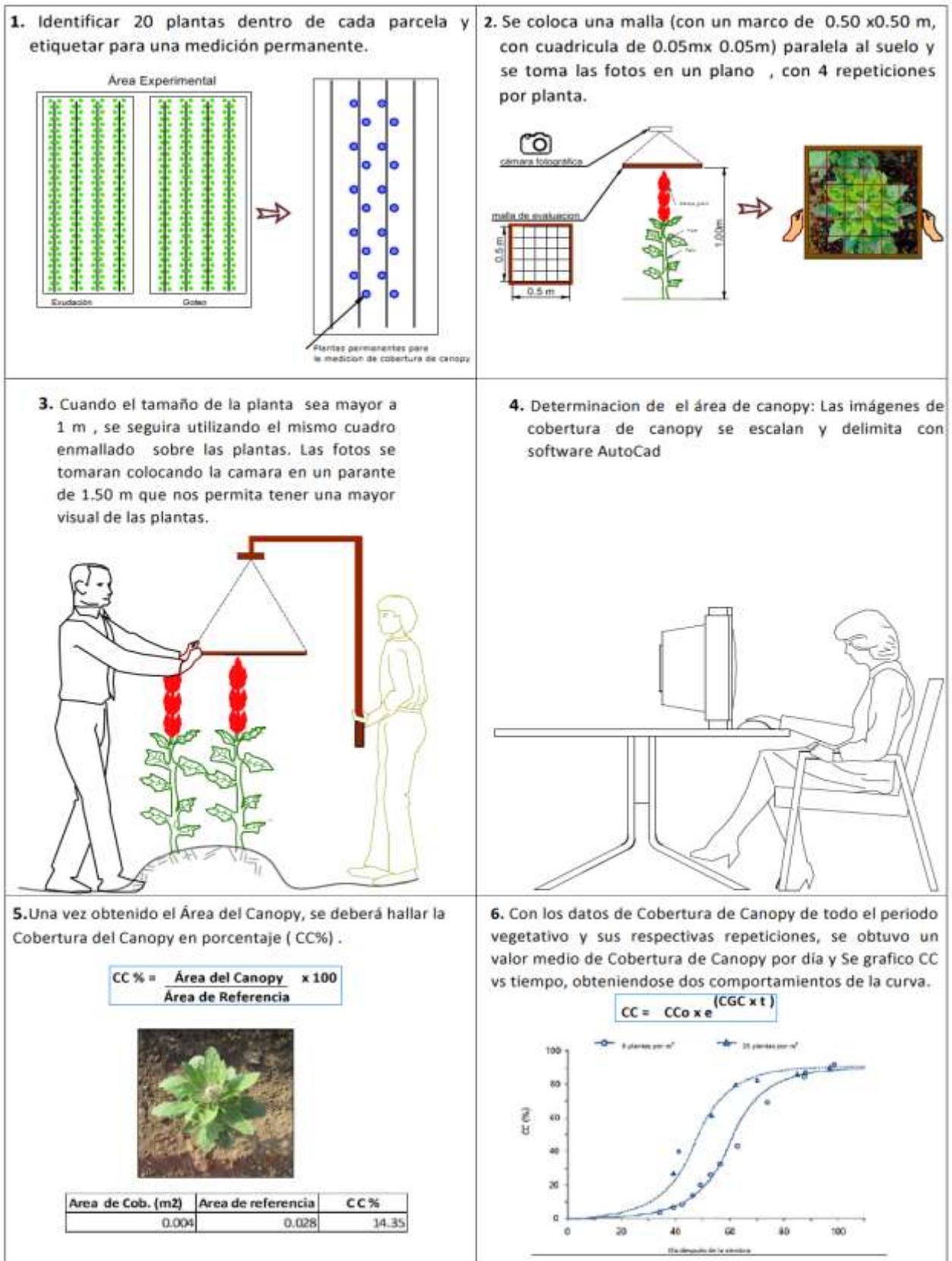
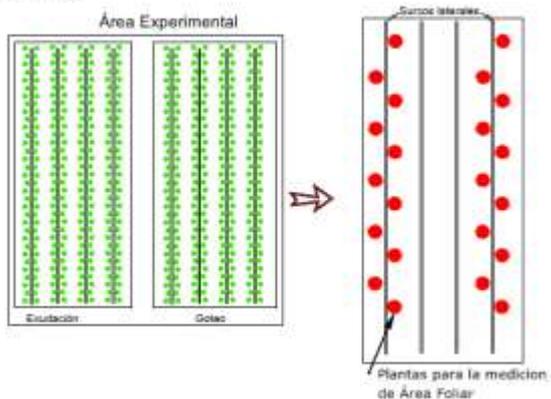


Figura 5. 5 Protocolo para la medición de cobertura de canopy

Fuente: Elaboración propia

1. Identificar 4 plantas en los surcos laterales por cada parcela.



2. Se arrancan las 4 plantas, se etiquetan y se llevan al laboratorio para deshojarlo. Una vez deshojado se identifican las hojas del mismo tamaño y se hace la contabilidad por grupos. Es decir el tamaño mas grande llamada A , el tamaño mediano llamada B y así sucesivamente el resto de grupos existentes. .



Tamaño de hojas	ÁREA FOLIAR			
	Muestra 1		Muestra 2	
A	11	9	5	9
B	26	4	5	29
C	24	21	29	49
D	12	13	17	

4. Con el uso de software Sigma Scan determinamos # de pixel de cada hoja adicionalmente tenemos un area conocida en la esquina inferior derecha, el cual nos ayudara convertir el numero de pixel mediante una regla de tres a un area en m2.

# Pixel	Área
344127	0.00114843
245210	0.000818321
189635	0.000632855
154243	0.000514744
159919	0.000536686
81497	0.000271974
94501	0.000315371
69208	0.000230963
29965	0.0001

Área conocida

de pixel calculada por el programa

5. Una vez obtenido el Área del Foliar por cada planta se deberá hallar el Índice de Área Foliar .



6. Con los datos de Área foliar de todo el periodo vegetativo se grafica IAF vs tiempo, obteniéndose el comportamiento de la curva.

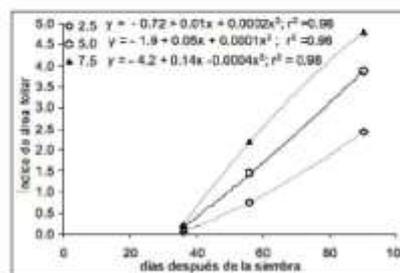


Figura 5. 6 Protocolo para la medición de índice de área foliar.

Fuente: Elaboración propia

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Demanda de agua del cultivo

La evapotranspiración de referencia (E_{To}) diario para el cultivo de quinua, durante el periodo de Junio a Octubre del 2014, fluctuaron entre un máximo valor de 3.68 mm /día en el mes de octubre y un valor mínimo de 1.16mm/día en el mes de julio, tal como se aprecia en la Figura 6.1.

El cálculo de valores diarios de la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}), se calculó con el uso del coeficiente del cultivo dual (K_c dual) compuesto por: el coeficiente de evaporación (K_e) y el coeficiente basal (K_{cb}), A continuación se describe cada etapa:

Durante la etapa inicial bajo riego por goteo, el K_c dual= 0.62, el K_e =0.46 y el K_{cb} =0.15. Mientras que por el riego por exudación, el K_c dual= 0.51, el K_e =0.35 y K_{cb} = 0.15. Observamos que los valores de K_e y K_c dual, bajo el riego por exudación son menores respecto a los de goteo, Precisamente esta diferencia se da debido el riego exudante es subterráneo por lo tanto, la evaporación en suelo es menor, evitando al máximo las pérdidas de agua por evaporación. Seguidamente se verifica la etapa de desarrollo que bajo riego por goteo el K_c dual se incremento desde 0.62 a 1.16, el K_e disminuyo de 0.45 a 0.10 y el K_{cb} incremento de 0.15 a 1.09. Mientras que por el riego por exudación, el K_c tomo valores de 0.15 hasta 1.09, el K_e decreció de 0.34 a 0.15 y K_{cb} permaneció con un valor constante. Durante esta etapa vemos que los valore de K_c dual y K_e presenta valores menores respecto a los de goteo, precisamente es debido a que esta esta comprendida desde el término de la etapa inicial hasta el momento que la planta alcanzó la cobertura efectiva y la evaporación en el suelo es menor, durante esta etapa se dio lugar el inicio de la floración en donde las hojas comenzaron a solaparse entre las plantas en hileras adyacentes lo que produjo un sombreado casi completo del suelo. Posteriormente esta la etapa mediados de temporada que bajo riego por goteo, el K_c dual = 1.23, El K_e = 0.1., Mientras que bajo riego por exudación, el K_c dual= 1.20 El K_e = 0.09, el K_{cb} bajo los dos sistemas de riego no mantuvieron diferencias alcanzando un valor máximo de 1.13 y

mínimo de 0.9. Esta comprende el período de tiempo entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez, durante esta etapa, el coeficiente K_c dual, alcanzó su valor máximo durante todo su ciclo vegetativo y por último etapa final, el valor de K_c dual, bajo riego por goteo, disminuyó de 1.17 a 0.92, el K_e se incrementó de 0.15 a 0.33 y el K_{cb} se redujo de 1.00 a 0.59. Mientras bajo el riego por exudación, el K_c dual disminuyó de 1.10 a 1.01, el K_e se incrementó de 0.1 a 0.45 y el K_{cb} se redujo de 1.00 a 0.59. Esta etapa comprende el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia, el K_c dual y K_e disminuye respecto al de goteo, es lógico esperar estos valores ya que en esta etapa la planta disminuye el consumo de agua, y por ende el riego exudante responde a la autorregulación del emisor frente a la poca necesidad de agua que necesita la planta. Véase en la Figura 6.2

El valor de K_{cb} durante el desarrollo de las cuatro etapas del cultivo, bajo condiciones de riego por goteo y exudación, mantuvieron mínimas diferencias, esto se puede explicar claramente considerando que el K_{cb} representa esencialmente el componente de la transpiración, el cual está influenciado directamente con los parámetros climáticos durante la etapa de desarrollo del cultivo, que para el caso fueron los mismos para las parcelas de riego.

Finalmente la variación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), bajo el riego por goteo y exudación brindaron un valor máximo de 3.97 y 3.96 mm/día en el mes setiembre y un mínimo de 0.81 mm/día y 0.80 mm/día en el mes de junio respectivamente. Es decir fue incrementándose en función a los parámetros meteorológicos y al desarrollo de las etapas, obteniéndose los valores más altos en la etapa de grano lechoso. Véase en la figura 6.1. Se muestran los cálculos diarios en los Anexos 13, 14, 15, 16 para la verificación de los cálculos.

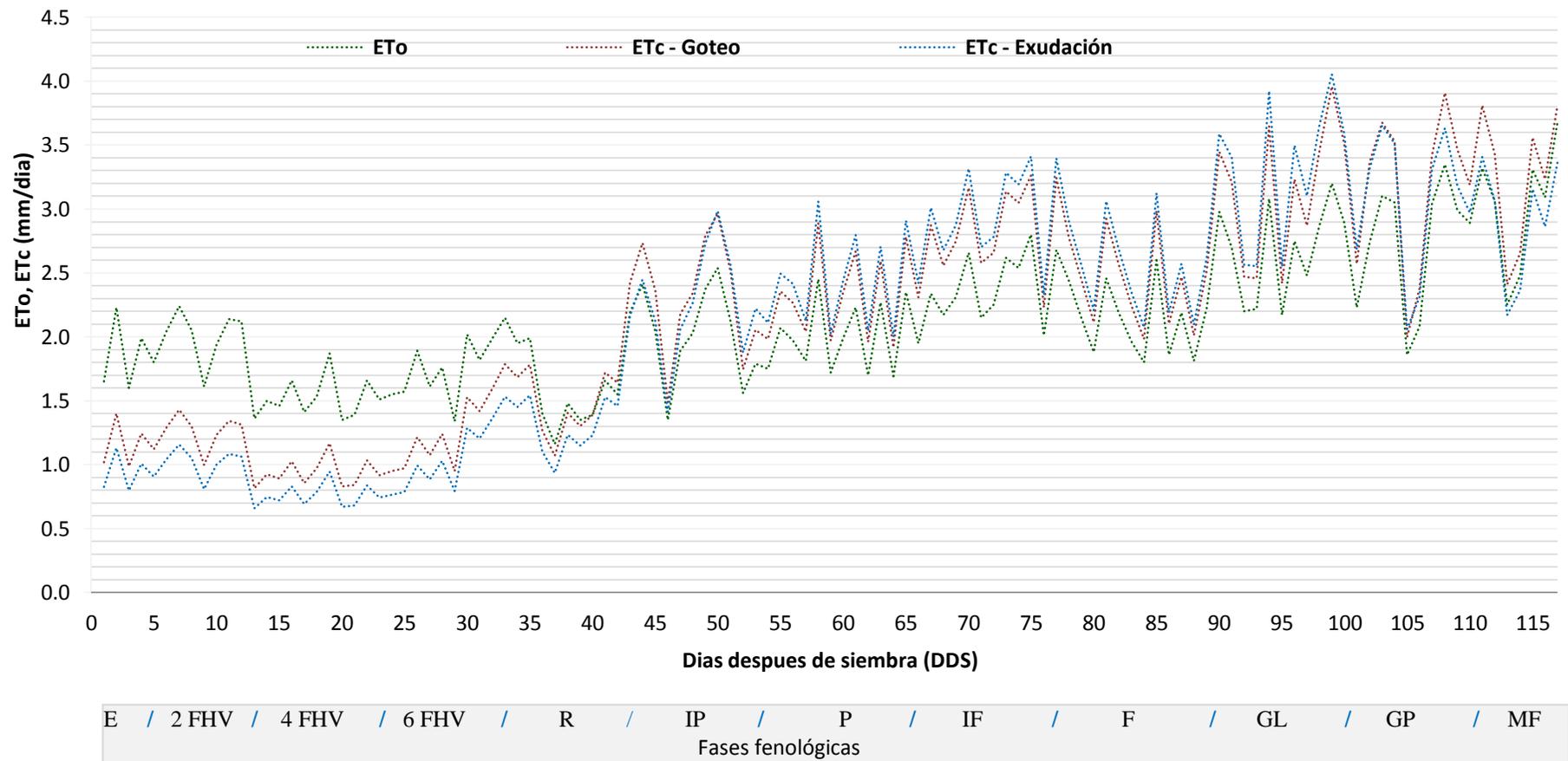


Figura 6. 1 Evaluación de la evapotranspiración de referencia (ETo) y evapotranspiración del cultivo (ETc) durante el desarrollo del cultivo de quinua de la variedad INIA 431-Altiplano, bajo dos sistemas de riego para el periodo de Junio a Octubre del 2014.

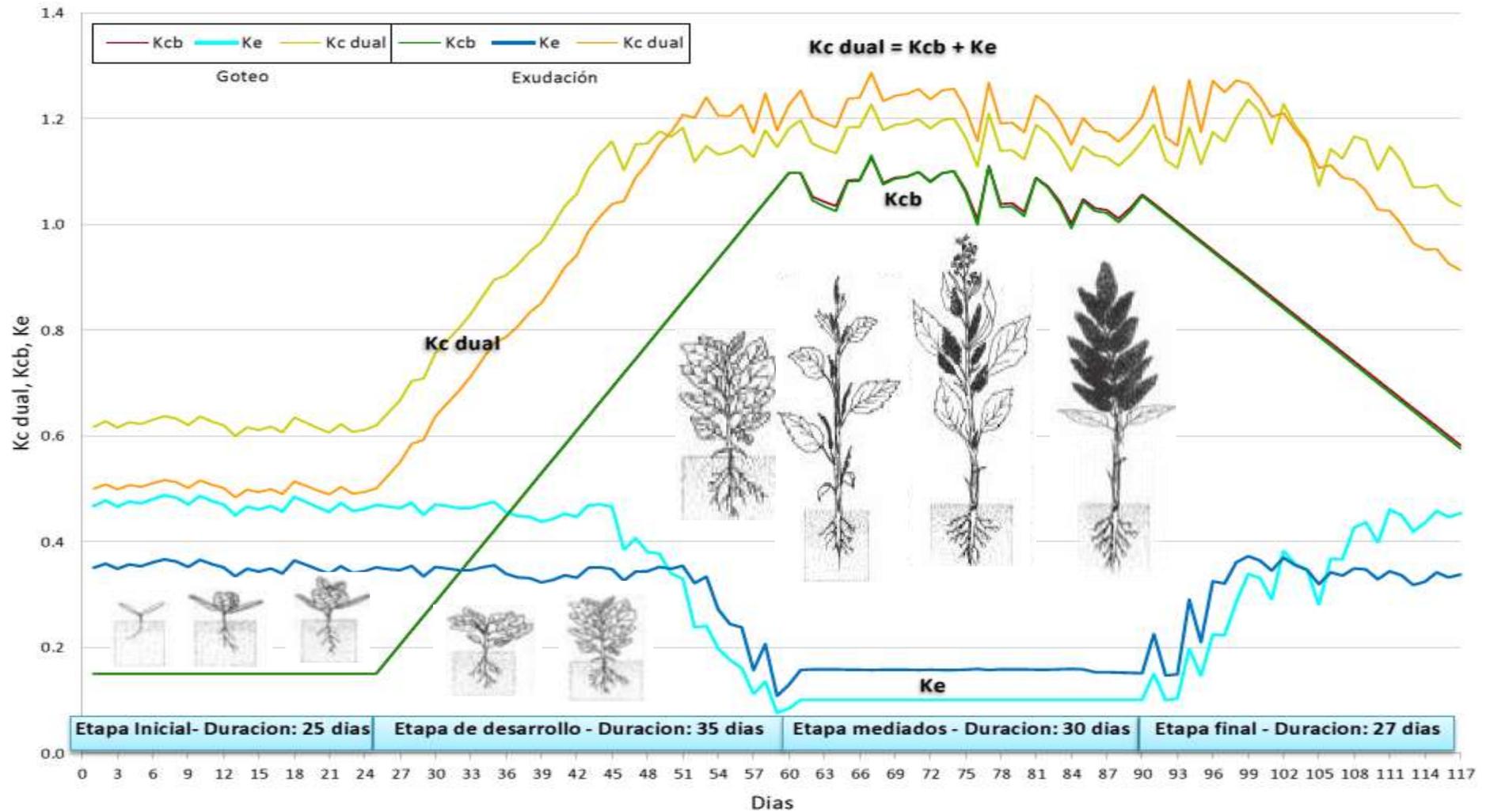


Figura 6.2 Variación del coeficiente del cultivo dual (K_c dual), durante el desarrollo del cultivo de quinua variedad INIA 431-Altiplano, bajo riego por goteo y exudación, en el periodo de Junio a Octubre del 2014. Donde: K_c , es el coeficiente del cultivo; K_e , es el coeficiente de evaporación; K_{cb} , es el coeficiente basal.

6.2. Evaluación de los sistemas de riego

6.1.1. Coeficiente de uniformidad

A. Goteo

El comportamiento del CU (%) bajo el sistema por goteo, para el inicio de campaña fue de 97% y para el final 93%, ambos valores obtenidos para este índice fueron elevados, estando comprendidos entre 90 y 100 % valores que lo sitúan con categoría de excelente según Merriam y Keller (1978).

Tabla 6. 1 Especificaciones técnicas para la cinta de goteo

Cinta de riego goteo: Aqua Traxx PC					
Diámetro nominal	Diámetro interno	Espesor de pared	Presión mínima	Separación entre goteros	Caudal por gotero
16mm(5/8")	16.1 mm	8 mil	0.20mm	0,3 bar	20 cm
					0.51

Fuente: Toro Ag Irrigation, Catalogo riego agrícola (2014)

Tabla 6. 2 Resultados de los emisores de riego por goteo y prueba del coeficiente de uniformidad al inicio y al final de la campaña.

Evaluación	Posición Lateral	Primer gotero	Gotero 1/3	Gotero 2/3	Último gotero	Presión de entrada (m.c.a)	q 25 (l/h)	q 25 (l/h)	Desv. Est. (S)	CU
		Q(l/hr)	Q(l/hr)	Q(l/hr)	Q(l/hr)					
Inicio (primer riego)	Lateral Inicial	0.5	0.54	0.5	0.52	3	0.49	0.51	0.01	0.97
	Lateral 1/3	0.52	0.53	0.49	0.49					
	Lateral 2/3	0.5	0.5	0.49	0.49					
	Última lateral	0.51	0.52	0.5	0.49					
Final (último riego)	Lateral Inicial	0.49	0.46	0.47	0.42	3	0.44	0.48	0.03	0.93
	Lateral 1/3	0.5	0.55	0.48	0.47					
	Lateral 2/3	0.45	0.52	0.5	0.47					
	Última lateral	0.47	0.48	0.45	0.46					

Eficiencia de Aplicación (EfA)

Eficiencia de uniformidad: $CU_{(goteo)} = 0.97$, Eficiencia de percolación: $EfP_{goteo} = 1/f = 0.95$

Eficiencia de Lavado de sales: $EfS = 1 - RL = 0.83$, $EfA = EU * (EfP. \text{ ó } EfS)$ se elige el menor

Eficiencia de Aplicación (EfA) = $0.97 * 0.83 = 0.81$

La eficiencia de aplicación del sistema considera la eficiencia de uniformidad y la eficiencia por lavado de sales, obteniéndose un valor de 0,81. Esto indica que la planta solo aprovechara el 81% de la cantidad total de agua suministrada. Este valor fue utilizado para calcular la necesidad total de agua (mm/día) y la dosis práctica de riego (mm).

B. Exudación

El CU (%) bajo el sistema por exudación, para el inicio de campaña fue de 94% y para el final 90%, dichos valores para este índice tienen una categoría de excelente. Tabla 6.4

Tabla 6. 3 Especificaciones técnicas para la cinta exudante

Cinta de riego exudación					
Diámetro nominal	Diámetro interno	Espesor de pared porosa	Presión	Material	Caudal por gotero
16mm(5/8")	14.5mm	1 mm	1 - 2 m.c.a.	microfibras de polietileno	0.5 -1.5 litros/hora/metro

Fuente: Poritex (2012)

Tabla 6. 4 Resultados de los emisores de riego por exudación y prueba del coeficiente de uniformidad al inicio y al final de la campaña.

Evaluación	Posición Lateral	Primer gotero	Gotero 1/3	Gotero 2/3	Último gotero	Presión de q 25 entrada	q 25	Desv. Est. (S)	CU	
		Q(l/hr)	Q(l/hr)	Q(l/hr)	Q(l/hr)	(m.c.a)	(l/h)	(l/h)		
Inicio (primer riego)	Lateral Inicial	4.1	4.93	4.21	4.61	1	4.15	4.44	0.33	0.94
	Lateral 1/3	4.24	4.99	4.23	4.31					
	Lateral 2/3	4.23	4.92	4.18	4.37					
	Última lateral	4.11	4.95	4.22	4.41					
Final (último riego)	Lateral Inicial	4.06	4.33	3.91	4.51	1	3.75	4.17	0.33	0.90
	Lateral 1/3	4.04	3.79	4.23	4.33					
	Lateral 2/3	4.03	4.62	4.18	3.78					
	Última lateral	3.51	4.75	4.22	4.42					

Eficiencia de Aplicación (E_{fA})

Eficiencia de uniformidad: $CU_{(goteo)} = 0.94$, Eficiencia de percolación: $EfP_{goteo} = 1/f = 0.95$

Eficiencia de Lavado de sales: $EfS = 1 - RL = 0.83$, $EfA = EU * (EfP. \text{ ó } EfS)$ se elige el menor

Eficiencia de Aplicación (EfA) = $0.94 * 0.83 = 0.78$

La eficiencia de aplicación del sistema considera la eficiencia de uniformidad y la eficiencia por lavado de sales, obteniéndose un valor de 0,78. Esto indica que la planta solo aprovechara el 78% de la cantidad total de agua suministrada. Este valor fue utilizado para calcular la necesidad total de agua (mm/día) y la dosis practica de riego (mm).

6.1.2. Prueba de bulbo húmedo

Goteo

La forma de los bulbos mostrados en la Figura 6.1, muestra un desarrollo horizontal máximo de 44 cm de diámetro y una profundidad de 30 cm para tres horas de riego (1.53lt. aprox.), para un suelo franco arcillo arenoso.

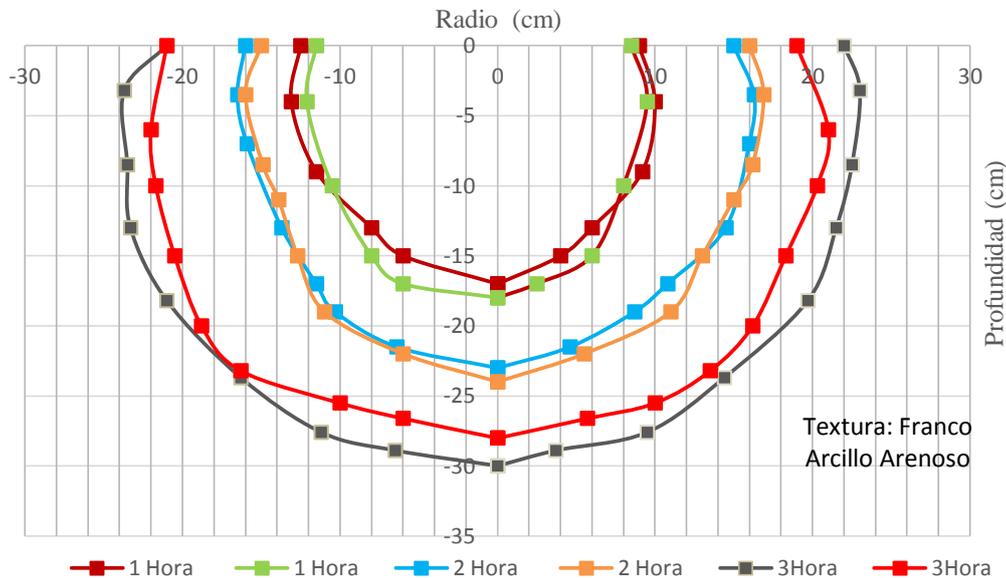


Figura 6. 3 Dimensiones de los diámetros y profundidad del bulbo húmedo con un tiempo de aplicación de 1, 2 y 3 horas con cinta de riego Aqua-Traxx PC, con un caudal de 0.5l/h, evaluada el 08 de setiembre del 2014.

Estos resultados concuerdan con los de Pizarro (1990) quien indica un mayor movimiento vertical del agua al aumentar el tiempo de riego afectando muy poco el desarrollo horizontal de la zona mojada.

6.1.3. Distribución de la humedad

Exudación

Particularmente, la variabilidad espacial del suelo es uno de los factores que puede afectar el diseño de un sistema de riego por exudación al incidir en el comportamiento de la distribución de la humedad para una determinada dosis, tiempo e intervalo de aplicación.

En la Figura 6.4 se ilustran los resultados obtenidos en los muestreos de humedad realizados a 30cm debajo de la superficie del suelo, después de aplicar el riego por exudación en diferentes fechas de evaluación.

La humedad promedio al inicio de la hilera (0+0.00) fue de 19.73%, a la mitad de la hilera (0+ 40.00) fue 19.83% y al final de la hilera 19.72%. La humedad observada es la producida propiamente por el riego.

Los tres sitios de muestreo (al inicio, medio y fin de la hilera) mostraron similares comportamientos en la distribución de la humedad generada por la cinta exudante a lo largo del lateral de riego con 80 m de largo. Entonces podemos mencionar que la humedad siempre se ha mantenido muy cercana a capacidad de campo y por debajo del punto de saturación.

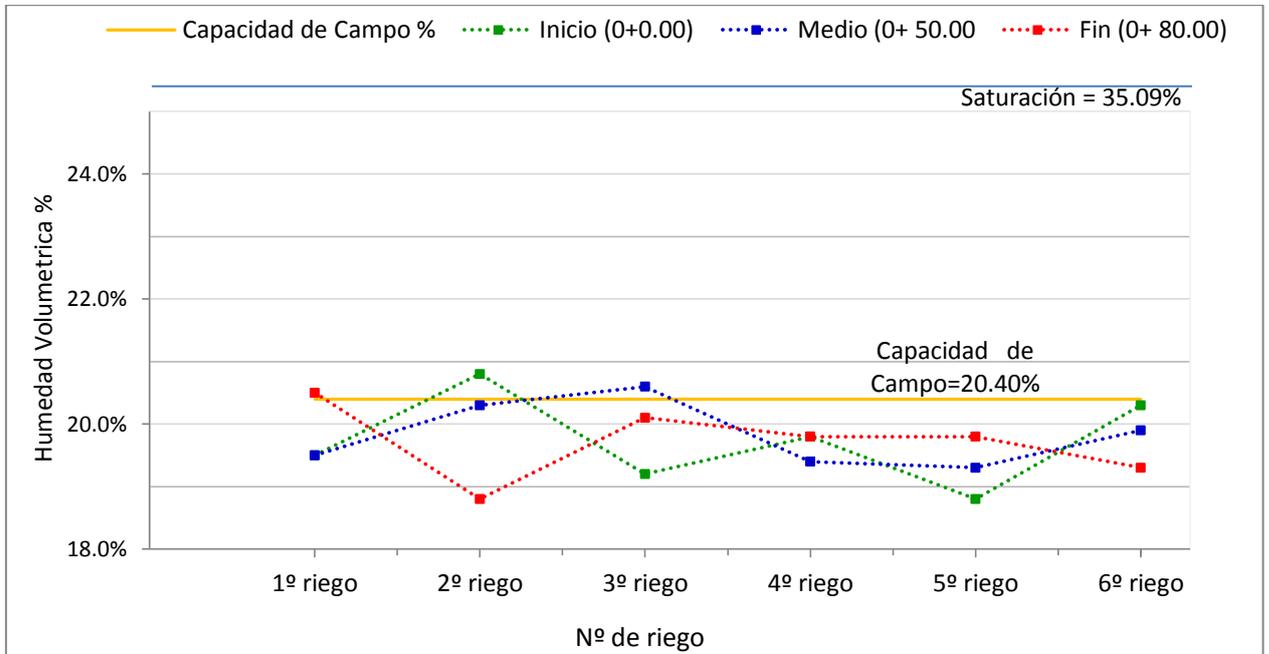


Figura 6. 4 Variación de la humedad del suelo en diferentes etapas del con cinta de riego exudante en suelo Franco Arcillo Arenoso y con un de caudal 1 l/h/metro.

6.3. Volúmenes aplicados

Se calculó mediante el diseño agronómico:

Para el sistema por goteo: los riegos se dieron a una frecuencia de 5 días y un tiempo de riego de 3.5 horas, sin embargo las debido a las variaciones de cada etapa y las diferentes enfermedades que se presentaron se tuvo que reducir los riegos en algunas fechas, aplicándose finalmente 1,708.5m³/ha.

Tabla 6. 5 Programación mensual del sistema de riego por goteo

Mes	ETo	Kc dual	Etc	P-RO	Nn	Ef.	Nt	Lamina Neta	Frecuencia (días)	Dosis Neta de riego	Dosis Practica de riego	PP Sistema	Tiempo de Riego
	mm/día		mm/día	mm/día	mm/día		mm/día	mm	Max.	mm/día	mm	mm/h	
Junio	1.88	0.50	0.95	0.00	0.95	0.81	1.17	3.04	2.67	2.46	2.88	1.70	1.70
Julio	1.68	0.68	1.16	0.00	1.16	0.81	1.43	2.85	2.26	2.31	3.30	1.70	1.94
Agosto	2.11	1.21	2.56	0.00	2.56	0.81	3.16	2.85	0.94	2.31	7.28	1.70	4.28
Setiembre	2.43	1.20	2.93	0.00	2.93	0.81	3.62	2.85	0.82	2.31	8.34	1.70	4.91
Octubre	2.84	1.03	2.91	0.00	2.91	0.81	3.60	2.85	0.82	2.31	8.30	1.70	4.88
Promedio	2.19	0.92	2.10	0.00	2.10	0.81	2.59	2.89	5	2.34	6.02	1.70	3.50

Para el sistema por exudación: los riegos se dieron a una frecuencia de 14 días y un tiempo de riego de 12 horas, sin embargo las debido a las variaciones de cada etapa y las diferentes enfermedades que se presentaron se tuvo que reducir los riegos en algunas fechas , aplicándose finalmente 1,571.67m³/ha.

Tabla 6. 6 Programación mensual del sistema de riego por exudación

Mes	ETo mm/día	Kc dual	Etc mm/día	P-RO mm/día	Nn mm/día	Ef.	Nt mm/día	Lamina Neta mm	Fr (días) Max.	Fr (días) Asumida	D Neta mm	D Practica mm	PP Sistema mm/h	Tiempo de riego h
Junio	1.88	0.50	0.95	0.00	0.95	0.78	1.22	14.24	15.00	14	13.28	17.02	3.33	5
Julio	1.68	0.68	1.16	0.00	1.16	0.78	1.48	14.24	14.00	14	16.21	20.78	3.33	5
Agosto	2.11	1.21	2.56	0.00	2.56	0.78	3.28	14.24	6.00	14	35.78	45.87	3.33	14
Setiembre	2.43	1.20	2.93	0.00	2.93	0.78	3.75	14.24	5.00	14	41.00	52.57	3.33	16
Octubre	3.04	1.00	3.04	0.00	3.04	0.78	3.90	14.24	5.00	14	42.61	54.62	3.33	16
Promedio	2.23	0.92	2.13	0.00	2.13	0.78	2.73	14.24	9.00	14	29.78	38.17	3.33	12

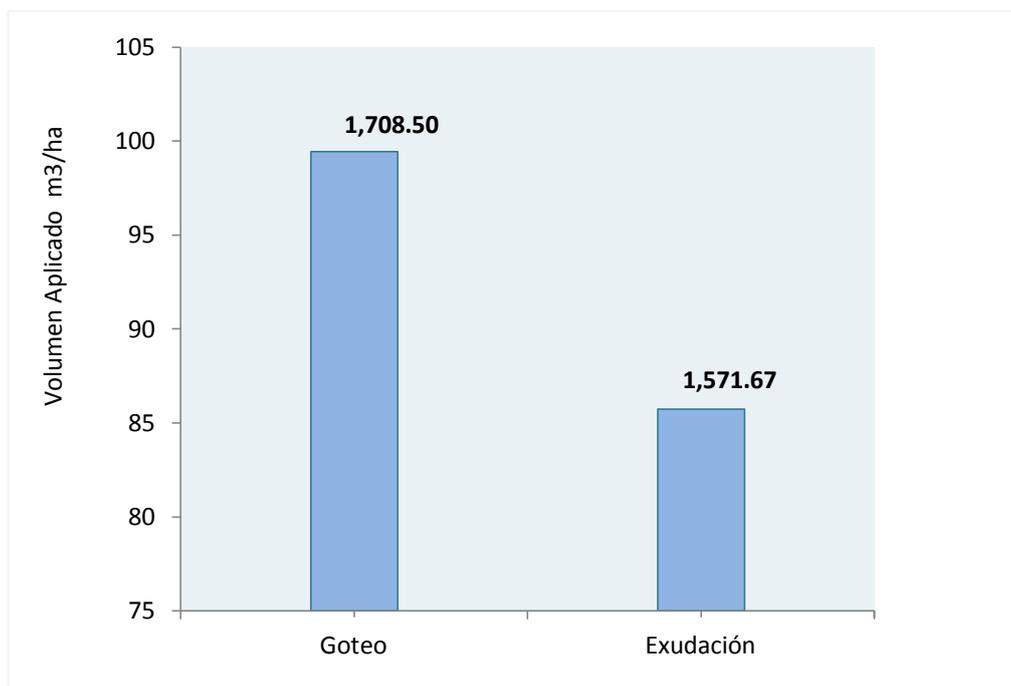


Figura 6. 5 Volumen total de agua gastado (m³) durante el ciclo vegetativo del cultivo de quinua, variedad INIA 431- Altiplano, en los sistemas de R.L.A.F.: Goteo y Exudación, bajo condiciones de La Molina en el periodo Junio- Octubre del 2014

6.4. Caracteres agronómicos del cultivo

7.2.1. Variables biométricas

a) Altura de planta (cm) El Análisis de varianza (ANVA) para la altura de planta en función del tipo de riego para los 52 y 80 DDS (Días después de siembra), indica que hay diferencias altamente significativas entre bloques y tratamientos. El coeficiente de variación para los cuales fueron igual a 1% y 3.38%. Sin embargo para 59, 66, 73, 87, 94 y 108 DDS, no existen diferencias estadísticas significativas entre bloques y tratamientos así como se describe en el Anexo 6. Es importante destacar que a los 52 DDS el cultivo está en la fase fenológica de panojamiento y a los 80 DDS está en plena floración. Es decir son las fases determinantes para el buen desarrollo del cultivo de quinua.

Comparando los tratamientos mediante la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) (Tabla 6.7 y Figura 6.6), se aprecia que para 52 y 80 DDS el tratamiento por exudación es mayor a goteo, presentando alturas promedio 69.25 cm y 107.5cm cm de altura de planta para exudación y para goteo alturas promedios de 67.25 cm y 92.75cm respectivamente. Es decir, el riego por exudación resultó más favorable que el riego por goteo. Sin embargo para los 59, 66, 73, 87, 94 y 108 DDS, no hubo diferencias significativas.

b) Longitud de raíz (cm) El Análisis de varianza (ANVA) para la longitud de raíz para 52, 59, 66 y 73 DDS, indica que hay diferencias altamente significativas entre bloques y tratamientos; Para los días 87, 94 y 108 DDS hay diferencias altamente significativas entre tratamientos y diferencias significativas entre bloques y para 80 DDS, existe solo diferencias significativas entre tratamientos. El coeficiente de variación para 52, 59, 66, 73, 80, 87, y 94 108 DDS, fueron igual a 2.65%, 2.34%, 2.20%, 2.07%, 3.88%, 3.44%, 3.38% y 3.33% respectivamente. Obsérvese en el Anexo 7.

Comparando los tratamientos mediante la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) (Tabla 6.7 y Figura 6.6), se aprecia que para 52, 66, 73, 80, 87, 94 y 180 DDS el tratamiento de exudación es mayor a goteo. RO con longitudes promedio de 14.5, 15.65, 16.83, 18.13, 20.88, 21.2, 21.5, 21.8 cm y para R1 longitudes promedio de 12.25, 13.4, 14.10, 14.60, 15.70, 16.00, 16.30. Es decir, el riego por exudación resultó más favorable que el riego por goteo para el buen desarrollo de las raíces.

Tabla 6. 7 Valores promedios y Prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$, N= 4) de cobertura de canopy, índice de área foliar, altura de planta, Biomasa aérea seca, Longitud de raíces en función del tipo de riego para diferentes edades en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) de la variedad INIA 431- Altiplano en condiciones de la costa central. La Molina. Junio – Octubre 2014.

Variables	Tipo de riego	Edad (DDS)								
		52	59	66	73	80	87	94	108	
Parámetros agronómicos	Cobertura de canopy (%)	Exudación (RO)	43.16 ^a	47.16 ^a	54.16 ^a	80.41 ^a	88.48 ^a	67.24 ^a	52.66 ^a	14.00 ^a
		Goteo (R1)	41.36 ^b	44.86 ^b	50.16 ^b	74.91 ^b	69.76 ^b	42.26 ^b	41.56 ^a	10.34 ^a
	Índice de Area Foliar (IAF)	Exudación (RO)	1.35 ^a	2.09 ^a	2.59 ^a	2.88 ^a	3.26 ^a	3.17 ^a	2.96 ^a	2.85 ^a
		Goteo (R1)	1.22 ^b	1.63 ^a	2.285 ^b	2.48 ^b	2.68 ^a	2.57 ^a	2.36 ^a	2.25 ^a
Biométricas	Altura de Planta (cm)	Exudación (RO)	69.25 ^a	85 ^a	95.75 ^a	101.25 ^a	107.50 ^a	116.25 ^a	109.00 ^a	106.50 ^a
		Goteo (R1)	67.25 ^b	83.25 ^a	83.75 ^a	87.75 ^a	92.75 ^b	98.75 ^a	94.75 ^a	92.50 ^a
	Biomasa aérea Seca (g/planta)	Exudación (RO)	72.05 ^a	95.58 ^a	128.39 ^a	139.68 ^a	168.48 ^a	141.73 ^a	81.08 ^a	62.66 ^a
		Goteo (R1)	28.68 ^b	30.33 ^b	42.40 ^b	44.83 ^b	55.11 ^b	108.88 ^a	59.84 ^a	39.48 ^a
	Longitud de raíz (cm)	Exudación (RO)	14.50 ^a	15.65 ^a	16.83 ^a	18.13 ^a	20.88 ^a	21.20 ^a	21.50 ^a	21.80 ^a
		Goteo (R1)	12.25 ^b	12.4 ^a	13.40 ^b	14.10 ^b	14.60 ^b	15.70 ^b	16.00 ^b	16.30 ^b

Tabla 6. 8 Valores promedios y Prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) del rendimiento, componentes del rendimiento e índice de área foliar en función del tipo de riego para diferentes edades en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) de la variedad INIA 431- Altiplano en condiciones de la costa central. La Molina. Junio – Octubre 2014.

Tipo de riego	Rendimiento (Kg/ha)	Índice de cosecha (%)
Exudación (RO)	3519.29 ^a	0.527 ^a
Goteo (R1)	1587.91 ^b	0.317 ^b

(N=3, Rendimiento), (N=15, Índice de cosecha); Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí según la prueba de Tukey (P-0,05)

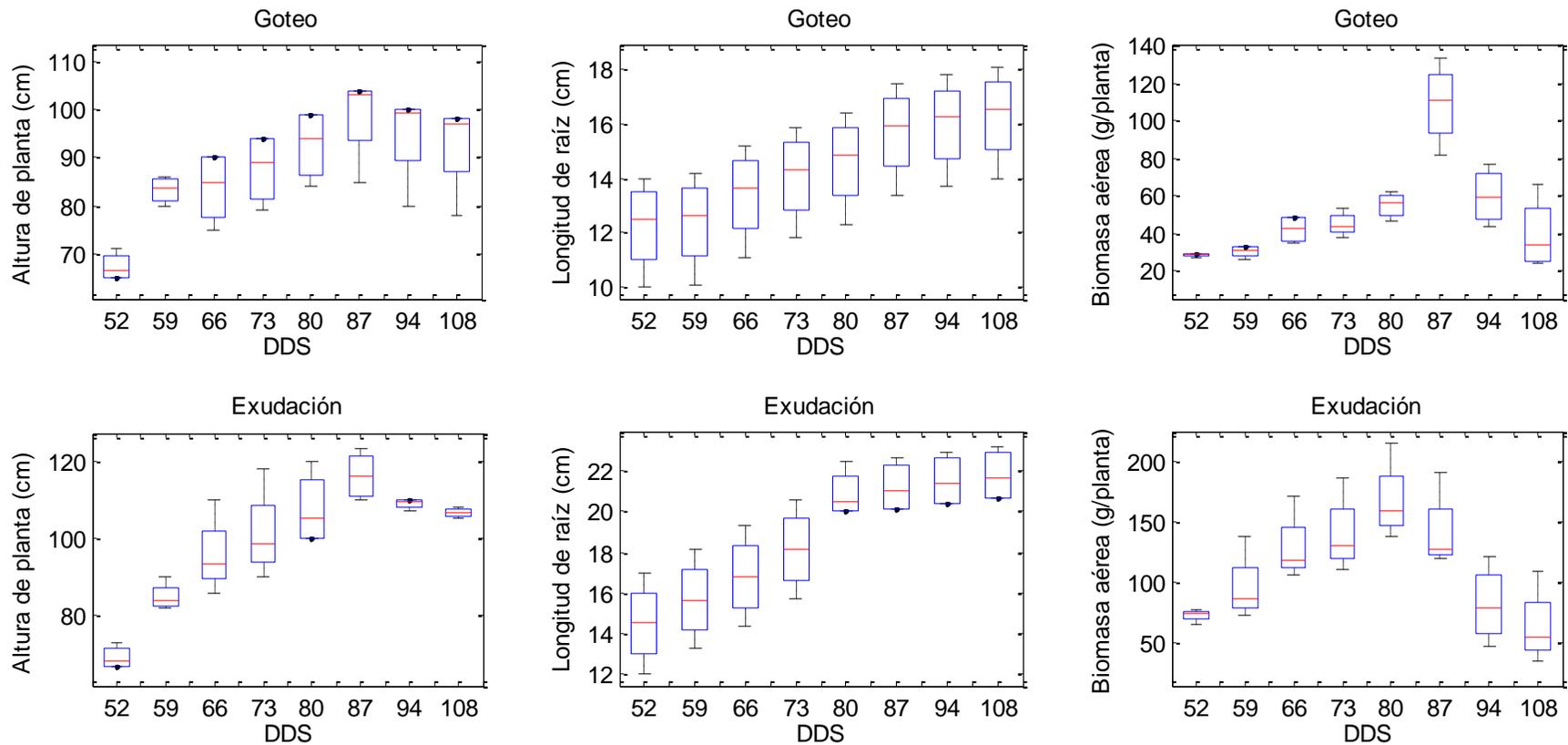


Figura 6. 6 La comparación de medias de la altura de planta, longitud de raíz y biomasa aérea, bajo dos tratamientos de riego: (R1) goteo y (RO) exudación en La Molina, Lima, para el periodo de Junio a Octubre del 2014. Siendo:(51-60DDS) Panojamiento, (61-70DDS) Inicio de Floración, (72-86DDS) Floración, (87-98DDS) Grano lechoso, (98-108DDS) Grano pastoso.

c) Biomasa aérea seca (Kg/planta) El análisis de varianza para la biomasa aérea seca para 52, 66 y 80 DDS, indican que hay diferencias altamente significativas entre tratamiento, con coeficiente de variación de 7.8%, 21% y 24% respectivamente. Para 59 y 73 DDS, indica diferencias significativas, con coeficiente de variación de 36%, 29% y 13%. Por último para 94, 87, 108 DDS, indica que no existen diferencias estadísticas, como se describe en el Anexo 8

Comparando los tratamientos mediante la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) (Tabla 6.7 y Figura 6.6), se aprecia que para 52, 59, 66, 73 y 80 DDS el tratamiento exudación es mayor a goteo. El sistema por exudación con longitudes promedio de 72.5, 95.58, 128.39, 139.68 y 168.48 g/planta; respectivamente y para goteo longitudes promedio de 28.68, 30.33, 42.40, 44.83 y 55.11 g/planta; respectivamente. Es decir, el riego por exudación resultó más favorable que el riego por goteo para la máxima producción de biomasa de toda la planta (hojas, granos, tallos). Con este tratamiento se obtuvo también la máxima producción de granos.

7.2.2. Rendimiento del grano

El análisis de varianza indica que existen diferencias altamente estadísticas entre tratamientos, se observa también que no hay diferencias significativas entre bloques. El coeficiente de variación fue igual a 2.76%, Ver Anexo 9.

La prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) para los tratamientos muestra (Tabla 6.8 y Figura 6.7) el tratamiento por exudación con rendimiento promedio 3519.29 Kg/ha, supera con diferencia altamente significativa al rendimiento obtenido por el tratamiento por goteo (1587.91 Kg. /ha). Sin embargo el bajo rendimiento bajo el riego por goteo también fue afectado por la enfermedad del mildiu.

INIA (2013), sostiene que la variedad INIA 431 – altiplano, en la costa logra un rendimiento comercial de 2.8 toneladas de grano por hectárea, El rendimiento máximo obtenido en el presente trabajo fue bajo en tratamiento por exudación, el cual supero los 2.8 t/ha.

Por otro lado la presente investigación fue sembrado en el mes de junio y que pese a que las condiciones climáticas no fueron favorable para ambos tratamientos, debido al gran incremento de la humedad relativa de los días 28, 29 y 30 de julio y los cambios de

temperatura bastante bruscos, produjeron que el hongo del mildiú se propague rápidamente sobre el cultivo que se encontraba en la etapa de floración el riego por exudación, no se vio afectados debido a la mínima evapotranspiración localizada por efectos del riego subterráneo, por el contrario el riego por goteo se vio afectado en su rendimiento, produciendo un valor por debajo a lo esperado(1587.91 Kg. /ha)

El uso de variedades con resistencia genética como la variedad INIA 431- Altiplano, permiten mantener un nivel de daño reducido y sin afectar significativamente al rendimiento.

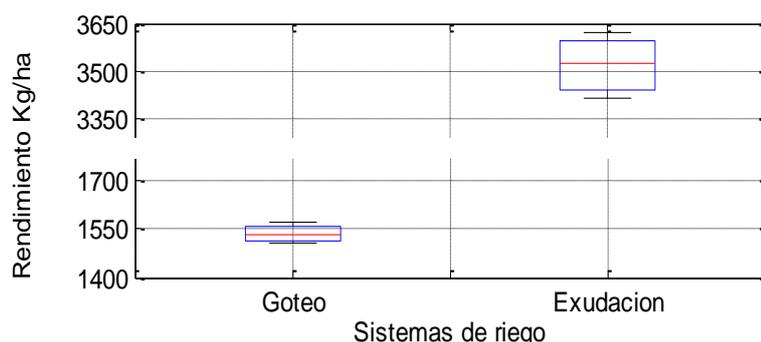


Figura 6. 7 Valores promedio del rendimiento de grano, bajo dos tratamientos de goteo y exudación en el cultivo quinua ((*Chenopodium quinoa Willd*), en condiciones de La Molina. Periodo de Junio a Octubre del 2014.

7.2.3. Parámetros agronómicos

a) Cobertura de canopy (CC)

El análisis de varianza para la Cobertura de canopy para 52, 59, 66 y 73 DDS, indican que hay diferencias altamente significativas entre tratamientos y bloques, con coeficientes de variación de 9.21E-07%, 8.46E-07%, 0% y 0%, respectivamente. Para 80 y 87DDS, indica que existe diferencias significativas, con coeficiente de variación de 6.38% y 13.31%. Por ultimo para 94 y 108 DDS, indica que no existen diferencias estadísticas, como se describe en el Anexo 1.

Comparando los tratamientos mediante la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) (Tabla 6.7 y Figura 6.8), se aprecia que para 52, 59, 66, 73, 80 y 87DDS, el tratamiento por exudación es mayor al goteo. Bajo riego por exudación se obtuvieron valores de cobertura de canopy 43.16%, 47.16%, 54.16%, 80.41%, 88.48% y 67.24%; respectivamente y para tratamiento por goteo valores de 41.36%, 44.86%, 50.16%, 74.91%, 69.76% y 42.26%; respectivamente Es decir, el riego por exudación resultó más

favorable que el riego por goteo para la máxima cobertura de canopy. A medida que el cultivo inicia el desarrollo de dosel, la cobertura de canopy entra en una fase creciente hasta aproximarse a floración. Posterior a esta etapa cobertura de canopy entra en una fase decreciente como consecuencia de la senescencia foliar.

De acuerdo a lo establecido estadísticamente, encontramos un desarrollo progresivo de la cobertura del canopy, haciendo énfasis en los valores de los días 73 y 80 que conformaron la etapa de floración, obteniéndose máximos valores como se muestran en la parte superior, durante los días especificados tanto la tasa de crecimiento a la cual se desarrolla la cobertura vegetal como el tiempo para alcanzar la cobertura completa fue el mas optimo para el tratamiento por goteo a diferencia del goteo.

c) Índice de área folia (IAF)

El análisis de varianza para el índice de área foliar para 52, y 66 DDS, indican que hay diferencias significativas entre tratamientos y bloques, con coeficientes de variación de 3.6% y 4.0%, respectivamente. Para 73 DDS, indica que existe diferencias significativas entre tratamientos y no significativa entre bloques, con coeficiente de variación de 5.7%, como se describe en el Anexo12.

Comparando los tratamientos mediante la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) (Tabla 6.7 y Figura 6.8), se aprecia que para 52, 66 y 73 DDS, el tratamiento por exudación es mayor al goteo. Bajo riego por exudación se obtuvieron índices de área foliar de 1.35, 2.59, 2.88, respectivamente y para tratamiento por goteo valores de 1.22, 2.28, 2.48; respectivamente Es decir, el riego por exudación resultó más favorable que el riego por goteo en el desarrollo de hojas. El IAF cambia a lo largo del periodo y contribuye activamente a la transferencia superficial de calor y de vapor de crecimiento y alcanzó normalmente su máximo en la floración. Los valores de IAF para los diferentes cultivos difieren grandemente pero valores de 3 a 5 son comunes para muchos cultivos desarrollados. Allen et al., (2006)

c) Índice de cosecha (IC)

El análisis de varianza que se presenta en el Anexo 10, indica que no existen diferencias estadísticas entre bloques, Pero si se observa que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variación fue igual a 6.04%.

La prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) para los tratamientos muestra (Tabla 6.8 y Figura 6.8) al tratamiento por exudación con rendimiento promedio 0.53, supera con diferencia altamente significativa al rendimiento obtenido por el tratamiento de R.L.A.F.: Goteo (0.317). El índice de cosecha es de suma importancia ya que nos mide la eficiencia biológica con respecto a la cantidad de grano producido.

El tratamiento por exudación con mejores índices de cosecha se destaca por su buen diámetro de panoja y menor número de plantas/m². Por otro lado el tratamiento por goteo con un índice bajo tuvo en común mayor número de plantas/m² y menor diámetro de panoja. El índice de cosecha bajo el tratamiento por exudación es de 0.53 indicando una relación media entre el rendimiento comercial y el rendimiento biológico.

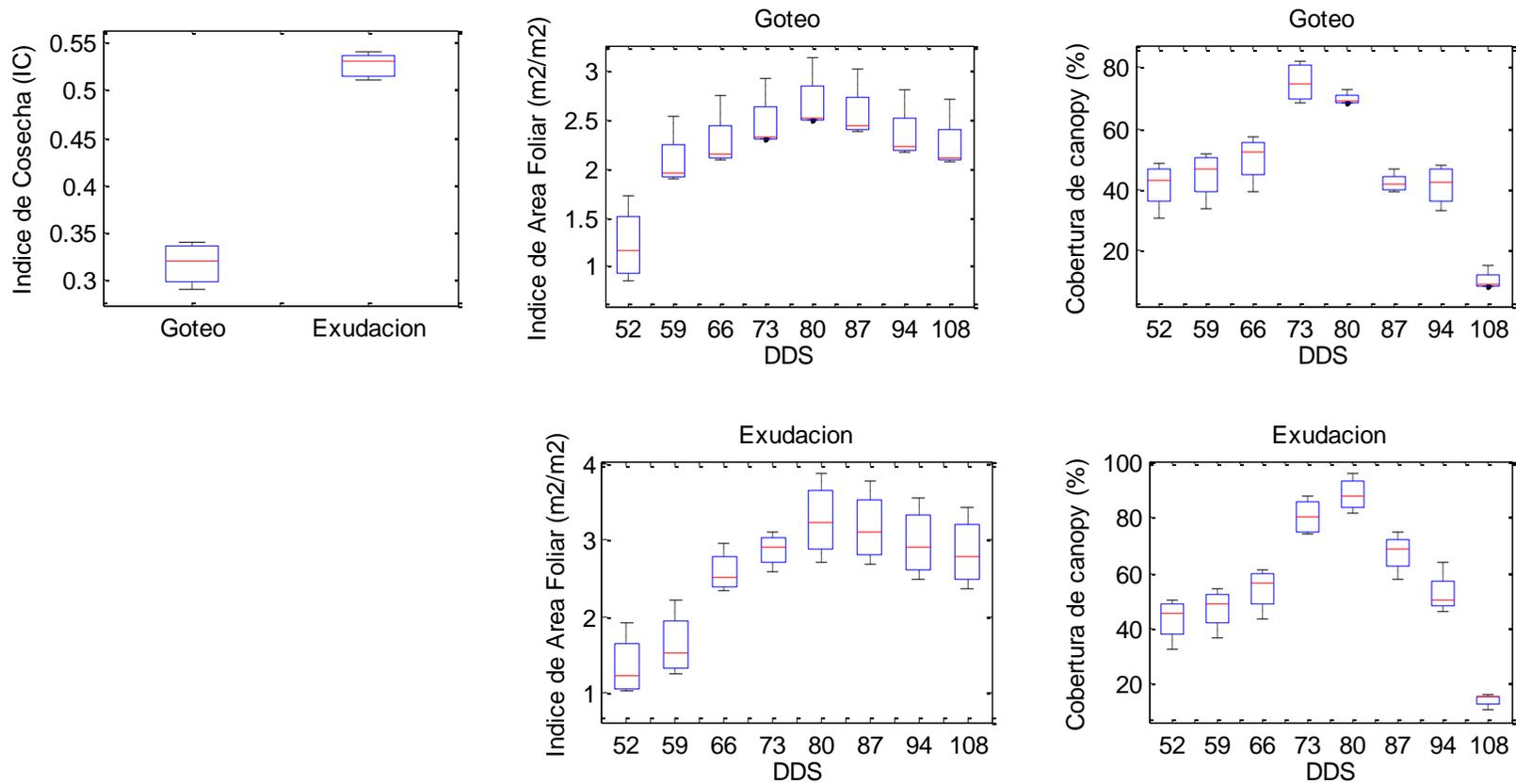


Figura 6. 8 Valores promedio de índice de área foliar, cobertura de canopy, Índice de cosecha, bajo dos tratamientos goteo y exudación en el cultivo quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), en condiciones de La Molina. Periodo de Junio a Octubre del 2014. Siendo P: Panojamiento P: Inicio de Panojamiento IF: Inicio de floración F: Floración GL: Grano lechoso GP: Grano pastoso

d) Eficiencia del uso del agua (EUA)

El tratamiento más conveniente fue riego por exudación pues tiene el más alto rendimiento (3,519.29 kg/ha) y la más alta productividad media (2.1 kg/m³), mientras que el tratamiento por goteo obtuvo un rendimiento de (1,587.91kg/ha) y una productividad media de (1kg/m³). Sin embargo no solo se puede atribuir la gran diferencia de rendimiento al sistema de riego ya que también se vieron influenciados por otras variables como las enfermedades que afectaron al cultivo (mildiu), en la presente investigación el factor evapotranspiración localizada debido a la alta humedad relativa afectó altamente al sistema de riego por goteo a diferencia del sistema por exudación.

Tabla 6. 9 Relación de eficiencia de uso de agua (EUA) en (kg/m³)

Tratamiento	Rendimiento (Kg/ha)	Volumen de agua (m ³ /ha)	EUA (Kg/m ³)
Exudación	3519.27	1571.6	2.23
Goteo	1587.91	1708.5	0.92

7.2.4. Determinación de las unidades de calor (°D)

Las unidades de calor (U.C) o grados día (°D) para el cultivo de quinua de la variedad INIA 431 – Altiplano, bajo condiciones de La Molina- Lima, durante el periodo de junio a octubre del 2014 requeridas para culminar las 12 fases características fueron: fase 1.0 (emergencia) 99,51 °D, fase 2.0 (formación de dos hojas verdaderas) 167.26 °D, fase 3.0 (formación de cuatro hojas verdaderas) 226.93 °D, fase 4.0 (formación de seis hojas verdaderas) 316.79 °D, fase 5.0 (ramificación) 403,94 °D, fase 6.0 (inicio de panojamiento) 498,05 °D, fase 7.0 (panojamiento) 583,14 °D, fase 8.0 (inicio de floración) 671.60 °D, fase 9.0 (floración) 848.27 °D, fase 10.0 (grano lechoso) 990.9 , fase 11.0 (grano pastoso) 1103.13 °D. , fase 12.0 (madurez fisiológica) 1178.81 °D, Figura 6.11.

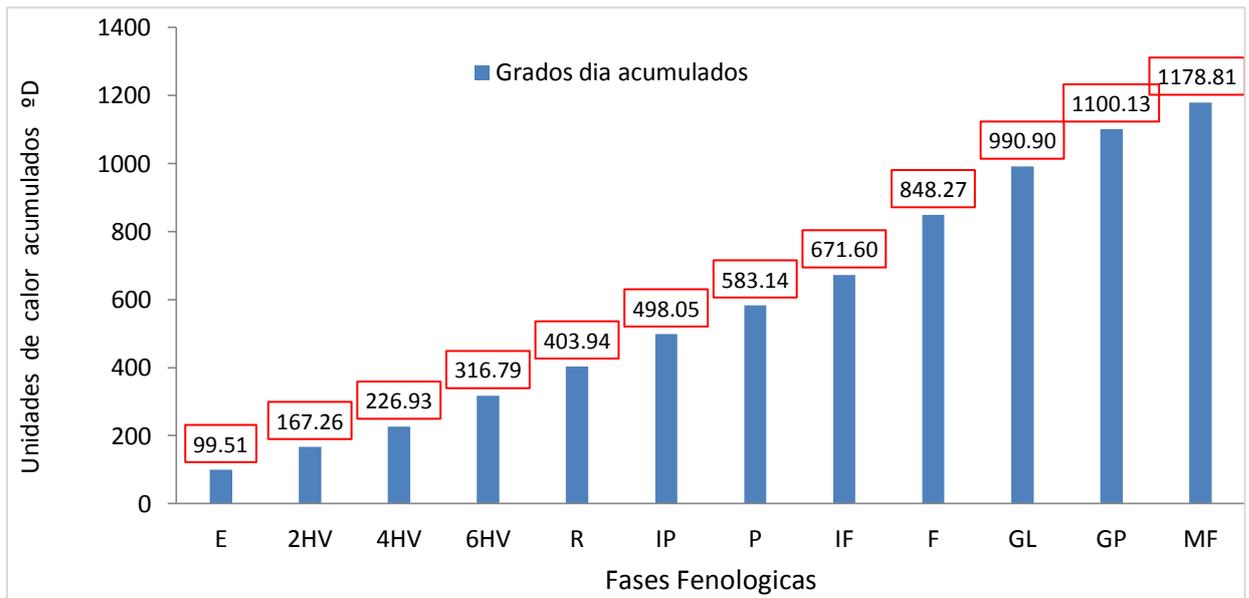


Figura 6. 9 Requerimientos acumulados de Unidades de Calor (U.C.) (°D) para cada etapa fenológica del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) de la variedad INIA 431- Altiplano bajo condiciones de La Molina. Durante el periodo Junio – Octubre del 2014.

Siendo E:emergencia, 2HV:dos hojas verdaderas, 4HV: cuatro hojas verdaderas, 6HV: seis hojas verdaderas, R: ramificación, IP: inicio de panojamiento, P:panojamiento, IF: inicio de floración, F: floración, GL: grano lechoso, GP: grano pastoso, MF: madurez fisiológica.

6.5. Análisis Financiero

La evaluación del análisis financiero en los sistemas de riego para el cultivo de quinua se realizó con los costos de producción relacionada al rendimiento obtenido y los gastos efectuados en cada sistema donde se hace una comparación de beneficios y costos con los sistemas propuestos los cuales son fueron es corroborados con información del expediente técnico quinua Inia 420 “negra Collana” y el curso teórico – práctico manejo integrado del cultivo de quinua en la costa, exposición Ing. Luis quintanilla chacón.

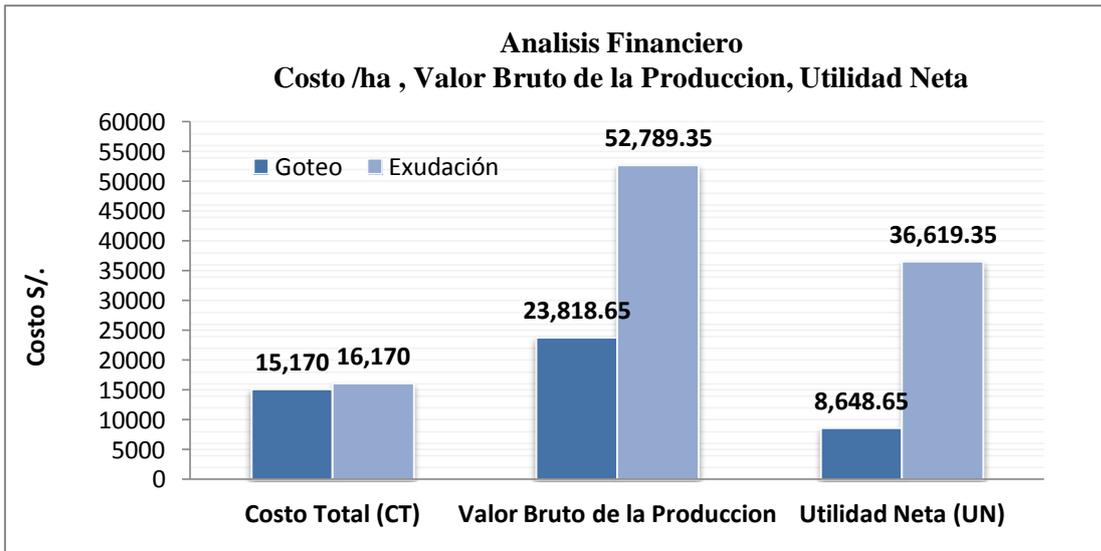


Figura 6. 10 Representación grafica del Costo/ ha, Ingreso Total, Ingreso neto para la producción de quinua, bajo riego por Goteo y Exudación

El promedio del costo de producción del cultivo quinua de la variedad Inia 431- Altiplano bajo el sistema de riego por exudación es de S/. 16,170.00 por hectárea y con riego por goteo es de S/. 15,170.00 por hectárea. El valor bruto de la producción Exudación con S/. 52,789.35 por hectárea, Goteo con S/. 23,818.65. La utilidad neta Exudación con S/. 36,619.35, Goteo con S/. 8,648.65.

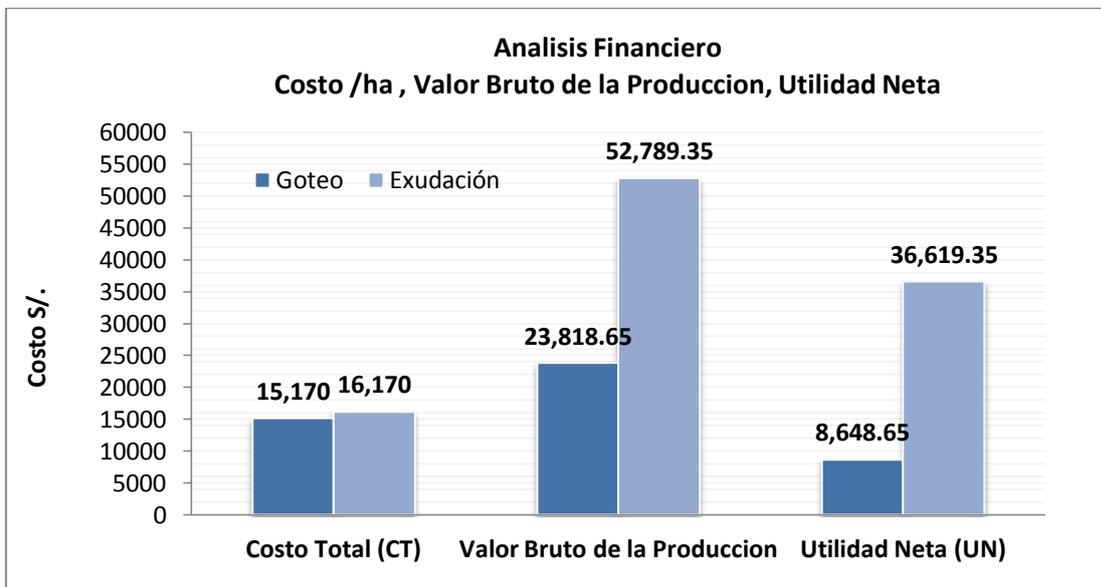


Figura 6. 11 Representación grafica del Costo/ ha, Ingreso Total, Ingreso neto para la producción de quinua, bajo riego por Goteo y Exudación

Tabla 6. 10 Análisis de Beneficio/ Costo por los sistemas.

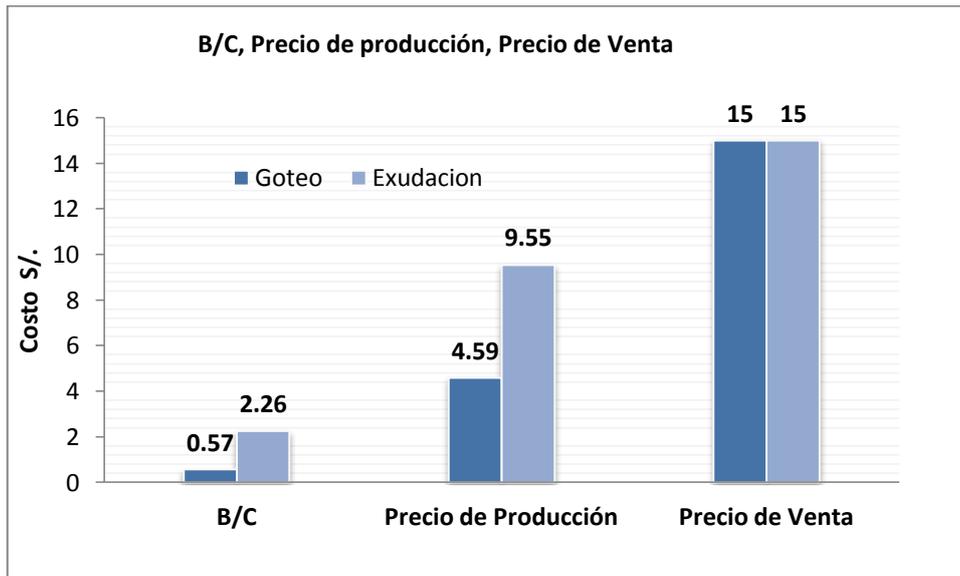


Figura 6. 12 Análisis de Beneficio/ Costo por los sistemas.

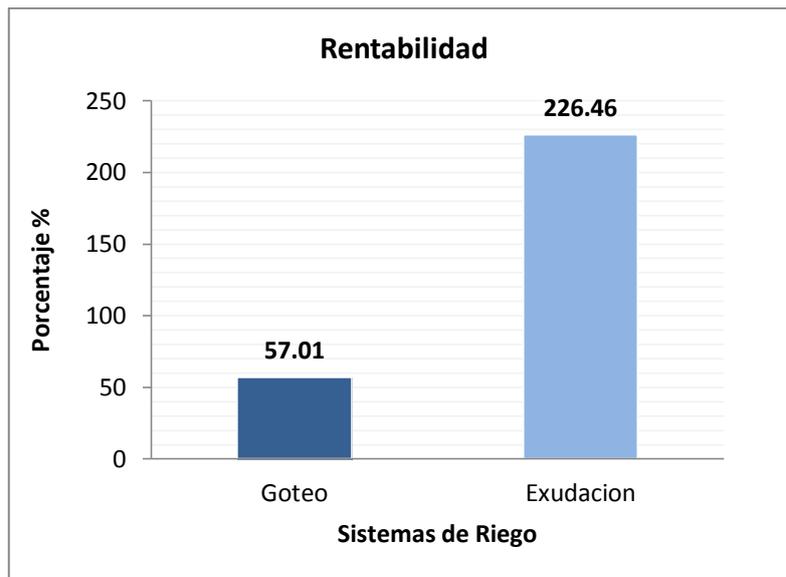


Figura 6. 13 Representación grafica de la rentabilidad

La rentabilidad promedio resultante con el sistema de riego por exudación es de 246.26% indicando la factibilidad de realizar la inversión para el agricultor, para obtener mayores ingresos, por tener mayores posibilidades de obtener una buena producción de quinua, los resultados son alentadores, esto quiere decir que el agricultor puede invertir en este cultivo. La rentabilidad bajo riego por goteo es de 50.01%, valor por debajo del nivel de rentabilidad.

VII. CONCLUSIONES

1. Los sistemas de riego evaluados presentaron un rendimiento de 1,588 kg/ha para el sistema de riego por goteo y 3,519 kg/ha para exudación. Sin embargo el bajo rendimiento bajo riego por goteo también estuvo influenciado por la propagación de la enfermedad del mildiu, que le afecto en mayor grado a diferencia del sistema de riego por exudación. Por ello podemos mencionar que la producción de quinua y cereales bajo el sistema por exudación mantiene la superficie del suelo seca durante el riego y disminuye la propagación de enfermedades causadas altos valores de humedad y la evapotranspiración localizada. Por otro lado los valores óptimos de cobertura de canopy y el índice de área foliar se relacionaron positivamente con el rendimiento de quinua bajo el sistema de riego por exudación.
2. Con la utilización del sistema de riego por exudación se logro la aplicación del menor volumen de agua (1,571.6 m³/ha) a diferencia del sistema de riego por goteo (1,708.5 m³/ha). Además el coeficiente de uniformidad bajo riego por goteo y exudación fueron 97 % y 94% y una eficiencia de aplicación de 81% y 78% respectivamente. La mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) se encontró: Exudación: 2.23 kg/m³ a diferencia de Goteo (0.92 kg/m³).
3. Del análisis de costos y rendimientos de los sistemas de riego empleado, se establece que el sistema de riego por exudación, es el más conveniente ya que es el de mayor rentabilidad. con una relación Beneficio/ Costo (B/C) de 2.26 a diferencia del goteo que tuvo un valor de 0.57.
4. Los grados día (°D) para el cultivo de quinua de la variedad INIA 431 – Altiplano, bajo condiciones de La Molina- Lima, durante el periodo de junio a octubre del 2014, requeridas para culminar las 12 fases características: emergencia (99,51°D), formación de dos hojas verdaderas (167.26°D), formación de cuatro hojas verdaderas (226.93°D), formación de seis hojas verdaderas (316.79°D), ramificación (403,94

°D), inicio de panojamiento (498,05°D), panojamiento (583,14 °D), inicio de floración (671.60°D), floración (848.27°D), grano lechoso (990.9°D), grano pastoso (1103.13°D). y finalmente el cultivo requiere un total de (1178.8 °D). para concluir su ciclo.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Analizar otros factores como por ejemplo niveles de fertilidad que pueden estar influenciados en el rendimiento bajo ambos sistemas de riego: goteo y exudación.
2. Se recomienda realizar estudios posteriores, evaluando la instalación de la cinta exudante a diferentes profundidades, así como también las características hidráulicas de la cinta exudante y un protocolo para prueba de coeficiente de uniformidad y el desarrollo del bulbo húmedo.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGRORIEGO, EIRL. (2015). Cinta exudante y sus principales características de funcionamiento. Disponible en: <http://agroriegoeirl.cl/cinta-exudante/>. Ultimo acceso: 05 enero del 2015.

APAZA, V.; ESTRADA, R.; ALTAMIRANO, A. (2009). Estudio de quinua en el Perú. INIA
BRALT, V. and KESNER, C. (1998). Manufacturer variation and drip irrigation uniformity. ASAE, USA.

CÁRDENAS, J. F. (2000). Estudio del uso de la boquilla difusora cubana en las máquinas de riego de pivote central, Tesis (en opción al título de Máster en Riego y Drenaje), La Habana, Cuba.

CETIN, O. y UYGAN, G. (2008). The effect of drip line spacing, irrigation regimes and planting geo-metries of tomato on yield, irrigation water use efficiency and return. *Agrica. Wáter Manager*. 95(8): 49-958.

DOMÍNGUEZ, T. (1993). Situación actual y perspectivas del riego. México.

DUPONT, N.C. (1972). Bulletin of technical departamento. USA. P 1-5

EVANS, R. G. ; Wu, I.P. and SMAJSTRALA, A. G. (2007). Microirrigation systems. En: *Design and operation of farm irrigation systems*. 2nd Edition. ASABE. pp 632-683.

EVETT, S. (1999). Energy and water balances at soil-plant-atmosphere interfaces. pp: A129-A182. In: Sumner, M. (Ed.). *Handbook of Soil Science*. CRC Press. Boca Raton, USA.

FAO, (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO: Riego y drenaje N. ° 56. Roma, FAO.

GOLDBERG, D.; SHMUELI M. (1974). Técnicas y métodos para el uso eficiente de agua en la agricultura; Universidad Hebrea de Jerusalén; editado por el Departamento de capacitación para el exterior, Ministerio de Agricultura, Tel-Aviv, Rehovot; Israel; pág. 35,51-52.

GUROVICH, L. A. (1985). Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego. Ediciones Instituto Iberoamericano de Ciencias Agrícolas; 1ª. Edición, Costa Rica. 433 pp.

HOARE, E.R.; GARZOLI, K.V. & J. BLACKWELL (1974). Plant water requirements as related to trickle irrigation. Second Int. Drip Irrig. Congress. San Diego, California.

HOFMAN, G.; RHOADES, J. & LETEY, J. (1990). "Salinity Management". En Management of farm irrigation systems. Ed.: G. J. Hofman, T.A. Howell y K. H. Solomon. The American Society of Agricultural Engineers, Michigan (EE. UU.), pp. 667-715.

INIA. (2013). "Año Internacional de la Quinua". Boletín: Innovación Tecnológica en Quinua.

INIA. (2014). Curso Teórico – Práctico Manejo integrado del cultivo de quinua en la costa, Exposición ING. Luis Quintanilla Chacón

INIA. (2014). Programa Nacional de Investigación en Cultivos Andinos – Estación Experimental Agraria Illpa Puno. Expediente Técnico Quinua INIA 420 "Negra Collana" INIA y FAO (2013) Catalogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Lima-Perú 79 p

JOYCE, T. (1977). The Viaflo System of drip irrigation with porous tubes. Italia. Hort. Abst. 47: p. 923.

KAFKAFI, U. & BAR-YOSEF. B. (1980). "Trickle irrigation and fertilization of tomatoes in high calcareous soils". Agron. J., 72:893-897.

KELLER, J. & KARMELI, D. (1974). Trickle Irrigation Design Rain Bird, Glendora, California

MANUAL INFORMATIVO DE TUBO GEOTEXTIL EXUDANTE CT. (1990). Barcelona, España, 25 pp.

MERRIAM, J.L. & KELLER, J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management, Utah State University, Logan, Utah, USA.

MINAGRI, (2014). Publicaciones y prensa, El Perú se convirtió en el primer productor y exportador mundial de quinua Disponible en: minagri.gob.pe/portal/publicaciones-y-prensa/11973. Ultima actualización 12 de febrero del 2014.

MUJICA, A. (2006). Descriptores para la caracterización del cultivo de quinua. Manual para caracterización in situ de cultivos nativos. INIEA. Lima, Perú. Páginas: 90 – 94.

NATHAN, R (1997). La fertilización combinada con el riego. Estado de Israel. Ministerio de Agricultura. 59 p.

OBANDO, V. (1990). Influencia de cuatro láminas de agua empleando riego por exudación en el rendimiento del cultivo de vainita. Tesis (Ing. Agrícola). Lima (Perú).UNALM.: p 81.

PIZARRO, F. (1987). Riegos Localizados de Alta Frecuencia. Ediciones Mundi Prensa. 1ª. Edición, Madrid. 459 pp.

PIZARRO, F. (1990). Riegos Localizados de Alta Frecuencia. España: Ediciones Mundi Prensa.

PORITEX (2014). Riego localizado por exudación. Disponible en: <http://riegoexudanteporitex.mex>. Ultimo acceso: 15 de febrero del 2014.

PROINPA, FAO ALC (2011). Informe técnico: La Quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. 66 pp.

RODRIGO LÓPEZ, J.; HERNÁNDEZ, J.; RÉREZ, A. y GONZÁLEZ, H. (1992). Riego localizado. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 405 pp.

SANTIBÁÑEZ, F. (1994). Balance hídrico y demandas de riego. Pp: V1-V22. En: II Curso Interamericano Diseño de Proyectos de Riego y Drenaje. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

SHANI, U.; Xue, S.; Gordin-Katz, R. & Warrick AW. (1996). Journal of irrigation and drainage engineering. Volumen 122 N° 5, 291-295pp.

SYNGH, H. P.; KAUSHINH, S.P. & KUMAR, A. (2000). Micro-irrigation. En: Proceedings of the International Conference on Micro and Sprinkler Irrigation Systems, Central Board of Irrigation and Power, New Delhi, February 8-10. 794p.

QUEZADA, C.; VIDAL, I.; LEMUS, L.; SÁNCHEZ, H. (2007). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre rendimiento y calidad de fruta en frambueso (*Rubus Idaeus L.*) bajo dos programas de fertirrigación. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal v.8 n.1 Temuco.

APAZA V.; CÁCERES, G; ESTRADA, R y PINEDO, R, (2013). Catalogo de variedades comerciales de quinua en Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA, Organización de la Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura – FAO. 79pp Lima Perú.

X. ANEXOS

Anexo 1. Datos meteorológicos del mes de Junio del 2014

Día	Velocidad Viento m/s	Precipitación mm³	Humedad Prom. %	HR Min. %	HR Max. %	T. Aire Prom. C°	T. Aire Min. C°	T. Aire Max. C°
1	4.48	0.00	80.49	66.10	91.00	20.04	18.13	24.68
2	2.96	0.00	86.47	76.50	92.00	19.52	18.03	23.28
3	3.23	0.00	87.59	78.70	92.30	19.43	18.22	22.08
4	2.92	0.00	87.82	81.70	93.90	18.63	17.39	20.27
5	3.79	0.00	81.34	67.00	88.80	19.15	17.53	22.94
6	3.73	0.00	82.51	72.10	88.40	18.97	17.58	21.65
7	3.49	0.00	86.67	79.80	90.60	18.26	17.34	20.46
8	2.46	0.00	90.16	84.40	95.00	17.65	16.92	19.44
9	3.61	0.00	88.34	79.30	94.90	18.83	15.68	21.92
10	3.85	0.00	92.06	87.70	96.10	18.34	17.49	20.08
11	3.31	0.00	91.32	83.40	96.10	18.14	16.80	20.75
12	2.92	0.00	91.45	85.10	95.00	17.41	16.53	19.03
13	2.92	0.00	87.04	78.20	92.90	18.05	16.32	20.53
14	2.77	0.00	86.22	67.60	93.70	18.52	16.11	23.91
15	4.22	0.00	86.78	71.00	92.50	18.65	16.96	23.06
16	2.87	0.00	91.20	80.80	96.40	18.07	16.75	20.60
17	2.30	0.00	90.55	80.30	97.20	18.37	16.80	20.70
18	4.00	0.00	86.44	70.60	92.00	19.68	17.37	24.97
19	2.59	0.00	90.38	80.80	95.70	19.44	18.30	21.65
20	3.75	0.00	85.33	71.20	93.40	19.99	18.34	24.07
21	3.23	0.00	86.12	72.50	92.30	19.29	17.94	22.56
22	4.27	0.00	82.17	66.90	91.90	19.72	17.65	24.07
23	5.31	0.00	81.08	65.10	91.40	19.44	15.53	24.29
24	4.34	0.00	80.42	63.90	87.00	19.59	17.77	24.22
25	3.21	0.00	83.92	73.60	90.80	18.81	17.58	21.18
26	5.28	0.00	81.11	67.70	88.10	19.19	17.61	23.33
27	4.14	0.00	83.63	71.40	93.40	18.16	14.17	22.61
28	3.64	0.00	88.09	76.70	94.80	18.09	14.39	22.35
29	2.04	0.00	94.16	90.70	96.30	17.77	17.03	19.29
30	4.15	0.00	91.27	86.80	94.10	17.74	16.51	19.58
Prom.	3.53	0.00	86.74	75.92	92.93	18.76	17.03	21.99

Fuente: Elaborado con información de la Estación Meteorológica Automática del SENASA, La Molina (HOBO H-21)

Anexo 2. Datos meteorológicos del mes de Julio del 2014

Día	Velocidad Viento m/s	Precipitación mm³	Humedad Relativa %	HR Min. %	HR Max. %	T. Aire C°	T. Aire Min. C°	T. Aire Max. C°
1	3.35	0.00	91.87	86.50	96.70	16.95	15.77	18.75
2	3.68	0.00	88.31	79.40	95.30	17.13	15.56	19.84
3	2.60	0.00	90.20	83.90	95.10	16.55	15.84	18.56
4	5.72	0.00	84.25	76.30	88.50	17.20	15.99	19.37
5	3.97	0.00	84.46	71.60	89.30	17.36	15.72	21.34
6	3.97	0.00	90.25	85.00	93.60	16.47	15.65	18.01
7	3.02	0.00	91.13	87.10	94.50	16.22	15.08	17.75
8	4.77	0.00	90.43	82.50	94.70	16.24	14.77	19.08
9	3.19	0.00	92.53	85.70	96.50	15.99	14.67	18.08
10	3.58	0.00	93.18	84.40	95.80	15.66	14.84	18.37
11	4.40	0.00	90.83	82.10	95.10	15.81	14.43	18.20
12	3.69	0.00	89.68	79.20	94.90	16.07	14.82	20.58
13	3.76	0.00	90.17	83.20	94.40	16.15	14.77	18.65
14	4.63	0.00	91.23	80.00	94.90	16.04	14.96	19.70
15	2.50	0.00	92.28	85.60	97.10	15.21	14.15	16.56
16	3.76	0.00	88.57	74.20	94.70	16.48	14.91	21.34
17	3.86	0.00	89.07	78.60	93.10	16.50	15.18	20.15
18	3.36	0.00	92.15	77.90	97.30	16.07	14.17	20.48
19	3.20	0.00	91.55	76.10	97.10	16.71	14.79	21.94
20	4.15	0.00	92.09	78.10	97.50	16.67	14.94	20.67
21	4.32	0.00	88.49	74.20	94.30	16.84	15.27	21.15
22	3.70	0.00	93.41	89.30	96.50	15.33	14.39	16.92
23	2.87	0.00	91.80	89.10	94.40	15.14	14.79	16.15
24	2.56	0.00	94.16	87.50	97.90	14.68	13.81	16.82
25	2.01	0.00	96.06	92.60	97.90	14.44	13.52	15.87
26	2.50	0.00	95.32	90.80	97.80	14.77	13.91	16.34
27	3.34	0.00	95.25	88.20	98.20	15.03	13.74	17.63
28	3.21	0.00	97.01	92.70	98.80	14.63	13.71	16.96
29	4.09	0.00	91.96	77.70	98.60	15.71	13.57	20.87
30	3.52	0.00	92.12	70.80	98.10	15.46	13.55	22.27
31	3.88	0.00	93.14	78.70	97.80	15.17	13.62	19.77
Prom.	3.59	0.00	91.39	82.23	95.69	15.96	14.67	18.97

Fuente: Elaborado con información de la Estación Meteorológica Automática del SENASA, La Molina (HOBO H-21)

Anexo 3. Datos meteorológicos del mes de Agosto del 2014

Día	Velocidad Viento m/s	Precipitación mm³	Humedad Relativa %	HR Min. %	HR Max. %	T. Aire C°	T. Aire Min. C°	T. Aire Max. C°
1	2.60	0.00	96.38	92.00	98.50	14.43	13.64	15.61
2	3.61	0.00	92.08	81.30	98.10	15.79	13.71	18.79
3	3.42	0.00	90.24	78.70	94.50	15.67	14.12	19.91
4	3.76	0.00	88.65	72.40	95.50	16.26	14.03	22.03
5	3.42	0.00	89.62	73.10	96.30	16.68	12.70	22.30
6	4.55	0.00	91.15	77.50	96.30	16.30	14.58	20.56
7	3.34	0.00	95.98	91.50	98.10	14.94	14.05	16.96
8	3.90	0.00	94.14	84.80	98.80	15.15	13.59	17.77
9	3.34	0.00	93.42	85.70	97.30	15.51	14.48	18.22
10	3.12	0.00	93.10	81.10	98.50	15.68	13.95	19.56
11	3.73	0.00	93.65	82.30	98.30	15.81	14.34	19.22
12	3.23	0.00	95.35	86.20	98.60	15.32	14.17	18.13
13	3.92	0.00	90.40	72.80	98.70	16.18	14.10	21.84
14	3.99	0.00	92.47	86.00	95.50	15.40	14.07	17.56
15	4.68	0.00	91.27	79.00	97.00	15.55	14.00	18.87
16	4.89	0.00	89.82	74.90	97.10	15.54	13.50	19.91
17	4.06	0.00	90.10	83.90	93.80	15.38	14.29	17.53
18	3.19	0.00	91.82	78.90	98.10	15.24	12.87	19.58
19	3.59	0.00	90.35	85.80	92.90	15.61	14.58	17.63
20	4.44	0.00	91.01	75.70	95.60	15.69	14.15	20.72
21	5.10	0.00	90.67	81.80	95.10	15.29	14.03	18.41
22	5.63	0.00	84.88	71.10	93.30	16.27	14.10	20.67
23	4.34	0.00	87.59	76.40	94.70	15.57	13.91	19.46
24	4.25	0.00	85.77	71.90	95.00	16.11	13.71	20.06
25	3.82	0.00	84.87	66.60	94.70	16.93	14.65	22.70
26	5.06	0.00	87.49	75.80	93.00	16.37	15.01	19.96
27	4.59	0.00	89.78	77.60	95.60	15.76	13.64	19.44
28	4.52	0.00	87.72	71.20	95.50	16.46	14.27	21.87
29	4.67	0.00	87.40	71.50	94.00	16.62	14.63	21.63
30	3.19	0.00	87.53	69.80	94.70	17.00	14.63	23.02
31	2.57	0.00	92.02	83.60	96.50	15.89	14.55	18.63
Prom.	3.95	0.00	90.54	78.74	96.12	15.82	14.07	19.63

Fuente: Elaborado con información de la Estación Meteorológica Automática del SENASA, La Molina (HOBO H-21)

Anexo 4. Datos meteorológicos del mes de Setiembre del 2014

Día	Velocidad Viento m/s	Precipitación mm³	Humedad Relativa %	HR Min. %	HR Max. %	T. Aire C°	T. Aire Min. C°	T. Aire Max. C°
1	4.48	0.00	80.49	66.10	91.00	20.04	18.13	24.68
2	2.96	0.00	86.47	76.50	92.00	19.52	18.03	23.28
3	3.23	0.00	87.59	78.70	92.30	19.43	18.22	22.08
4	2.92	0.00	87.82	81.70	93.90	18.63	17.39	20.27
5	3.79	0.00	81.34	67.00	88.80	19.15	17.53	22.94
6	3.73	0.00	82.51	72.10	88.40	18.97	17.58	21.65
7	3.49	0.00	86.67	79.80	90.60	18.26	17.34	20.46
8	2.46	0.00	90.16	84.40	95.00	17.65	16.92	19.44
9	3.61	0.00	88.34	79.30	94.90	18.83	15.68	21.92
10	3.85	0.00	92.06	87.70	96.10	18.34	17.49	20.08
11	3.31	0.00	91.32	83.40	96.10	18.14	16.80	20.75
12	2.92	0.00	91.45	85.10	95.00	17.41	16.53	19.03
13	2.92	0.00	87.04	78.20	92.90	18.05	16.32	20.53
14	2.77	0.00	86.22	67.60	93.70	18.52	16.11	23.91
15	4.22	0.00	86.78	71.00	92.50	18.65	16.96	23.06
16	2.87	0.00	91.20	80.80	96.40	18.07	16.75	20.60
17	2.30	0.00	90.55	80.30	97.20	18.37	16.80	20.70
18	4.00	0.00	86.44	70.60	92.00	19.68	17.37	24.97
19	2.59	0.00	90.38	80.80	95.70	19.44	18.30	21.65
20	3.75	0.00	85.33	71.20	93.40	19.99	18.34	24.07
21	3.23	0.00	86.12	72.50	92.30	19.29	17.94	22.56
22	4.27	0.00	82.17	66.90	91.90	19.72	17.65	24.07
23	5.31	0.00	81.08	65.10	91.40	19.44	15.53	24.29
24	4.34	0.00	80.42	63.90	87.00	19.59	17.77	24.22
25	3.21	0.00	83.92	73.60	90.80	18.81	17.58	21.18
26	5.28	0.00	81.11	67.70	88.10	19.19	17.61	23.33
27	4.14	0.00	83.63	71.40	93.40	18.16	14.17	22.61
28	3.64	0.00	88.09	76.70	94.80	18.09	14.39	22.35
29	2.04	0.00	94.16	90.70	96.30	17.77	17.03	19.29
30	4.15	0.00	91.27	86.80	94.10	17.74	16.51	19.58
31	3.53	0.00	86.74	75.92	92.93	18.76	17.03	21.99
Prom.	1	4.48	0.00	80.49	66.10	91.00	20.04	18.13

Fuente: Elaborado con información de la Estación Meteorológica Automática del SENASA, La Molina (HOBO H-21)

Anexo 5. Datos meteorológicos del mes de Octubre del 2014

Dia	Velocidad Viento m/s	Precipitación mm³	Humedad Relativa %	HR Min. %	HR Max. %	T. Aire C°	T. Aire Min. C°	T. Aire Max. C°
1	1.96	0.00	89.52	71.60	96.40	16.39	14.39	22.11
2	2.95	0.00	87.79	66.50	96.10	16.99	14.34	23.62
3	2.93	0.00	87.71	69.10	94.40	16.47	14.53	21.96
4	1.47	0.00	89.74	74.90	94.60	16.19	14.77	21.53
5	2.20	0.00	86.85	65.40	97.00	16.92	14.12	23.23
6	2.33	0.00	89.01	75.20	96.30	16.42	12.41	20.77
7	0.88	0.00	89.79	81.00	94.10	16.27	14.98	18.84
8	1.32	0.00	90.62	79.10	96.40	16.06	14.60	19.46
9	2.35	0.00	86.84	69.00	95.40	17.32	13.91	22.92
10	1.51	0.00	87.66	71.50	95.90	17.20	14.75	22.30
11	1.52	0.00	85.47	65.40	95.30	18.29	15.13	25.40
12	0.43	0.00	87.93	69.80	96.70	18.04	15.46	23.57
13	1.03	0.00	89.36	72.50	96.90	17.55	15.53	22.63
14	1.91	0.00	91.19	76.70	97.40	17.23	15.46	21.70
15	3.57	0.00	89.29	72.90	97.40	17.71	15.22	22.49
16	1.95	0.00	87.87	65.90	97.50	17.84	15.08	25.31
17	3.42	0.00	82.43	61.70	94.80	18.96	14.70	24.92
18	3.51	0.00	86.11	68.30	94.80	18.13	15.41	24.07
19	2.93	0.00	87.46	67.50	95.00	17.37	15.13	22.42
20	3.03	0.00	83.69	64.20	94.80	18.65	14.27	25.11
21	2.95	0.00	87.36	75.90	94.00	18.32	16.18	22.37
22	2.71	0.00	89.53	75.60	96.20	17.54	15.89	22.42
23	3.61	0.00	85.91	69.30	94.10	18.09	15.75	23.18
24	2.03	0.00	87.02	72.40	94.00	17.69	15.80	22.18
25	1.08	0.00	88.00	73.90	96.70	17.23	15.37	20.98
26	4.44	0.00	81.11	65.30	91.80	18.64	14.79	24.07
27	2.71	0.00	85.63	70.20	92.90	18.13	15.03	23.18
28	3.46	0.00	83.88	66.30	92.50	19.21	16.34	24.85
29	3.03	0.00	84.38	64.80	93.20	19.09	16.82	25.31
30	1.82	0.00	86.69	70.80	95.70	18.01	15.87	22.66
31	0.27	0.00	91.53	83.60	97.30	16.77	15.58	18.11
Prom.	2.30	0.00	87.33	70.85	95.34	17.57	15.08	22.70

Fuente: Elaborado con información de la Estación Meteorológica Automática del SENASA, La Molina (HOBO H-21)

Anexo 6. Análisis de varianza la altura de planta a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS.

AP 52DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	8	8	0.031	<.0001	**
Bloque	3	49.5	16.5	0.021	<.0001	**
Error	3	0	0			
Total	7	57.5				

CV (%): 0.1 Promedio: 68.25

AP 59DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	6.125	6.125	0.79	0.4406	n.s.
Bloque	3	37.375	12.4583	1.6	0.3546	n.s.
Error	3	23.375	7.79167			
Total	7	66.875				

CV (%): 3.31811 Promedio: 84.125

AP 66DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	288	288	4.67	0.1195	n.s.
Bloque	3	292.5	97.5	1.58	0.3579	n.s.
Error	3	23.375	7.79167			
Total	7	66.875				

CV (%): 8.74965 Promedio: 89.75

AP 73DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	364.5	364.5	4.76	0.117	n.s.
Bloque	3	362	120.667	1.58	0.3586	n.s.
Error	3	229.5	76.5			
Total	7	956				

CV (%): 9.25548 Promedio: 94.5

AP 80DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	435.125	435.125	37.97	0.0086	**
Bloque	3	409.375	136.458	11.91	0.0357	*
Error	3	34.375	11.4583			
Total	7	878.875				

CV (%): 3.38079 Promedio: 100.125

AP 87DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	612.5	612.5	5.72	0.0967	n.s.
Bloque	3	50	16.6667	0.16	0.9196	n.s.
Error	3	321.5	107.167			
Total	7	984				

CV (%): 9.62989 Promedio: 107.5

AP 94DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	406.125	406.125	7.24	0.0744	n.s.
Bloque	3	128.375	42.7917	0.76	0.5856	n.s.
Error	3	168.375	56.125			
Total	7	702.875				

CV (%): 7.35378 Promedio: 101.875

AP 108DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	392	392	6.72	0.0809	N.S.
Bloque	3	113	37.6667	0.65	0.636	N.S.
Error	3	175	58.3333			
Total	7	680				

CV (%): 7.67601 Promedio: 99.5

n.s.: No significativo *: significativo **: Altamente significativo

Anexo 7. Análisis de varianza de la longitud de raíz a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS

52DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	10.125	10.125	81	0.0029	**
Bloque	3	21.375	7.125	57	0.0038	**
Error	3	0.375	0.125			
Total	7	31.875				

CV (%): 2.64339 Promedio: 13.375

66DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	23.4613	23.4613	210.89	0.0007	**
Bloque	3	21.4538	7.15125	64.28	0.0032	**
Error	3	0.33375	0.11125			
Total	7	45.2488				

CV (%): 2.207058 Promedio: 15.1125

80DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	78.7513	78.7513	165.94	0.001	*
Bloque	3	11.8238	3.94125	8.3	0.0578	n.s.
Error	3	1.42375	0.47458			
Total	7	91.9988				

CV (%): 3.883862 Promedio: 17.7375

94DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	60.5	60.5	150	0.0012	**
Bloque	3	12.87	4.29	10.64	0.0416	*
Error	3	1.21	0.40333			
Total	7	74.58				

CV (%): 3.387122 Promedio: 18.75

n.s.: No significativo *: significativo **: Altamente significativo

59DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	21.125	21.125	195	0.0008	**
Bloque	3	20.985	6.995	64.57	0.0032	**
Error	3	0.325	0.10833			
Total	7	42.435				

CV (%): 2.34681 Promedio: 14.025

73DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	32.4013	32.4013	291.25	0.0004	**
Bloque	3	21.4538	7.15125	64.28	0.0032	**
Error	3	0.33375	0.11125			
Total	7	54.1888				

CV (%): 2.07008 Promedio: 16.1125

87DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	60.5	60.5	150	0.0012	**
Bloque	3	12.87	4.29	10.64	0.0416	*
Error	3	1.21	0.40333			
Total	7	74.58				

CV (%): 3.4422 Promedio: 18.45

108DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	60.5	60.5	150	0.0012	**
Bloque	3	12.87	4.29	10.64	0.0416	*
Error	3	1.21	0.40333			
Total	7	74.58				

CV (%): 3.33378 Promedio: 19.05

Anexo 8. Análisis de varianza de la biomasa aérea a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS

52DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	3761.914	3761.914	245.46	0.0006	**
Bloque	3	35.929	11.97633	0.78	0.5779	n.s.
Error	3	45.978	15.326			
Total	7	3843.821				

CV (%): 7.8 Promedio: 50.36

66DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	14787.7	14787.7	47.91	0.0062	**
Bloque	3	1806.16	602.0533	1.95	0.2985	n.s.
Error	3	925.9537	308.6513			
Total	7	17519.81				

CV (%): 21 Promedio: 85.396

80DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	25705.51	25705.51	34.95	0.0097	**
Bloque	3	1293.13	431.0435	0.59	0.6643	n.s.
Error	3	2206.648	735.5492			
Total	7	29205.29				

CV (%): 24 Promedio: 111.80

94DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	902.0628	902.0628	1.04	0.3837	n.s.
Bloque	3	1230.633	410.2111	0.47	0.7238	n.s.
Error	3	2611.802	870.6008			
Total	7	4744.498				

CV (%): 42 Promedio: 70.46

n.s.: No significativo *: significativo **: Altamente significativo

59DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	8515.778	8515.778	16.52	0.0269	*
Bloque	3	1036.928	345.6427	0.67	0.6247	n.s.
Error	3	1546.365	515.4552			
Total	7	11099.07				

CV (%): 36 Promedio: 62.95

BA 73DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	17992.1	17992.1	25.12	0.0153	*
Bloque	3	1340.908	446.9693	0.62	0.646	n.s.
Error	3	2148.398	716.1328			
Total	7	21481.4				

CV (%): 29 Promedio: 92.25

BA 87DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	2158.245	2158.245	7.92	0.067	n.s.
Bloque	3	3968.383	1322.794	4.86	0.1135	n.s.
Error	3	817.3059	272.4353			
Total	7	6943.934				

CV (%): 13 Promedio: 125.31

108DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	1074.625	1074.625	1.08	0.3756	n.s.
Bloque	3	1317.513	439.1711	0.44	0.7411	n.s.
Error	3	2992.802	997.6005			
Total	7	5384.94				

CV (%): 62 Promedio: 51.07

Anexo 9. Análisis de varianza del rendimiento: Rendimiento (Kg/ha)

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	5595323.74	5595323.74	1120.83	0.0009	**
Bloque	2	10917.315	5458.658	1.09	0.4777	n.s.
Error	2	9984.272	4992.136			
Total	5	5616225.33				

CV (%): 2.766878 Promedio: 2553.602 Kg.

n.s.: No significativo *: significativo **: Altamente significativo

Anexo N° 10. Análisis de varianza del rendimiento: Índice de cosecha (Kg/ha)

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	0.0662	0.06615	101.77	0.0097	**
Bloque	2	0.0004	0.00022	0.33	0.75	n.s.
Error	2	0.0013	0.00065			
Total	5	0.0678				

CV (%): 6.046268 Promedio: 0.421667 Kg.

n.s.: No significativo *: significativo **: Altamente significativo

Anexo 11. Análisis de varianza de la cobertura de canopy a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS

Cobertura de Canopy - 52DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	6.48	6.48	4.27E+13	<.0001	**
Bloque	3	361.357	120.452	7.95E+14	<.0001	**
Error	3	0.000	0.000			
Total	7	367.837				

CV (%): 9.21E-07 Promedio: 42.2625

Cobertura de Canopy - 59DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	10.58	10.58	6.98E+13	<.0001	**
Bloque	3	361.357	120.452	7.95E+14	<.0001	**
Error	3	0	0			
Total	7	371.937				

CV (%): 8.46E-07 Promedio: 46.0125

Cobertura de Canopy - 66DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	32	32	Infty	<.0001	**
Bloque	3	361.357	120.452	Infty	<.0002	**
Error	3	0	0			
Total	7	393.357				

CV (%): 0 Promedio: 52.1625

Cobertura de Canopy - 73DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	60.5	60.5	Infty	<.0001	**
Bloque	3	266.987	88.9955	Infty	<.0002	**
Error	3	0	0			
Total	7	327.487				

CV (%): 0 Promedio: 77.6625

Cobertura de Canopy - 80DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	701.251	701.251	28.33	0.013	*
Bloque	3	58.7367	19.5789	0.79	0.5741	n.s.
Error	3	74.2625	24.7542			
Total	7	834.25				

CV (%): 6.28837 Promedio: 79.12

Cobertura de Canopy - 87DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	1248.5	1248.5	23.5	0.0168	*
Bloque	3	25.9825	8.66083	0.16	0.9148	n.s.
Error	3	159.4	53.1334			
Total	7	1433.88				

CV (%): 13.3137 Promedio: 54.75

Cobertura de Canopy - 94DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	246.531	246.531	2.91	0.1864	n.s.
Bloque	3	56.1306	18.7102	0.22	0.8765	n.s.
Error	3	253.86	84.62			
Total	7	556.522				

CV (%): 19.528 Promedio: 47.1063

n.s.: No significativo *: significativo **: Altamente significativo

Cobertura de Canopy - 108DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	26.8278	26.8278	6.2	0.0884	n.s.
Bloque	3	38.3852	12.7951	2.96	0.1984	n.s.
Error	3	12.9754	4.32515			
Total	7	78.1885				

CV (%): 17.0905 Promedio: 12.1688

Anexo 12. Análisis de varianza del Índice de área foliar a los 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 108 DSS

IAF 52DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	0.0338	0.0338	16.1	0.0278	*
Bloque	3	0.9219	0.3073	146.33	0.0009	**
Error	3	0.0063	0.0021			
Total	7	0.962				

CV (%): 3.6 Promedio: 1.285

IAF 59DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	0.41405	0.41405	3.24	0.1695	n.s.
Bloque	3	0.45415	0.151383	1.19	0.4459	n.s.
Error	3	0.38295	0.12765			
Total	7	1.25115				

CV (%): 19 Promedio: 1.8575

IAF 66DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	0.18605	0.18605	19.83	0.0211	*
Bloque	3	0.48615	0.16205	17.27	0.0214	*
Error	3	0.02815	0.009383			
Total	7	0.70035				

CV (%): 4 Promedio: 2.4375

IAF 73DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	0.32805	0.32805	14.09	0.033	*
Bloque	3	0.36845	0.122817	5.27	0.1027	n.s.
Error	3	0.06985	0.023283			
Total	7	0.76635				

CV (%): 5.7 Promedio: 2.6775

IAF 80DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	0.678613	0.678613	4.88	0.1141	n.s.
Bloque	3	0.639438	0.213146	1.53	0.3668	n.s.
Error	3	0.416838	0.138946			
Total	7	1.734888				

CV (%): 13 Promedio: 2.96875

IAF 87DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	0.714013	0.714013	5.43	0.1022	n.s.
Bloque	3	0.548238	0.182746	1.39	0.3968	n.s.
Error	3	0.394638	0.131546			
Total	7	1.656888				

CV (%): 13 Promedio: 2.87125

IAF 94DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	0.714013	0.714013	5.43	0.1022	n.s.
Bloque	3	0.548238	0.182746	1.39	1.39	n.s.
Error	3	0.394638	0.131546			
Total	7	1.656888				

CV (%): 14 Promedio: 2.66125

IAF 108DDS

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Pr >F	Nivel de sig.
Tratamiento	1	0.702113	0.702113	5.39	0.1029	n.s.
Bloque	3	0.549838	0.183279	1.41	0.3928	n.s.
Error	3	0.390738	0.130246			
Total	7	1.642688				

CV (%): 14 Promedio: 2.54875

n.s.: No significativo *; significativo **: Altamente significativo

Anexo 13. Cálculo para determinar $ET_c = (K_{cb} + K_e) * ET_o$, con la aplicación del concepto de Kc dual, bajo riego por goteo-Etapa I

Cultivo: Quinua
Siembra: 17/06/14

L ini	L des	L med	L fin
25	35	30	27

Kcb	Kcb inicial:	Kcb medio:	Kcb final:
	0.15	1.1	0.65

Ajustes	Kcb min, máxima	Altura
	Velocidad del viento	ms-1, HR%

Fecha	Etapas FAO	DDS	u2	HR min	Altura	Kcb	ETo	P-RO	I/fw	Kc	1-fc	fw	few	Kcb	De,i inicio dia	Kr	Ke	E/few	DPe	De,i final dia	E	Kc	Etc
			m/s	%	m	mm/día	mm	mm	max	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	dual
17/06/14		1	2.30	80.30	0.03	0.15	1.65	0.00	3.25	1.17	1.00	0.40	0.40	0.15	0.00	1.00	0.47	1.93	3.25	1.93	0.77	0.62	1.02
18/06/14		2	4.00	70.60	0.04	0.15	2.23	0.00	0.00	1.19	1.00	0.40	0.40	0.15	1.93	1.00	0.48	2.66	0.00	4.59	1.07	0.63	1.40
19/06/14		3	2.59	80.80	0.05	0.15	1.60	0.00	6.04	1.17	1.00	0.40	0.40	0.15	4.59	1.00	0.47	1.86	1.46	1.86	0.75	0.62	0.99
20/06/14		4	3.75	71.20	0.06	0.15	1.99	0.00	0.00	1.19	1.00	0.40	0.40	0.15	1.86	1.00	0.48	2.37	0.00	4.23	0.95	0.63	1.25
21/06/14		5	3.23	72.50	0.07	0.15	1.80	0.00	5.58	1.18	1.00	0.40	0.40	0.15	4.23	1.00	0.47	2.12	1.35	2.12	0.85	0.62	1.12
22/06/14		6	4.27	66.90	0.09	0.15	2.04	0.00	0.00	1.20	1.00	0.40	0.40	0.15	2.12	1.00	0.48	2.45	0.00	4.57	0.98	0.63	1.29
23/06/14		7	5.31	65.10	0.10	0.15	2.24	0.00	6.01	1.22	1.00	0.40	0.40	0.15	4.57	1.00	0.49	2.73	1.44	2.73	1.09	0.64	1.43
24/06/14		8	4.34	63.90	0.11	0.15	2.05	0.00	0.00	1.21	1.00	0.40	0.40	0.15	2.73	1.00	0.48	2.47	0.00	5.20	0.99	0.63	1.30
25/06/14		9	3.21	73.60	0.12	0.15	1.61	0.00	6.81	1.18	1.00	0.40	0.40	0.15	5.20	1.00	0.47	1.89	1.61	1.89	0.76	0.62	1.00
26/06/14		10	5.28	67.70	0.13	0.15	1.94	0.00	0.00	1.22	1.00	0.40	0.40	0.15	1.89	1.00	0.49	2.36	0.00	4.25	0.94	0.64	1.23
27/06/14		11	4.14	71.40	0.14	0.15	2.14	0.00	5.58	1.19	1.00	0.40	0.40	0.15	4.25	1.00	0.48	2.55	1.33	2.55	1.02	0.63	1.34
28/06/14		12	3.64	76.70	0.15	0.15	2.12	0.00	0.00	1.18	1.00	0.40	0.40	0.15	2.55	1.00	0.47	2.49	0.00	5.04	1.00	0.62	1.31
29/06/14	25	13	2.04	90.70	0.16	0.15	1.36	0.00	6.64	1.12	1.00	0.40	0.40	0.15	5.04	1.00	0.45	1.53	1.60	1.53	0.61	0.60	0.82
30/06/14		14	4.15	86.80	0.17	0.15	1.50	0.00	0.00	1.17	1.00	0.40	0.40	0.15	1.53	1.00	0.47	1.75	0.00	3.28	0.70	0.62	0.92
01/07/14		15	3.35	86.50	0.18	0.15	1.46	0.00	4.35	1.15	1.00	0.40	0.40	0.15	3.28	1.00	0.46	1.68	1.07	1.68	0.67	0.61	0.89
02/07/14		16	3.68	79.40	0.20	0.15	1.66	0.00	0.00	1.17	1.00	0.40	0.40	0.15	1.68	1.00	0.47	1.94	0.00	3.62	0.78	0.62	1.03
03/07/14		17	2.60	83.90	0.21	0.15	1.41	0.00	4.79	1.14	1.00	0.40	0.40	0.15	3.62	1.00	0.46	1.61	1.17	1.61	0.64	0.61	0.86
04/07/14		18	5.72	76.30	0.22	0.15	1.53	0.00	0.00	1.21	1.00	0.40	0.40	0.15	1.61	1.00	0.48	1.85	0.00	3.46	0.74	0.63	0.97
05/07/14		19	3.97	71.60	0.23	0.15	1.87	0.00	4.56	1.19	1.00	0.40	0.40	0.15	3.46	1.00	0.48	2.22	1.10	2.22	0.89	0.63	1.17
06/07/14		20	3.97	85.00	0.24	0.15	1.35	0.00	0.00	1.16	1.00	0.40	0.40	0.15	2.22	1.00	0.47	1.57	0.00	3.79	0.63	0.62	0.83
07/07/14		21	3.02	87.10	0.25	0.15	1.39	0.00	5.00	1.14	1.00	0.40	0.40	0.15	3.79	1.00	0.46	1.58	1.21	1.58	0.63	0.61	0.84
08/07/14		22	4.77	82.50	0.26	0.15	1.66	0.00	0.00	1.18	1.00	0.40	0.40	0.15	1.58	1.00	0.47	1.96	0.00	3.55	0.78	0.62	1.03
09/07/14		23	3.19	85.70	0.27	0.15	1.51	0.00	4.69	1.14	1.00	0.40	0.40	0.15	3.55	1.00	0.46	1.73	1.14	1.73	0.69	0.61	0.92
10/07/14		24	3.58	84.40	0.28	0.15	1.55	0.00	0.00	1.15	1.00	0.40	0.40	0.15	1.73	1.00	0.46	1.79	0.00	3.52	0.72	0.61	0.95
11/07/14		25	4.40	82.10	0.29	0.15	1.57	0.00	4.66	1.17	1.00	0.40	0.40	0.15	3.52	1.00	0.47	1.84	1.15	1.84	0.74	0.62	0.97

Anexo 14. Cálculo para determinar $ET_c = (K_{cb} + K_e) * ET_o$, con la aplicación del concepto de Kc dual, bajo riego por goteo-Etapa II

Fecha	s	DDS	u2 m/s	HR min %	Altura m	Kcb	ETo mm/día	P-RO mm	I/fw mm	Kc max	1-fc	fw	few	Kcb	De,i inicio dia mm	Kr	Ke	E/few mm	DPe mm	De,i final dia mm	E mm	Kc dual	Etc mm
12/07/14		26	3.69	79.20	0.31	0.18	1.89	0.00	0.00	1.17	0.98	0.40	0.40	0.18	1.84	1.00	0.47	2.20	0.00	4.05	0.88	0.64	1.22
13/07/14		27	3.76	83.20	0.32	0.20	1.61	0.00	5.47	1.16	0.95	0.40	0.40	0.20	4.05	1.00	0.46	1.86	1.43	1.86	0.75	0.67	1.07
14/07/14		28	4.63	80.00	0.33	0.23	1.76	0.00	0.00	1.18	0.93	0.40	0.40	0.23	1.86	1.00	0.47	2.08	0.00	3.95	0.83	0.70	1.24
15/07/14		29	2.50	85.60	0.34	0.26	1.34	0.00	5.78	1.13	0.90	0.40	0.40	0.26	3.95	1.00	0.45	1.51	1.84	1.51	0.60	0.71	0.95
16/07/14		30	3.76	74.20	0.35	0.29	2.02	0.00	0.00	1.18	0.88	0.40	0.40	0.29	1.51	1.00	0.47	2.38	0.00	3.88	0.95	0.76	1.53
17/07/14		31	3.86	78.60	0.36	0.31	1.82	0.00	6.19	1.17	0.86	0.40	0.40	0.31	3.88	1.00	0.47	2.13	2.31	2.13	0.85	0.78	1.42
18/07/14		32	3.36	77.90	0.37	0.34	1.99	0.00	0.00	1.16	0.84	0.40	0.40	0.34	2.13	1.00	0.46	2.31	0.00	4.43	0.92	0.80	1.60
19/07/14		33	3.20	76.10	0.38	0.37	2.15	0.00	7.54	1.16	0.82	0.40	0.40	0.37	4.43	1.00	0.46	2.49	3.11	2.49	1.00	0.83	1.79
20/07/14		34	4.15	78.10	0.39	0.39	1.95	0.00	0.00	1.18	0.80	0.40	0.40	0.39	2.49	1.00	0.47	2.29	0.00	4.78	0.92	0.86	1.68
21/07/14		35	4.32	74.20	0.40	0.42	1.99	0.00	8.67	1.19	0.78	0.40	0.40	0.42	4.78	1.00	0.48	2.36	3.89	2.36	0.95	0.90	1.78
22/07/14		36	3.70	89.30	0.42	0.45	1.40	0.00	0.00	1.14	0.74	0.40	0.40	0.45	2.36	1.00	0.46	1.60	0.00	3.96	0.64	0.90	1.27
23/07/14		37	2.87	89.10	0.43	0.47	1.16	0.00	7.62	1.12	0.71	0.40	0.40	0.48	3.96	1.00	0.45	1.30	3.66	1.30	0.52	0.92	1.07
24/07/14		38	2.56	87.50	0.44	0.50	1.48	0.00	0.00	1.12	0.69	0.40	0.40	0.50	1.30	1.00	0.45	1.65	0.00	2.95	0.66	0.95	1.40
25/07/14		39	2.01	92.60	0.45	0.53	1.35	0.00	6.19	1.09	0.65	0.40	0.40	0.53	2.95	1.00	0.44	1.48	3.23	1.48	0.59	0.97	1.30
26/07/14		40	2.50	90.80	0.46	0.56	1.39	0.00	0.00	1.11	0.63	0.40	0.40	0.56	1.48	1.00	0.44	1.54	0.00	3.01	0.62	1.00	1.39
27/07/14		41	3.34	88.20	0.47	0.58	1.66	0.00	6.73	1.13	0.62	0.40	0.40	0.58	3.01	1.00	0.45	1.88	3.72	1.88	0.75	1.04	1.72
28/07/14		42	3.21	92.70	0.48	0.61	1.55	0.00	0.00	1.12	0.59	0.40	0.40	0.61	1.88	1.00	0.45	1.73	0.00	3.61	0.69	1.06	1.64
29/07/14	35	43	4.09	77.70	0.49	0.64	2.19	0.00	8.40	1.17	0.59	0.40	0.40	0.64	3.61	1.00	0.47	2.57	4.79	2.57	1.03	1.11	2.42
30/07/14		44	3.52	70.80	0.50	0.66	2.41	0.00	0.00	1.18	0.56	0.40	0.40	0.66	2.57	1.00	0.47	2.83	0.00	5.40	1.13	1.13	2.73
31/07/14		45	3.88	78.70	0.51	0.69	2.04	0.00	12.89	1.17	0.53	0.40	0.40	0.69	5.40	1.00	0.47	2.38	7.49	2.38	0.95	1.16	2.36
01/08/14		46	2.60	92.00	0.53	0.72	1.35	0.00	0.00	1.10	0.47	0.40	0.40	0.72	2.38	1.00	0.38	1.30	0.00	3.67	0.52	1.10	1.49
02/08/14		47	3.61	81.30	0.54	0.75	1.89	0.00	9.63	1.15	0.47	0.40	0.40	0.75	3.67	1.00	0.41	1.92	5.95	1.92	0.77	1.15	2.18
03/08/14		48	3.42	78.70	0.55	0.77	2.03	0.00	0.00	1.15	0.45	0.40	0.40	0.77	1.92	1.00	0.38	1.93	0.00	3.85	0.77	1.15	2.34
04/08/14		49	3.76	72.40	0.56	0.80	2.37	0.00	11.30	1.18	0.44	0.40	0.40	0.80	3.85	1.00	0.38	2.23	7.44	2.23	0.89	1.18	2.79
05/08/14		50	3.42	73.10	0.57	0.83	2.54	0.00	0.00	1.17	0.40	0.40	0.40	0.83	2.23	1.00	0.34	2.16	0.00	4.39	0.86	1.17	2.96
06/08/14		51	4.55	77.50	0.58	0.85	2.12	0.00	14.38	1.18	0.39	0.40	0.39	0.85	4.39	1.00	0.33	1.80	9.99	1.80	0.70	1.18	2.51
07/08/14		52	3.34	91.50	0.59	0.88	1.56	0.00	0.00	1.12	0.30	0.40	0.30	0.88	1.80	1.00	0.24	1.22	0.00	3.03	0.37	1.12	1.75
08/08/14		53	3.90	84.80	0.60	0.91	1.79	0.00	10.63	1.15	0.30	0.40	0.30	0.91	3.03	1.00	0.24	1.44	7.61	1.44	0.43	1.15	2.06
09/08/14		54	3.34	85.70	0.61	0.94	1.75	0.00	0.00	1.13	0.25	0.40	0.25	0.94	1.44	1.00	0.20	1.36	0.00	2.80	0.35	1.13	1.98
10/08/14		55	3.12	81.10	0.62	0.96	2.07	0.00	10.09	1.14	0.23	0.40	0.23	0.96	2.80	1.00	0.18	1.60	7.30	1.60	0.36	1.14	2.36
11/08/14		56	3.73	82.30	0.64	0.99	1.97	0.00	0.00	1.15	0.22	0.40	0.22	0.99	1.60	1.00	0.16	1.46	0.00	3.06	0.32	1.15	2.27
12/08/14		57	3.23	86.20	0.65	1.02	1.81	0.00	11.55	1.13	0.16	0.40	0.16	1.02	3.06	1.00	0.11	1.29	8.49	1.29	0.20	1.13	2.04
13/08/14		58	3.92	72.80	0.66	1.04	2.45	0.00	0.00	1.18	0.18	0.40	0.18	1.04	1.29	1.00	0.14	1.85	0.00	3.14	0.33	1.18	2.89
14/08/14		59	3.99	86.00	0.67	1.07	1.72	0.00	12.32	1.15	0.11	0.40	0.11	1.07	3.14	1.00	0.08	1.24	9.17	1.24	0.13	1.15	1.97
15/08/14		60	4.68	79.00	0.68	1.10	1.99	0.00	0.00	1.18	0.11	0.40	0.11	1.10	1.24	1.00	0.08	1.49	0.00	2.73	0.17	1.18	2.35

Anexo 15. Cálculo para determinar $ET_c = (K_{cb} + K_e) * ETo$, con la aplicación del concepto de Kc dual, bajo riego por goteo-Etapa III

Fecha	Etapas FAO	DDS	u2	HR min	Altura	Kcb	ETo	P-RO	l/fw	Kc	1-fc	fw	few	Kcb	De,i	Kr	Ke	E/few	DPe	De,i	E	Kc	Etc
			m/s	%	m		mm/día	mm	mm	max	mm	mm	mm		mm			mm	mm	mm		mm	mm
16/08/14		61	4.89	74.90	0.69	1.10	2.23	0.00	10.81	1.20	0.13	0.40	0.13	1.10	2.73	1.00	0.10	1.70	8.07	1.70	0.22	1.20	2.67
17/08/14		62	4.06	83.90	0.70	1.05	1.70	0.00	0.00	1.15	0.14	0.40	0.14	1.05	1.70	1.00	0.10	1.24	0.00	2.95	0.17	1.15	1.96
18/08/14		63	3.19	78.90	0.71	1.04	2.27	0.00	11.58	1.14	0.14	0.40	0.14	1.04	2.95	1.00	0.10	1.64	8.63	1.64	0.23	1.14	2.59
19/08/14		64	3.59	85.80	0.72	1.03	1.69	0.00	0.00	1.14	0.14	0.40	0.14	1.04	1.64	1.00	0.10	1.21	0.00	2.86	0.17	1.14	1.92
20/08/14		65	4.44	75.70	0.73	1.08	2.35	0.00	11.28	1.18	0.13	0.40	0.13	1.08	2.86	1.00	0.10	1.77	8.42	1.77	0.24	1.18	2.78
21/08/14		66	5.10	81.80	0.75	1.08	1.95	0.00	0.00	1.19	0.13	0.40	0.13	1.09	1.77	1.00	0.10	1.47	0.00	3.24	0.20	1.19	2.31
22/08/14		67	5.63	71.10	0.76	1.13	2.34	0.00	12.73	1.23	0.13	0.40	0.13	1.13	3.24	1.00	0.10	1.84	9.49	1.84	0.23	1.23	2.87
23/08/14		68	4.34	76.40	0.77	1.08	2.17	0.00	0.00	1.18	0.13	0.40	0.13	1.08	1.84	1.00	0.10	1.63	0.00	3.46	0.22	1.18	2.56
24/08/14		69	4.25	71.90	0.78	1.09	2.31	0.00	13.57	1.19	0.13	0.40	0.13	1.09	3.46	1.00	0.10	1.75	10.11	1.75	0.23	1.19	2.75
25/08/14		70	3.82	66.60	0.79	1.09	2.66	0.00	0.00	1.19	0.13	0.40	0.13	1.09	1.75	1.00	0.10	2.02	0.00	3.77	0.27	1.19	3.17
26/08/14		71	5.06	75.80	0.80	1.10	2.15	0.00	14.78	1.20	0.13	0.40	0.13	1.10	3.77	1.00	0.10	1.64	11.02	1.64	0.22	1.20	2.58
27/08/14		72	4.59	77.60	0.81	1.08	2.25	0.00	0.00	1.18	0.13	0.40	0.13	1.08	1.64	1.00	0.10	1.69	0.00	3.34	0.23	1.18	2.66
28/08/14		73	4.52	71.20	0.82	1.10	2.62	0.00	13.10	1.20	0.13	0.40	0.13	1.10	3.34	1.00	0.10	2.00	9.76	2.00	0.26	1.20	3.14
29/08/14		74	4.67	71.50	0.83	1.10	2.54	0.00	0.00	1.20	0.13	0.40	0.13	1.10	2.00	1.00	0.10	1.94	0.00	3.94	0.25	1.20	3.05
30/08/14		75	3.19	69.80	0.84	1.06	2.80	0.00	15.47	1.17	0.14	0.40	0.14	1.07	3.94	1.00	0.10	2.07	11.52	2.07	0.28	1.17	3.26
31/08/14		76	2.57	83.60	0.86	1.01	2.01	0.00	0.00	1.11	0.14	0.40	0.14	1.01	2.07	1.00	0.10	1.41	0.00	3.48	0.20	1.11	2.23
01/09/14		77	4.48	66.10	0.88	1.11	2.68	0.00	13.73	1.21	0.13	0.40	0.13	1.11	3.48	1.00	0.10	2.07	10.25	2.07	0.27	1.21	3.24
02/09/14		78	2.96	76.50	0.89	1.04	2.44	0.00	0.00	1.14	0.14	0.40	0.14	1.04	2.07	1.00	0.10	1.76	0.00	3.83	0.24	1.14	2.78
03/09/14		79	3.23	78.70	0.90	1.04	2.15	0.00	15.06	1.14	0.14	0.40	0.14	1.04	3.83	1.00	0.10	1.55	11.23	1.55	0.22	1.14	2.45
04/09/14		80	2.92	81.70	0.91	1.02	1.88	0.00	0.00	1.12	0.14	0.40	0.14	1.02	1.55	1.00	0.10	1.34	0.00	2.89	0.19	1.12	2.11
05/09/14		81	3.79	67.00	0.92	1.09	2.46	0.00	11.41	1.19	0.13	0.40	0.13	1.09	2.89	1.00	0.10	1.86	8.52	1.86	0.25	1.19	2.92
06/09/14		82	3.73	72.10	0.93	1.07	2.19	0.00	0.00	1.17	0.13	0.40	0.13	1.07	1.86	1.00	0.10	1.63	0.00	3.49	0.22	1.17	2.57
07/09/14		83	3.49	79.80	0.94	1.04	1.96	0.00	13.73	1.14	0.14	0.40	0.14	1.04	3.49	1.00	0.10	1.42	10.24	1.42	0.20	1.14	2.24
08/09/14		84	2.46	84.40	0.95	1.00	1.80	0.00	0.00	1.10	0.14	0.40	0.14	1.00	1.42	1.00	0.10	1.25	0.00	2.67	0.18	1.10	1.98
09/09/14		85	3.61	79.30	0.96	1.05	2.60	0.00	10.56	1.15	0.14	0.40	0.14	1.05	2.67	1.00	0.10	1.89	7.89	1.89	0.26	1.15	2.99
10/09/14		86	3.85	87.70	0.97	1.03	1.86	0.00	0.00	1.13	0.14	0.40	0.14	1.03	1.89	1.00	0.10	1.38	0.00	3.27	0.19	1.13	2.10
11/09/14		87	3.31	83.40	0.99	1.03	2.19	0.00	12.72	1.13	0.14	0.40	0.14	1.03	3.27	1.00	0.10	1.62	9.45	1.62	0.22	1.13	2.47
12/09/14		88	2.92	85.10	1.00	1.01	1.81	0.00	0.00	1.11	0.14	0.40	0.14	1.01	1.62	1.00	0.10	1.32	0.00	2.94	0.18	1.11	2.01
13/09/14		89	2.92	78.20	1.01	1.03	2.23	0.00	11.20	1.13	0.13	0.40	0.13	1.03	2.94	1.00	0.10	1.67	8.26	1.67	0.22	1.13	2.52
14/09/14	30	90	2.77	67.60	1.02	1.06	2.98	0.00	0.00	1.16	0.13	0.40	0.13	1.06	1.67	1.00	0.10	2.30	0.00	3.96	0.30	1.16	3.45

Anexo 16. Cálculo para determinar $ET_c = (K_{cb} + K_e) * ETo$, con la aplicación del concepto de Kc dual, bajo riego por goteo-Etapa IV

Fecha	Etapas FAO	DDS	u2	HR min	Altura	Kcb	ETo	P-RO	l/fw	Kc	1-fc	fw	few	Kcb	De,i inicio dia mm	Kr	Ke	E/few	DPe	De,i final dia mm	E	Kc	Etc
			m/s	%	m	mm/día	mm	mm	max	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
15/09/14		91	4.22	71.00	1.01	1.04	2.70	0.00	14.92	1.19	0.19	0.40	0.19	1.04	3.96	1.00	0.15	2.17	10.96	2.17	0.40	1.19	3.21
16/09/14		92	2.87	80.80	1.01	1.02	2.20	0.00	0.00	1.12	0.13	0.40	0.13	1.02	2.17	1.00	0.10	1.65	0.00	3.82	0.22	1.12	2.47
17/09/14		93	2.30	80.30	1.00	1.00	2.22	0.00	14.20	1.11	0.14	0.40	0.14	1.00	3.82	1.00	0.10	1.64	10.38	1.64	0.23	1.11	2.46
18/09/14		94	4.00	70.60	1.00	0.99	3.08	0.00	0.00	1.18	0.24	0.40	0.24	0.99	1.64	1.00	0.20	2.51	0.00	4.15	0.61	1.18	3.65
19/09/14		95	2.59	80.80	0.99	0.97	2.17	0.00	15.26	1.11	0.19	0.40	0.19	0.97	4.15	1.00	0.15	1.64	11.11	1.64	0.32	1.11	2.42
20/09/14		96	3.75	71.20	0.99	0.95	2.75	0.00	0.00	1.18	0.27	0.40	0.27	0.95	1.64	1.00	0.22	2.25	0.00	3.89	0.62	1.18	3.23
21/09/14		97	3.23	72.50	0.98	0.93	2.48	0.00	14.12	1.16	0.28	0.40	0.28	0.93	3.89	1.00	0.22	2.00	10.24	2.00	0.55	1.16	2.87
22/09/14		98	4.27	66.90	0.97	0.92	2.87	0.00	0.00	1.20	0.34	0.40	0.34	0.92	2.00	1.00	0.29	2.45	0.00	4.44	0.82	1.20	3.45
23/09/14		99	5.31	65.10	0.97	0.90	3.20	0.00	15.80	1.24	0.38	0.40	0.38	0.90	4.44	1.00	0.34	2.84	11.36	2.84	1.08	1.24	3.96
24/09/14		100	4.34	63.90	0.96	0.88	2.89	0.00	0.00	1.21	0.38	0.40	0.38	0.88	2.84	1.00	0.33	2.52	0.00	5.36	0.96	1.21	3.51
25/09/14		101	3.21	73.60	0.95	0.86	2.23	0.00	18.66	1.15	0.35	0.40	0.35	0.86	5.36	1.00	0.29	1.83	13.30	1.83	0.65	1.15	2.57
26/09/14		102	5.28	67.70	0.94	0.85	2.74	0.00	0.00	1.23	0.43	0.40	0.40	0.85	1.83	1.00	0.38	2.62	0.00	4.46	1.05	1.23	3.37
27/09/14		103	4.14	71.40	0.93	0.83	3.10	0.00	14.85	1.19	0.42	0.40	0.40	0.83	4.46	1.00	0.36	2.77	10.39	2.77	1.11	1.19	3.68
28/09/14	27	104	3.64	76.70	0.92	0.81	3.05	0.00	0.00	1.16	0.41	0.40	0.40	0.81	2.77	1.00	0.35	2.64	0.00	5.41	1.06	1.16	3.53
29/09/14		105	2.04	90.70	0.91	0.79	1.86	0.00	18.01	1.07	0.37	0.40	0.37	0.79	5.41	1.00	0.28	1.43	12.60	1.43	0.52	1.07	2.00
30/09/14		106	4.15	86.80	0.90	0.78	2.08	0.00	0.00	1.14	0.44	0.40	0.40	0.78	1.43	1.00	0.37	1.91	0.00	3.34	0.77	1.14	2.38
01/10/14		107	1.96	71.60	0.89	0.76	3.04	0.00	10.94	1.13	0.44	0.40	0.40	0.76	3.34	1.00	0.37	2.79	7.60	2.79	1.12	1.13	3.42
02/10/14		108	2.95	66.50	0.88	0.74	3.35	0.00	14.50	1.17	0.42	0.40	0.40	0.74	2.79	1.00	0.43	3.57	11.71	3.57	1.43	1.17	3.91
03/10/14		109	2.93	69.10	0.88	0.72	2.99	0.00	18.32	1.16	0.43	0.40	0.40	0.72	3.57	1.00	0.44	3.26	14.75	3.26	1.30	1.16	3.47
04/10/14		110	1.47	74.90	0.87	0.71	2.89	0.00	18.44	1.10	0.42	0.40	0.40	0.71	3.26	1.00	0.40	2.87	15.17	2.87	1.15	1.10	3.19
05/10/14		111	2.20	65.40	0.86	0.69	3.32	0.00	16.63	1.15	0.46	0.40	0.40	0.69	2.87	1.00	0.46	3.82	13.76	3.82	1.53	1.15	3.81
06/10/14		112	2.33	75.20	0.85	0.67	3.06	0.00	17.49	1.13	0.47	0.40	0.40	0.67	3.82	1.00	0.45	3.45	13.68	3.45	1.38	1.12	3.43
07/10/14		113	0.88	81.00	0.84	0.65	2.25	0.00	18.10	1.07	0.46	0.40	0.40	0.65	3.45	1.00	0.42	2.36	14.65	2.36	0.94	1.07	2.41
08/10/14		114	1.32	79.10	0.83	0.63	2.48	0.00	14.60	1.09	0.48	0.40	0.40	0.64	2.36	1.00	0.44	2.70	12.24	2.70	1.08	1.07	2.66
09/10/14		115	2.35	69.00	0.82	0.62	3.31	0.00	12.66	1.14	0.53	0.40	0.40	0.62	2.70	1.00	0.46	3.79	9.96	3.79	1.52	1.08	3.56
10/10/14		116	1.51	71.50	0.81	0.60	3.09	0.00	15.53	1.12	0.53	0.40	0.40	0.60	3.79	1.00	0.45	3.45	11.75	3.45	1.38	1.05	3.23
11/10/14		117	1.52	65.40	0.80	0.58	3.68	0.00	16.98	1.13	0.56	0.40	0.40	0.58	3.45	1.00	0.45	4.17	13.53	4.17	1.67	1.04	3.81

Anexo 17. Costo de producción para una hectárea de quinua

COSTOS DE PRODUCCIÓN	
Cultivo	: Quinua
Variedad	: Inia 431-Altiplano
Periodo Vegetativo	: 4 meses
Época de Siembra	: Jun. - Oct.

COSTOS DIRECTOS

1. SIEMBRA

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio s/.	Total s/.	%
Maquinaria Agrícola				960	8.2
Aradura	H/maq.	4	70	280	
Rastra y nivelado	H/maq.	4	70	280	
Trilla de la quinua	Ha.	1	400	400	
Insumos y Materiales				3255	27.8
Semilla	Kg	7	15	105	
Cintas de riego y accesorios	Unidad	2.5	800	2000	
Sacos de polipropileno	Unidad	75	2	150	
Estiércol	Tn	10	100	1000	
Fertilizantes				3825	32.7
Nitrato de Amonio 50 kg	Saco	7	90	630	
Nitrato de Potasio soluble 25 kg	Bolsa	5	90	450	
Nitrato de calcio soluble 25 kg	Bolsa	5	90	450	
Fosfato mono amónico 25 kg	Bolsa	7.5	100	750	
Sulfato de potasio soluble 25 kg	Bolsa	4	105	420	
Sulfato de magnesio soluble 25 kg	Bolsa	3	90	270	
Urfos soluble 25Kg	Bolsa	5	95	475	
Delfon Plus	Lt.	3	80	240	
Fetrilon combi	Kg.	2	70	140	
Pesticidas				685	5.9
Cloripirifos	Lt.	2	60	120	
Triple A	Lt.	1	30	30	
Lannate	kg.	1.5	90	135	
Fitoraz	kg.	2	100	200	
Ridomil	kg.	2	100	200	
Mano de obra				2975	25.4
Distribución del estiércol	Jornal H.	4	50	200	
Nivelado y recojo de rastros	Jornal H.	4	50	200	
Tendido de cintas de riego	Jornal H.	3	50	150	
Siembra y Tapado de semillas	Jornal M.	10	45	450	
Deshierbo y Raleo	Jornal M.	15	45	675	
Control fitosanitario	Jornal M.	7	50	350	
Cosecha	Jornal M.	10	45	450	
Trilla y Carguio	Jornal M.	5	50	250	
Control de aves	Jornal M.	5	50	250	
TOTAL				11700	100.0

Fuente: II Módulo del Curso teórico-práctico "Manejo Integrado del Cultivo de Quinua en la Costa Norte". Luis Quintanilla Chacón

Continuación - Costo de Producción para 1 ha de quinua

2. COSECHA

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio s/.	Total s/.
Mano de obra			2672	2672
Siega y emparvado	Jornal	20	60	1200
Selección Masal	Jornal	0.25	60	15
Zarandeo Manual	Jornal	2	60	120
Ayudante de Trilla	Jornal	4.5	60	270
Venteo y pesado	Jornal	3	60	180
Zarandeo 2° manual	Jornal	1.75	60	105
Pesado y ensacado	Jornal	2	60	120
Carguio y transporte	Jornal	0.5	60	30
Guardián campo	Jornal	3	60	180
Maquinaria				
Trilla	Hr/maq.	4	85	340
Materiales				
Plástico para Tapado	Unid.	30	2	60
Sacos	Unid.	26	2	52

3. POST COSECHA

PROCESAMIENTO Y ALMACENADO				798
Mano de obra				
Ensacado y pesado	Jornal	0.5	60	30
Maquinaria				
Alquiler seleccionadora de grano	Hr/maq.	4	70	280
Combustible				
Transporte del producto	Servicio	1	200	200
Materiales				
Sacos con logo de 10 kg		144	2	288
TOTAL COSTOS DIRECTOS				15170

Fuente: II Módulo del Curso teórico-práctico "Manejo Integrado del Cultivo de Quinua en la Costa Norte". Luis Quintanilla Chacón

PRODUCCION OBTENIDA			
Descripción	Rendimiento kg.	Precio Unit.	Valor Bruto de la Producción
Goteo	1587.91	15	23818.65
Exudación	3519.29	15	52789.35

ANALISIS ECONÓMICO - EXUDACIÓN			
Rubro	Unidad	Cantidad (ha)	
	Medida	1	
1. Producción (PT)	Kg.	3519.29	
2. Costo Total (CT)	S/.	16170	
3. Valor Bruto de la Producción	S/.	52789.35	
4. Utilidad Neta (UN)	S/.	36619.35	
5. Costo Unitario (CU)	S/. / Kg.	4.59	
6. Valor Neto de la Producción x Kg.	S/. / Kg.	10.41	
7. Rentabilidad	%	226.46	

Anexo 18. Certificado

Experiencia en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción sede Chillan- Chile, donde se comprueba el carácter de autorregulación de la cinta en relación al nivel de humedad del suelo cuando el sistema opera en forma continua.

Certificado

El presente Ricardo Matta Canga Académico de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción certifica que presencio, a solicitud del Ingeniero Agrónomo Alberto Zaldívar Ovalle en terrenos de la facultad, la siguiente experiencia relacionada con el emisor cinta exudante.

Se semi enterro (6-8 cm) 5 metros de cinta exudante con un caudalímetro en su inicio y se aplico una altura de carga de 1,95 metros por 24 horas, 2,5 metros por 24 horas y luego 3,5 metros por 6 horas obteniéndose las siguientes mediciones.

Altura de carga m.c.a.	Caudal litros/metro/hora
1,95	0
2,50	0
3,50	0

La explicación del resultado se debe a que el movimiento del agua en el suelo y desde el suelo a la planta es el resultado de diferenciales de potencial o gradiente.

El flujo de masa o masa por unidad de tiempo y área se conoce como ecuación de Darcy, en donde un componente importante es la conductividad hidráulica del suelo, la cual es alta cuando el suelo está saturado con agua y decrece rápidamente en suelos no saturados. La conductividad hidráulica se puede estimar a partir de antecedentes de retención de humedad del suelo.

La conductividad de un suelo no saturado depende del contenido de humedad del suelo y se denomina conductividad capilar. Además, una relación derivada de teoría capilar expresa que la conductividad capilar es función del contenido de humedad.

Similarmente, la conductividad capilar puede estimarse como función del potencial (o tensión) de entrada del aire para cualquier potencial (o tensión) del agua en el suelo.

No fue posible aumentar la altura para provocar una presión en la cinta mayor al potencial matricial del suelo.

Considerando lo anteriormente expuesto y que el suelo donde se realizo la experiencia estaba entre saturación y capacidad de campo, lo más probable en potencial entrada de aire, no existirían las condiciones para funcionar como suelo saturado (Darcy) ni tampoco con el potencial matricial necesario para extraer agua de la cinta.



Ricardo Matta Canga
Facultad de Ingeniería y Suelo Universidad de Concepción

Anexo 19. Análisis de agua

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE AGRONOMIA LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES	
ANALISIS DE AGUA		
SOLICITANTE :	CAFAE - INIA	
PROCEDENCIA :	LIMA/ LIMA/ LA MOLINA	
REFERENCIA :	H.R. 43513	
No. Laboratorio	006	
No. Campo	Agua de Pozo Azahares	
pH		7.08
C.E	dS/m	0.57
Calcio	meq/L	4.87
Magnesio	meq/L	0.66
Potasio	meq/L	0.09
Sodio	meq/L	0.68
SUMA DE CATIONES		6.10
Nitratos	meq/L	0.04
Carbonatos	meq/L	0.00
Bicarbonatos	meq/L	2.41
Sulfatos	meq/L	1.46
Cloruros	meq/L	2.50
SUMA DE ANIONES		6.41
Sodio	%	11.15
RAS		0.42
Boro	ppm	0.13
Clasificación		C2-S1

La Molina, 13 de Enero del 2014


Lady García Bendezi
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Interpretación de la Calidad de Riego

La salinidad total es determinada por la medición de la conductividad del agua. (CE.) Expresada en unidades de deci Siemens por metro (d Sm⁻¹) o en milimhos por centímetro (mmhos cm⁻¹). También puede ser expresada como la cantidad total de sales disueltas (TDS), donde: TDS (en ppm o mgL⁻¹) = 640 x CE (en d Sm⁻¹ ó mmhos cm⁻¹)

Cuadro 1 Clasificación de las aguas de riego basada en su CE y TDS

Peligro de Salinidad	Características	CE dSm ⁻¹	TDS ppm
Bajo (C ₁)	* Bajo peligro de salinidad, no se espera efectos dañinos sobre las plantas y suelos.	<0.25	< 100
Medio (C ₂)	* Plantas sensibles pueden mostrar estrés a sales; moderada lixiviación previene la acumulación de sales en el suelo.	0.25 - 0.75	100 - 500
Alto (C ₃)	* Salinidad afectará a muchas plantas. Requiere: selección de plantas tolerantes a salinidad, buen drenaje y lixiviación.	0.75 - 2.25	500 - 1500
Muy Alto (C ₄)	* Generalmente no aceptable, excepto para plantas muy tolerantes a sales, se requiere excelente drenaje y lixiviación.	> 2.25	>1500

* SAR (Relación de Absorción de Sodio): $SAR = Na \text{ en meq } L^{-1} / ((Ca + Mg \text{ en meq } L^{-1})/2)^{1/2}$

Cuadro 2 Peligro de Sodio basado en el valor del SAR

Peligro de Na	SAR del agua	Comentarios sobre el peligro de Na
Bajo (S ₁)	<10	* Puede usarse para el riego de casi todos los suelos, sin peligro de destrucción de la estructura.
Medio (S ₂)	10 - 18	* Puede desmejorarse la permeabilidad de suelos de textura fina con alta CIC. Puede usarse en suelos de textura gruesa con buen drenaje.
Alto (S ₃)	18 - 26	* Se producen daños de lo suelos, por acumulación de Na. Se requerirá intensivas prácticas de aplicación de enmiendas, drenaje y lixiviación.
Muy Alto (S ₄)	>26	* Generalmente no recomendable para el riego excepto en suelos de muy bajo contenido de sales. Se requerirá prácticas de manejo.

* Carbonato de sodio residual. (RCS.) Tercer criterio que se usa para juzgar el peligro de sodio en las aguas de riego. Es definido como: $RCS = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$.

Cuadro 3 Peligro de Sodio basado en el valor del RSC

Valores de RSC (meq L ⁻¹)	Peligro de Na
> 0 (valores negativos)	* Ninguno. Ca y Mg del agua no participarán como carbonatos, ellos se mantienen Activos para prevenir la acumulación de Na en los sitios de cambio de la CIC.
0 - 1.25	* Bajo. Existe alguna remoción del Ca y Mg del agua de riego.
1.25 - 2.50	* Medio. Apreciable remoción de Ca y Mg del agua de riego.
> 2.50	* Alto. Todo o mayor parte del Ca y Mg del agua de riego es removido como carbonato precipitado produciendo acumulación de Na.

Anexo 20. Análisis de caracterización del suelo

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : CAFAE - INIA

Departamento : LIMA
 Distrito : LA MOLINA
 Referencia : H.R. 45075-046C-14

Fact.: 26584

Provincia : LIMA
 Predio :
 Fecha : 20/05/14

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
8839	L- 4	7.59	1.11	0.00	1.38	13.5	105	50	26	24	Fr.Ar.A.	11.20	8.66	1.57	0.50	0.47	0.00	11.20	11.20	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Muestra	D.A. g/cm ³	C.C %	P.M. %
Lote Nº 4	1.72	20.4	11.23

*Dr. Sady García Bendezú
 Jefe del Laboratorio*

Anexo 21. Panel fotográfico durante la conducción del cultivo.

1.-Recolección del caudal de los emisores para el cálculo del coeficiente de uniformidad bajo el riego por goteo.



2.-Tomando la presión en el arco de riego, Revisiones de presiones de funcionamiento de la red de riego.



5.- Vista del cultivo de quinua bajo el riego por goteo (izquierda) y exudación (derecha)



6.- El comportamiento exudante de la cinta de riego por exudación

7.- Sembradora de quinua marca Fisher

9.- Obteniendo la humedad del suelo en la parcela de exudación



10.- Realizando las evaluaciones biométricas



11.-Cosecha , emparvado de la quinua



12.-Granos de quinua cosechados



13.- Vista del Reservorio Tipo INIA

