

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“RESPUESTA DEL CULTIVO DE QUÍNUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)
LÍNEA MUTANTE ‘LA MOLINA 89-77’ A TRES REGIMENES DE
RIEGO, EN CONDICIONES DE LA MOLINA”**

Presentado por:

ROGELIO LEÓN GUZMÁN

Tesis para Optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima - Perú

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA

**“RESPUESTA DEL CULTIVO DE QUÍNUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)
LÍNEA MUTANTE ‘LA MOLINA 89-77’ A TRES REGIMENES DE
RIEGO, EN CONDICIONES DE LA MOLINA”**

**Tesis para optar el Título de:
INGENIERO AGRONOMO**

ROGELIO LEÓN GUZMÁN

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Mg. Sc. Lorenzo Hurtado Leo
PRESIDENTE

Dra. Luz Gómez Pando
PATROCINADORA

Ing. Mg. Sc. Ruby Vega Ravello
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO

Lima – Perú
2014

FO6.
L46
T
c.1

Índice general

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 <i>EL CULTIVO</i>	3
2.1.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	3
2.1.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	3
2.1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	4
2.1.4 CUALIDADES NUTRICIONALES.....	5
2.1.5 FENOLOGÍA DEL CULTIVO	6
2.2 <i>REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO</i>	8
2.2.1 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS.....	8
2.2.2 REQUERIMIENTOS EDAFICOS.....	9
2.2.3 REQUERIMIENTOS EN FERTILIZACIÓN	10
2.2.4 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS	11
2.2.4 ESTRÉS HÍDRICO	11
2.2.4 PERIODOS CRÍTICOS DE RIEGO EN QUÍNUA.....	12
2.3 <i>BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO</i>	13
2.3.1 SATURACIÓN.....	13
2.3.2 CAPACIDAD DE CAMPO (CC)	13
2.3.3 PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP).....	13
2.3.4 AGUA DISPONIBLE TOTAL (ADT).....	13
2.3.5. AGUA FÁCILMENTE APROVECHABLE (AFA).....	14
2.4 <i>EVAPOTRANSPIRACIÓN</i>	15
2.4.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET _o).....	16
2.4.1.1 ECUACIÓN FAO PENNMAN-MONTEITH.....	16
2.4.2 COEFICIENTE DEL CULTIVO (K _c).....	17
2.4.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO EN CONDICIONES ESTANDAR (ET _c)... ..	17
2.5 <i>PROGRAMACIÓN DE RIEGO</i>	18
2.5.1 PROGRAMACIÓN DE RIEGOS POR MEDIO DEL BALANCE HÍDRICO.....	18
2.5.2 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO CON EL SOFTWARE CROPWAT 8.0.....	18
2.6 <i>RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA (RALF)</i>	21

43737

2.6.1 RIEGO POR GOTEO.....	21
2.7 EFICIENCIA GLOBAL DE RIEGO.....	22
2.8 EFICIENCIA DE USO DE AGUA.....	22
2.9 MEMBRANA DE RETENCION DE HUMEDAD:	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1 LUGAR.....	24
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	24
3.2.1 ANÁLISIS DE SUELO.....	24
3.3 CARÁCTERÍSTICAS DEL AGUA.....	25
3.4 CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA.....	25
3.5 MATERIALES Y EQUIPOS.....	25
3.5.1 MATERIAL VEGETAL.....	25
3.5.2 SISTEMA DE RIEGO.....	28
3.5.3 PLÁSTICO.....	28
3.6 METODOLOGÍA.....	30
3.6.1 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO.....	30
3.6.2 TRATAMIENTOS.....	32
3.6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	32
3.6.4 CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL.....	32
3.6.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	34
3.6.6 CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	34
3.6.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1 CRECIMIENTO Y VARIABLES MORFOLÓGICAS.....	39
4.1.1 CURVA DE CRECIMIENTO.....	39
4.1.2 VARIABLES MORFOLÓGICAS.....	41
4.2 CARACTERES AGRONÓMICOS.....	43
4.2.1 ALTURA DE PLANTA.....	43
4.2.2 RENDIMIENTO (kg/ha):	44
4.2.3 DÍAS A LA FLORACIÓN.....	45
4.2.4 DÍAS A LA MADUREZ.....	45

4.2.5 ÍNDICE DE COSECHA	46
4.3 COMPONENTES DE RENDIMIENTO	48
4.3.1 NÚMERO DE PLANTAS POR m ²	48
4.3.2 NÚMERO DE GRANOS POR PANOJA.....	48
4.3.3 PESO DE MIL GRANOS (g).....	49
4.4 COMPONENTES DE CALIDAD.....	51
4.4.1 GRANULOMETRÍA	51
4.4.2 PORCENTAJE DE PROTEÍNAS DEL GRANO (%).....	52
4.4.3 PORCENTAJE DE SAPONINAS (%)	53
4.4.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD (%).....	53
4.5 CONSUMO DE AGUA POR CAMPAÑA (m ³)	55
4.6 EFICIENCIA DE USO DE AGUA (EUA) EN RENDIMIENTO	58
4.7 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	60
V. CONCLUSIONES.....	61
VI. RECOMENDACIONES	62
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	63
VIII. ANEXOS.....	69

INDICE DE CUADROS

<i>CUADRO 1: Requerimientos de precipitación y temperatura según grupos agroecológicos de quinua.....</i>	<i>4</i>
<i>CUADRO 2: Código fenológico decimal desarrollado por Limburg y Masterbroek (1996)</i>	<i>7</i>
<i>CUADRO 3: Definiciones de eficiencia de uso de agua</i>	<i>22</i>
<i>CUADRO 4: Análisis de caracterización química de suelo.....</i>	<i>26</i>
<i>CUADRO 5: coeficientes hídricos del suelo</i>	<i>26</i>
<i>CUADRO 6: Análisis de caracterización de agua.....</i>	<i>27</i>
<i>CUADRO 7: Datos climáticos promedio del Campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Años 2011 y 2012.....</i>	<i>27</i>
<i>CUADRO 8: Especificaciones técnicas de las cintas de riego empleadas en el campo experimental.....</i>	<i>28</i>
<i>CUADRO 9: Calendario de los regimenes de riego aplicados en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89-77' con tres regimenes de riego en condiciones de La Molina.....</i>	<i>31</i>
<i>CUADRO 10: Modelo estadístico del ensayo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89-77' con tres regimenes de riego en condiciones de La Molina.....</i>	<i>33</i>
<i>CUADRO 11: Cuadrados medios y análisis de variancia para variables morfológicas en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regimenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad.....</i>	<i>42</i>
<i>CUADRO 12: Prueba de comparación de medias de Tukey para variables morfológicas en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regimenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad</i>	<i>43</i>
<i>CUADRO 13: Cuadrados medios y análisis de variancia para caracteres agronómicos en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regimenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad</i>	<i>47</i>
<i>CUADRO 14: Prueba de comparación de medias de Tukey para caracteres agronómicos en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regimenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad</i>	<i>47</i>
<i>CUADRO 15: Cuadrados medios y análisis de variancia para componentes de rendimiento en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regimenes de riego en condiciones de La Molina</i>	<i>50</i>
<i>CUADRO 16: Prueba de comparación de medias para componentes de rendimiento en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regimenes de riego en condiciones de La Molina</i>	<i>50</i>
<i>CUADRO 17: Cuadrados medios y análisis de variancia para componentes de calidad en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regimenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad</i>	<i>54</i>

CUADRO 18: Promedios por tratamiento para componentes de calidad en el cultivo de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad.....	54
CUADRO 19: Volumen de agua (m ³) registrado con el caudalímetro por etapa fenológica en el experimento de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina.	56
CUADRO 20: Valores promedios de caracteres morfológicos agronómicos, componentes de rendimiento y de calidad en el cultivo de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>) línea mutante 'La Molina 89 - 77' bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina.	57
CUADRO 21: Análisis de variancia para Eficiencia de Uso de Agua (kg/m ³) en el cultivo de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina	59
CUADRO 22: Promedios de Eficiencia de Uso de Agua en rendimiento (kg/m ³) en el cultivo de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina	59
CUADRO 23: Resultados promedio del análisis económico para cada tratamiento en el cultivo de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina	60

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Balance hídrico en la zona radicular</i>	15
<i>Figura 2: Procedimiento general para realizar el balance hídrico</i>	20
<i>Figura 3: Prototipo de instalación de las membranas de retención de humedad</i>	23
<i>Figura 4: Procedimiento para instalar el plástico cómo membrana de retención de humedad</i>	29
<i>Figura 5: Esquema de aleatorización de los tratamientos del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa willd.) "Línea Mutante LM 89-77" bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina" (FUENTE: Elaboración propia, 2014)</i>	33
<i>Figura 6: Cronograma y programación de labores culturales en el experimento (FUENTE: Elaboración propia, 2014)</i>	35
<i>Figura 7: Altura de planta (cm) a los 45, 75, 105 y 135 días después de siembra en cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'LM 89 – 77' con tres regímenes de riego, en condiciones de La Molina. (FUENTE: Elaboración propia, 2014)</i>	40
<i>Figura 8: Longitud de panoja (cm) a los 45, 75, 105 y 135 días después de siembra en cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 – 77' con tres regímenes de riego en condiciones de La Molina. (FUENTE: Elaboración propia, 2014)</i>	40
<i>Figura 9: Proporción de diámetros de grano en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad (FUENTE: Elaboración propia, 2014)</i>	52

INDICE DE ECUACIONES

<i>ECUACIÓN 1: Agua Disponible Total (ADT)</i>	14
<i>ECUACIÓN 2: Agua fácilmente aprovechable (AFA) propuesto por Allen et al. (2006)</i>	14
<i>ECUACIÓN 3: Agua fácilmente aprovechable (AFA) para cálculo de volúmenes de riego</i>	14
<i>ECUACIÓN 4: Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ETc)</i>	17
<i>ECUACION 5: Eficiencia global de riego (Eg)</i>	22
<i>ECUACIÓN 6: Porcentaje (%) de saponina en granos de quinua</i>	38

INDICE DE ANEXOS

<i>ANEXO 1: Características del cultivo de referencia</i>	<i>69</i>
<i>ANEXO 2: Fórmula para el cálculo de la ETo por el método FAO Penman Monteith.....</i>	<i>69</i>
<i>ANEXO 3: Kc del cultivo de quinua. Fuente: Choquecallata et al. (1991).....</i>	<i>70</i>
<i>ANEXO 4: Procedimiento para la programación del riego con el software Cropwat 8.0.....</i>	<i>71</i>
<i>ANEXO 5: Ubicación del experimento.....</i>	<i>73</i>
<i>ANEXO 6: Norma técnica NTP 205.062 2009/INDECOPI-CNB publicado en julio del 2009 que regula los estándares de calidad de la quinua, tomado de Estrada 2012</i>	<i>74</i>
<i>ANEXO 7: Resultados del análisis de suelo después de la cosecha para cada tratamiento en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina.</i>	<i>76</i>
<i>ANEXO 8: Fotografías del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego por goteo con plástico antipercolante</i>	<i>77</i>
<i>ANEXO 9: Análisis estadístico para morfología.....</i>	<i>79</i>
<i>ANEXO 10: Análisis estadístico para caracteres agronómicos.....</i>	<i>81</i>
<i>ANEXO 11: Análisis estadístico para componentes de rendimiento.....</i>	<i>84</i>
<i>ANEXO 12: Análisis estadístico calidad.....</i>	<i>86</i>
<i>ANEXO 13: Costos de producción</i>	<i>90</i>

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una especie nativa que en la última década ha cobrado importancia. El incremento notable de su demanda nacional e internacional está dando lugar al crecimiento de sus áreas de cultivo en la región andina y en la costa. Considerando que en el futuro el país tendrá limitaciones de agua para riego, es importante evaluar e identificar cultivos con tolerancia a sequía, siendo la quinua una alternativa importante. En base a lo anterior, se planteó la presente investigación que tuvo como objetivos determinar la respuesta de la línea mutante 'La Molina 89-77' a limitaciones hídricas, y sus efectos en la Eficiencia de Uso de Agua (EUA) en rendimiento y rentabilidad del cultivo. El experimento fue realizado entre Agosto del 2013 a Enero del 2014 en el campus de la UNALM. La programación del riego se realizó con Cropwat 8.0 de la FAO. Se generó tres regímenes de riego distribuidos en cuatro tratamientos: 100%, 75% y 50% de la lámina de riego, con plástico utilizado como membrana de retención de humedad (T1, T2 y T3, respectivamente) y 100% de la lámina de riego sin plástico (T0); aleatorizados en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los resultados indican que la disminución de los regímenes de riego no tiene efectos significativos en la calidad del grano; pero si ocasiona reducción en: altura de planta, diámetro de tallo, longitud de panoja, número de granos por panoja, días a la maduración y rendimiento de grano. Con los tratamientos T0, T1, T2 y T3 se han utilizado volúmenes totales de riego de 3235 m³/ha, 3235 m³/ha, 2470 m³/ha y 1623 m³/ha obteniéndose rendimientos de grano de 3163 kg/ha, 3333 kg/ha, 3039 kg/ha y 2234 kg/ha, respectivamente. Asimismo, la línea mutante 'La Molina 89-77', muestra a nivel preliminar, una alta EUA en rendimiento, alcanzando un valor máximo de 1,68 kg/m³. Sin embargo, la reducción de los regímenes de riego disminuye también la rentabilidad del cultivo.

Palabras Clave: regímenes de riego, riego por goteo, *Chenopodium quinoa*, estrés por sequía, Perú.

I. INTRODUCCIÓN

Según el 'Tyndall Centre for Climate Change' (<http://www.tyndall.ac.uk>), el Perú es el tercer país más vulnerable a los efectos del cambio climático. Esta entidad predice que en los próximos 40 años, el país perderá el 22% de sus glaciares, el agua dulce disponible se reducirá en 40% y los factores climáticos adversos se verán incrementados, principalmente las condiciones de sequía. Para la agricultura, que consume cerca del 80% del total del agua dulce disponible y que paradójicamente, es una de las actividades económicas de mayor crecimiento y donde además, las mayores áreas de ampliación de frontera agrícola se ubican en la costa en condiciones áridas y semiáridas, con una reducida oferta hídrica; se configura un escenario retador que deberá ser asumido por los profesionales del sector. La implementación de tecnologías que permitan aprovechar con mayor eficiencia el agua para riego y una adecuada selección de cultivos cuyos requerimientos hídricos estén acordes a la disponibilidad de agua en las zonas de producción, serán parte de las soluciones para producir alimentos de calidad, de forma sostenible, con resiliencia y en ambientes cada vez más limitantes.

La quinua es un cultivo interesante por sus muchas cualidades. Su valor agronómico, radica en su rusticidad, prosperando en condiciones adversas y tolerando diferentes tipos de estrés, destacando en particular su tolerancia a la sequía (Jacobsen & Mujica, 1999; Geerts et al., 2008; Fisher *et al.*, 2013a). A nivel nutricional, los granos de quinua presentan contenidos elevados de lisina, histidina y arginina; aminoácidos muy escasos en fuentes de origen vegetal. Poseen además, un adecuado equilibrio entre vitaminas, minerales y fibra; y además, no contienen gluten, cualidad interesante debido al incremento de personas alérgicas a este compuesto en el mundo. Estas características son reconocidas a nivel global y están empujando un auge comercial nunca antes visto. En los últimos cinco años, las exportaciones peruanas de este grano andino han crecido a una tasa superior al 75% y según estimaciones hechas por Promperú, las ventas totales al exterior, cerrarán el 2014 con una facturación de US\$ 168 millones.

Actualmente, el mayor porcentaje de áreas sembradas con quinua se ubican en el Altiplano y los valles interandinos. Por el boom comercial vivido en los últimos años y por la demanda creciente del mercado internacional, muchos agricultores de la costa están viendo en la quinua una atractiva alternativa para reconvertir sus cultivos o implementarlo dentro de sus estrategias de rotación. Esta iniciativa es bastante interesante, considerando que el uso consuntivo de agua de la quinua es menor a otros cultivos tradicionales de la costa como el arroz y las hortalizas. Para fortalecer su desarrollo, es necesario que los centros de investigación en mejoramiento genético pongan a disposición de los agricultores variedades adaptadas a sus condiciones particulares de producción. Estas variedades deben tener altos rendimientos, pero también mostrar tolerancia a factores adversos; siendo para la costa, la tolerancia a la sequía una de las características más valoradas.

En base a lo anteriormente señalado, se realizó el siguiente trabajo de investigación con un material genético promisorio para condiciones de costa; línea mutante ‘La Molina 89-77’ con los objetivos de:

1. Determinar el efecto de tres regímenes de riego en las variables morfológicas, caracteres agronómicos, rendimiento, componentes de rendimiento y componentes de calidad en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89-77’.

2. Determinar el efecto de tres regímenes de riego en la eficiencia de uso de agua en rendimiento y en la rentabilidad final del cultivo; quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89-77’ en condiciones de La Molina.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL CULTIVO

2.1.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino:	Vegetal
División:	Fanerógamas
Clase:	Dicotiledoneas
Subclase:	Angiospermas
Orden:	Centrospermales
Familia:	Amaranthaceae
Sub familia	Chenopodioidea
Género:	Chenopodium
Especie:	Quinoa
Nombre científico:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willdenow.
Nombre vulgar:	Quinoa

(Jacobsen y Risi, 2001)

2.1.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

La quinua muestra la mayor distribución de formas, diversidad de genotipos y de progenitores silvestres en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia. Sus orígenes se remontan a 5000 a.C. según hallazgos arqueológicos encontrados en Ayacucho (Mujica *et al.*, 2001b).

Wilson (1976) citado por Jacobsen *et al.* (2001) sostiene que la quinua se habría originado en el hemisferio norte. Sin embargo, Wilson y Heiser (1979) citados por Jacobsen *et al.* (2001) sostienen que la quinua habría evolucionado en los Andes sudamericanos sin influencia de las especies del norte.

La quinua en el pasado ha tenido amplia distribución geográfica, que abarcó gran parte de Sudamérica, desde Nariño en Colombia hasta Tucumán en la Argentina y las Islas de Chiloé en Chile. La quinua en la actualidad tiene distribución mundial: en América desde Canadá hasta Chile, en Europa, Asia y el África, obteniendo resultados aceptables en cuanto a producción y adaptación. (Jacobsen et al., 2001).

En el Perú, de acuerdo a la forma de cultivo, ubicación geográfica y destino de la producción, pueden diferenciarse cinco tipos de quinuas. Tapia (1982), denominó a esta clasificación como grupos agroecológicos, los cuales son: quinuas de valle, quinuas del altiplano, quinuas de los salares, quinuas del nivel del mar y quinuas de las yungas o subtropicales; estos ecotipos desarrollaron en ambientes con diferentes rangos de precipitación y temperatura (Cuadro 1).

CUADRO 1: Requerimientos de precipitación y temperatura según grupos agroecológicos de quinua

Grupo agroecológico	Precipitación	Temperatura mínima
Valle	700-1500	3 C
Altiplano	400-800	0 C
Salares	250-400	-1 C
Nivel del mar	800-1500	5 C
Yungas	1000-2000	7 C

FUENTE: Tapia (1982)

2.1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

a) Raíz: es pivotante, vigorosa, profunda, bastante ramificada y fibrosa. La raíz principal tiene numerosas raíces secundarias y terciarias. Al germinar primero se alarga la radícula, continúa creciendo y da lugar a la raíz principal, alcanzando en casos de sequía hasta 1.8 m de profundidad. Los pelos absorbentes laterales nacen a distintas altura. La profundidad de la raíz guarda estrecha relación con la altura de la planta (Quillatupa, 2009).

b) Tallo: delgado, cilíndrico y herbáceo. La altura del tallo varía de 0,5 a tres metros de altura. Según el hábito de ramificación se distingue en: sencillos (monopódicos) y ramificados (Simpódicos). Los monopódicos tienen solo un tallo principal que termina en inflorescencia. Los simpódicos poseen ramas laterales que tienen casi la misma longitud que el tallo principal y también terminan en panojas.

c) Hojas: formado por un peciolo largo, delgado, acanalado en su parte superior. La lámina foliar es polimorfa en la misma planta. Las hojas inferiores generalmente son de forma romboidal o triangular y las superiores, lanceoladas o triangulares.

d) Flores: en la misma inflorescencia tienen flores hermafroditas y flores pistiladas. La proporción de estas en la planta es variable. Las flores son incompletas y carecen de pétalos.

e) Inflorescencia: conocido como panoja, presenta colores diversos y puede medir de 15 a 70 cm. De acuerdo a la forma de la panoja son *amarantiformes* cuando sus glomérulos están insertados en el eje secundario, o *glomerulados* cuando los glomérulos están insertos en el eje glomerular. Según la densidad pueden ser laxas, intermedias o compactas; y según su ubicación en la planta pueden ser terminales o axilares.

f) Fruto y semilla: el fruto es un aquenio cubierto por un perigonio sepaloide. Cuando está seco, se desprende con facilidad. La semilla es pequeña, mide de uno a dos milímetros de diámetro. El pericarpio es la capa más externa de la semilla, contiene la saponina, sustancia amarga que es eliminada al lavarse o escarificarse. La siguiente capa es el epicarpio, donde se ubica la coloración de la semilla. El embrión formado por los cotiledones y la radícula constituye el 30 por ciento de la semilla y envuelven al perisperma, que es el tejido de almacenamiento, constituido principalmente por granos de almidón.

2.1.4 CUALIDADES NUTRICIONALES

Bhargava et al. (2006) citados por Fisher et al. (2013b) mencionan que el contenido de proteínas en las semillas de quinua varía entre 75 a 221 g/kg, cantidades mayores al encontrado en el trigo, arroz, maíz y cebada, pero en general, menores al contenido en las

leguminosas. Sin embargo no es la cantidad, sino la calidad de sus proteínas lo más destacado. Las semillas de quinua presentan un buen balance de aminoácidos con un alto valor de arginina (7-8%), histidina (3-4%) y en especial de lisina (5-8%). Aminoácidos esenciales muy escasos en fuentes de origen vegetal, pero importantes para el desarrollo del cerebro. Es también rico en fibra dietética, nutrientes minerales (3%), almidón, y un amplio rango de vitaminas. Además, las semillas de quinua no contienen gluten, importante por el incremento de personas alérgicas a este compuesto en el mundo (Tapia, 1982; Fischer *et al.*, 2013; Arteaga e Hidalgo, 2013).

Las semillas de quinua tienen buena capacidad antioxidante. Ésta se encuentra asociada al contenido de componentes fenólicos como el alfa tocofenol (vitamina E), que intercepta el proceso de la cadena radical de la autooxidación de los ácidos grasos, reacciona con los radicales peroxilo y propicia la formación de un producto no radical estable. Las situaciones de estrés hídrico controlado incrementarían el nivel de antioxidantes en las semillas, dado que la planta en estas condiciones requiere mayores cantidades de antioxidantes para anular el efecto de los radicales libres generados con el estrés, sin embargo, la situación de estrés reduce también el rendimiento de grano (Fischer *et al.*, 2013a)

En el pericarpio, las semillas tienen un glucósido triterpenoide compuesto llamado *saponina*. Este fitoquímico no es exclusivo en la quinua, es encontrado en muchos géneros de plantas. Tiene un intenso sabor y también es potencialmente tóxico si es ingerido en grandes cantidades. El contenido de saponinas en las semillas de quinua depende de la variedad. En la planta favorece la defensa contra insectos y en la industria tiene muchos usos actuales y potenciales (Ward, 2000; Arteaga e Hidalgo, 2013).

2.1.5 FENOLOGÍA DEL CULTIVO

La fenología mide los diferentes estados o fases de desarrollo de la planta, mediante una apreciación visual en la que se determina los distintos eventos de cambio o transformación fenotípica de la planta, relacionados también con la variación climática.

Según el código decimal de estadios fenológicos desarrollado por Limburg y Masterbroek (1996) y adaptado por Darwinkel, A. y Stolen, O., se aprecian 9 estadios importantes. En el Cuadro 2 se observa a detalle las características de esta codificación.

CUADRO 2: Código fenológico decimal desarrollado por Limburg y Masterbroek (1996)

Cod.	Estadio	Cod.	Estadio
0	Germinación	5	Defloración
0.0	Semilla seca	5	(Marchitez de anteras)
0.1	Inicio de germinación	5.1	Anteras de 1° glómérulo marchitas
-		5.3	25% glómérulos - anteras marchitas
-		5.5	50% glómérulos - anteras marchitas
-		5.7	75% glómérulos - anteras marchitas
0.9	fin de germinación	5.9	casi todas las anteras marchitas
1	Emergencia	6	Llenado de semilla/coloración panoja
1.0		6.0	Estado acuoso/panoja verde
1.1	Inicio de emergencia	6.1	Estado lechoso/50% de coloración
1.3	25% de plántulas observables	6.3	25% coloración de panojas
1.7	75% de plántulas observables	6.5	Estado pastoso/50% coloración de panojas
1.9	Emergencia completa	6.7	75% de coloración de panojas
2	Desarrollo vegetativo	6.9	Madurez fisiológica/100% de coloración
2.0	primeras hojas visibles	7	maduración de panojas
2.1	1er par de hojas desplegadas	7.1	Inicio de decoloración de panojas
2.3	3er par de hojas desplegadas	7.3	25% de panojas descoloradas
-		7.5	50% de panojas descoloradas
2.9	9no par de hojas desplegadas	7.7	75% de panojas descoloradas
3	Desarrollo de la inflorescencia	7.9	panojas casi marchitas
3.0	Boton floral detectable	8	Senescencia o marchitez de hojas
3.1	Boton floral visible	8.1	Inicio de marchitez de hojas
3.3	Botón floral de 0.5 cm.	-	
3.5	Botón floral de 1.0 cm.	8.3	25% de Hojas marchitas
3.7	Inicio de piramidación de flores	8.5	50% de hojas marchitas
-		8.7	75% de hojas marchitas
	Piramidación de flores		
3.9	distinguibles	8.9	Hojas casi marchitas
4	Inicio de floración	9	Madurez del tallo
4.1	1er glómérulo de anters	9.1	Amarillamiento inicial del tallo
-		9.3	25% de tallos amarillos
4.3	25% de glómérulos con anteras	9.5	50% de tallos amarillos
4.5	5% de glómérulos con anteras	9.7	75% de tallos amarillos
4.7	75% de glómérulos con anteras	-	
4.9	plena floración	9.9	tallos decolorados

FUENTE: Darwinkel, A. y Stolen O. En Understanding The quinoa crop EU-project (AIRPROJECT931426) citado por Gómez, (2010)

2.2 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO

2.2.1 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS

a) Temperatura

La temperatura media adecuada está alrededor de 15 a 25 °C, siendo óptimo entre 10 y 18 °C. A temperaturas por encima de los 38°C producen aborto de flores, muerte de estigmas y estambres; imposibilitando la formación de polen y de grano (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1990, citado por Mujica *et al.*, 2001).

b) Humedad relativa

La quinua crece sin mayores inconvenientes desde el 40 por ciento de humedad en el Altiplano hasta el 100 por ciento de humedad en la costa central peruana. Las quinuas de valle por crecer en condiciones de alta humedad, tienen mayor tolerancia al ataque de mildiu que las quinuas del Altiplano (Mujica *et al.*, 2001).

c) Radiación solar

Soporta radiaciones extremas en zonas altas de los Andes. Estas altas radiaciones permiten compensar las horas de calor necesarias para cumplir con su periodo vegetativo y reproductivo. Vacher *et al.* (1998) citado por Mujica *et al.* (2001) anotan que una radiación global (RG) elevada favorece una fotosíntesis intensa y una producción vegetal importante y además, una Radiación neta (RN) baja, induce pocas necesidades de agua para el cultivo.

d) Fotoperiodo

El fotoperiodo es la duración de las horas de luz. La quinua por su amplia variabilidad genética y gran plasticidad, presenta genotipos de días cortos, de días largos e incluso indiferentes al fotoperiodo. Algunos autores incluso señalan que el cultivo podría ser

calificado como cuantitativo de día corto, debido a que la duración del periodo vegetativo no solo depende de la duración del día y de la latitud, sino también de la altitud de origen.

Bertero *et al.* (2003) citado por Mendoza (2013) mencionan que los cultivares originarios de valles andinos, donde el clima es más cálido se caracterizan por una mayor sensibilidad al fotoperiodo y una fase vegetativa más larga. Los cultivares del altiplano peruano – boliviano y del nivel del mar (Chile) muestran menor sensibilidad al fotoperiodo y una fase vegetativa más corta. Frere *et al.* (1975) citado por Mujica *et al.* (2001) sostienen que el promedio de horas luz diaria para el cultivo es de 12,19 con un acumulado de 146,3 horas al año.

2.2.2 REQUERIMIENTOS EDAFICOS

Mujica (1993) citado por Quillatupa (2009) sostiene que lo mejores rendimientos se obtienen en suelos francos o franco arenosos, semiprofundos, con buen drenaje y con alto contenido de materia orgánica.

Razzagui *et al.* (2012) investigaron el efecto del tipo de suelo en absorción de nitrógeno, rendimiento y el uso del agua durante la fase de llenado de grano en un cultivar del Titicaca, cultivado en suelos arenosos, franco-arenosos y franco-arcillo-arenosos. A todos se les aplicó la misma dosis de nitrógeno (120kg/ha). Sus resultados muestran que a mayor contenido de arcilla en el suelo, materia orgánica y capacidad de retención de agua, había mayor recaptación de nitrógeno por la planta; Además de mayor intercepción de la radiación fotosintética activa y mayor rendimiento. Los suelos con mayor contenido de arcilla y materia orgánica tienen también mayor transpiración, evapotranspiración del cultivo y rendimiento debido a una mayor absorción de nitrógeno.

a) Profundidad de enraizamiento:

Bonifacio *et al.* (2001) citado por Huamancusi (2012) afirma que las raíces pueden crecer desde los 0,3 hasta los 2,8 m de profundidad; dependiendo del genotipo, profundidad del suelo y altura de la planta. Si la cantidad de agua que recibe el suelo no es suficiente

para que este se humedezca hasta la profundidad normal de raíces, estas se desarrollarán solamente hasta el límite húmedo del suelo. Asimismo Simmonds (1965), citado por Quillatupa (2009) afirma que un espacio restringido de enraizamiento propicia una floración más rápida.

b) Compactación del suelo inducido por las raíces:

Dexter (1987) citado por Martino (2001) propuso que: *«los órganos subterráneos de las plantas también causan compactación del suelo debido a la expansión de las raíces»*. Conforme crecen van compactando la microestructura del suelo alrededor de las mismas. El volumen actual ocupado por las raíces se compensa con una disminución de los poros de mayor tamaño.

c) pH y Conductividad Eléctrica (CE)

Por origen, se ha adaptado a diferentes ambientes. Se ha encontrado quinuas creciendo desde los 4,5 de pH hasta suelos alcalinos de 9 de pH en los salares de Bolivia y Perú. Sin embargo, estudios recientes demuestran que el pH ideal para la quinua son los cercanos a la neutralidad. Asimismo, existen genotipos adecuados para cada una de las condiciones extremas de salinidad o alcalinidad y esto se debe también a la amplia variabilidad genética de esta planta (Mujica *et al.*, 2001).

2.2.3 REQUERIMIENTOS EN FERTILIZACIÓN

En condiciones de costa y riego por gravedad, se recomienda que el nitrógeno se fraccione en tres partes, una tercera a la siembra, la otra tercera al deshierbo y la última tercera parte en la floración. Esto permitirá un mejor aprovechamiento del nitrógeno y evita pérdidas por lixiviación, volatilización por las altas temperaturas, mientras que todo el fósforo y el potasio a la siembra (Mujica *et al.*, 2001).

2.2.4 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

En general la quinua prospera con 250 a 500 mm anuales en promedio. En riego por goteo, no existe un volumen estándar para el cultivo de quinua, dado que esto varía de acuerdo a las características edafo-climáticas de la zona de cultivo, el criterio principal para satisfacer sus requerimientos sería el de reponer la evapotranspiración del cultivo (ETc). Mujica et al. (2001) afirma que si la textura del suelo es arenosa, será más propensa al sobrecalentamiento y se acelerará la pérdida de humedad del suelo.

En experimentos recientes en quinua con riego por goteo y condiciones de costa central, Mercedes (2005) empleó 2924 m³/ha, Huamancusi (2012) aplicó un total de 3540 m³/ha y Barnett (2005) 5321 m³/ha.

2.2.4 ESTRÉS HÍDRICO

a) Exceso de riego

Martín de Santa Olalla *et al.* (2005) menciona que un exceso de agua en el suelo también puede ser la causa de estrés en las plantas. Levitt (1980) citado por Gonzales (s.f.) define el término estrés como «*cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para un organismo viviente*». La presencia de humedad elevada puede reemplazar a la fase gaseosa del medio donde crece la planta, provocándole un estrés secundario, debido a una insuficiente oxigenación, un exceso de CO₂ o la producción excesiva de etileno.

b) Déficit de riego, estrés por sequia

Esta situación se produce cuando la transpiración de agua supera a la absorción. Los déficits hídricos afectan los procesos vitales de las plantas y su efecto final es el de alterar el crecimiento y disminuir la producción, como consecuencia de la reducción del tamaño de las células que da lugar a menor desarrollo de las hojas y por tanto una menor superficie fotosintética. Asimismo, plantas sometidas a estas condiciones envejecen más pronto por la

producción temprana de ácido absicico. Para el rendimiento de semilla de los cultivos, la duración del estrés hídrico es tan importante como el grado del mismo (Pizarro, 1996; Kamisato, 2004; Martín de Santa Olalla *et al.*, 2005).

Sin embargo, estudios recientes realizados por Solís *et al.* (2002), citado por Geertz (2010) reportan que «*quinua sometida a condiciones de déficit hídrico tienen menor contenido de saponina*». Asimismo, Reddy *et al.* (2004) y Bettaieb *et al.* (2011) citados por Fischer *et al.* (2012) encontraron que plantas sometidas a situaciones de estrés hídrico tenían mayor contenido de antioxidantes que las cultivadas en condiciones normales.

2.2.4 PERIODOS CRÍTICOS DE RIEGO EN QUÍNUA

Pizarro (1996) afirma que todos los cultivos tienen un periodo crítico en el cual los efectos del déficit hídrico son más pronunciados y tienen efectos negativos en el rendimiento final del cultivo. En general, floración, cuajado y los primeros estados de crecimiento de los frutos son los más sensibles. Kamisato (2004) agrega que el efecto es más apreciable en cultivos de granos pequeños donde el alargamiento del tallo que porta la inflorescencia no se produce hasta que se hayan diferenciado los entrenudos y la inflorescencia.

En el cultivo de quinua, los estadios de floración y grano lechoso son los más sensibles al estrés hídrico y tienen mucha influencia en el rendimiento final, tal como lo demuestran las investigaciones realizadas por Apaza (1995), Geertz (2008) y Bertero *et al.* (2008). Asimismo, Geertz (2008) encontró que el estrés por sequía después de la emergencia desde las seis hojas hasta las 12 hojas no causa reducción en el rendimiento

2.3 BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO

2.3.1 SATURACIÓN

Estado hídrico en el cual, el agua está ocupando todos los macro y micro poros, desplazando al oxígeno (Pizarro, 1996). Se da después de una lluvia, un riego fuerte, cuando el drenaje es demasiado lento o cuando existe en el suelo un estrato impermeable.

2.3.2 CAPACIDAD DE CAMPO (CC)

Se alcanza cuando la fuerza gravitacional drena los poros mayores, que se ocupan nuevamente de aire, y los poros menores están reteniendo el agua contra la fuerza de gravedad. (Pizarro, 1996). Este estado es favorable para las plantas, pues crecen en un ambiente suficientemente aireado y con agua disponible retenida con energía que fácilmente puede ser superada por las plantas. Corresponde a un estado energético de 0,33 bares.

2.3.3 PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP)

Estado el cual las plantas absorben agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible, representa el nivel mínimo de humedad en el suelo. Corresponde a un estado energético de 15 bares.

2.3.4 AGUA DISPONIBLE TOTAL (ADT)

Representa, en términos teóricos, la diferencia entre el contenido de agua de un suelo a capacidad de campo y el contenido de agua en el punto de marchitez permanente. Lo anterior se expresa en la siguiente ecuación:

$$ADT = CC - PMP \quad (Ec. 1)$$

Dónde: ADT=Agua Disponible total, CC= Capacidad de campo y PMP = Punto de Marchitez permanente.

Pizarro (1996), sostiene que este concepto tiene un enorme significado agronómico dado que representa los límites máximos y mínimos de agua en el suelo que puede ser utilizado por los cultivos. Sin embargo dentro de este rango, el agua no está en las mismas condiciones de disponibilidad. Mientras más seco se encuentre el suelo, será retenido con mayor fuerza y no podrá movilizarse con la velocidad suficiente para satisfacer la demanda de la planta, afectando el rendimiento y la calidad final del cultivo (Pizarro, 1996; Villar y Ferrer, 2005).

2.3.5. AGUA FÁCILMENTE APROVECHABLE (AFA)

Es la fracción de agua disponible total (ADT) que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin mayor gasto de energía. Está limitado por un umbral de agotamiento (p) que constituye el máximo descenso permisible de agua en el suelo para evitar el estrés hídrico. Este umbral de agotamiento es conocido como *criterio de riego* y varía con el cultivo, tipo de suelo, nivel tecnológico y la demanda atmosférica. El Agua fácilmente aprovechable (AFA) responde a la siguiente relación:

$$AFA = pADT \quad (Ec. 2)$$

Para los cálculos de riego, El agua fácilmente aprovechable también puede ser expresada como:

$$AFA = \left(\frac{CCvol. - PMPvol.}{100} \right) * p * h \quad (Ec. 3)$$

Dónde: AFA= Agua fácilmente aprovechable, CCvol.: Capacidad de Campo en volumen, PMPvol.: Punto de marchitez permanente en volumen, p : Umbral de agotamiento o criterio de riego y h : Profundidad efectiva del cultivo

De manera esquemática, se presenta en la Figura 1, el balance hídrico de la zona radicular integrando los conceptos descritos y representando el agua en el suelo como la fluctuación del agotamiento a causa de los ingresos y egresos de agua en el sistema.

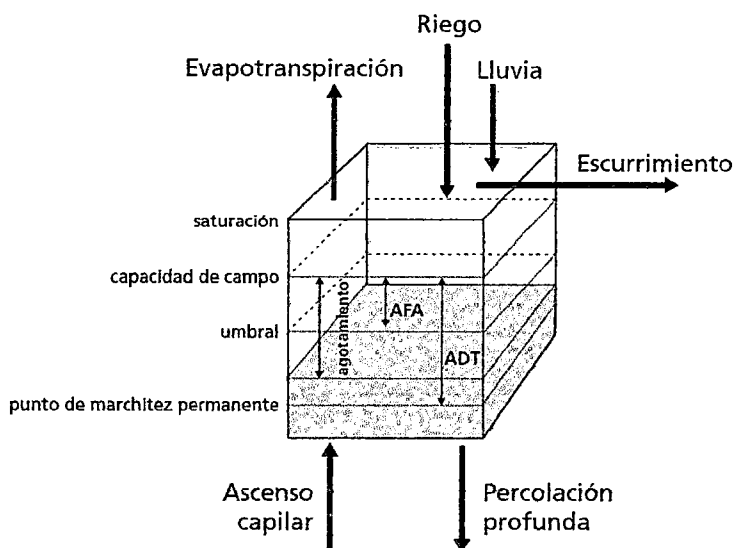


Figura 1: Balance hídrico en la zona radicular
FUENTE: Allen et al. (2006)

2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evaporación es el proceso por el cual el agua cambia de fase líquida a fase de vapor y pasa desde una superficie evaporante a la atmósfera. Asimismo, la transpiración consiste en la vaporización de agua líquida contenida en los tejidos de la planta y en el transporte del vapor del agua a la atmósfera. Calera (2005) menciona que la evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente, por lo que el flujo de vapor de agua desde una cubierta es denominado, en general, evapotranspiración (ET). Pese a que en los cultivos es difícil distinguir ambos procesos, al inicio del crecimiento, la principal causante de pérdida de agua es la evaporación. A medida que crece y el área foliar se expande, la pérdida de agua por transpiración va tomando importancia hasta volverse predominante cuando el cultivo está en su máximo desarrollo (Pizarro, 1996).

2.4.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o)

Calera (2005) lo define como el ritmo de evapotranspiración de un cultivo de referencia en óptimas condiciones de crecimiento y con un adecuado suministro de agua, las características particulares del cultivo de referencia pueden revisarse en el Anexo 1. El concepto de ET_o se introduce para estudiar la demanda evaporativa de la atmósfera en un lugar específico y en un determinado instante de forma independiente al tipo de cultivo, su estadio de desarrollo, su manejo agronómico y factores asociados al suelo. De esta forma, los valores de ET_o son afectados por los factores climáticos y consecuentemente calculados con parámetros climatológicos.

Existen diversos métodos para calcular la ET_o, hasta el momento los más utilizados son el método del tanque tipo A y el método FAO Penman-Monteith. El primero, proporciona a los agricultores una medida práctica para poder leer el poder evaporante de la atmósfera a tiempo real, es de fácil construcción ya que sus medidas están estandarizadas. El segundo, es más una metodología de cálculo, para su aplicación es necesario contar con información meteorológica.

2.4.1.1 ECUACIÓN FAO PENNMAN-MONTEITH

En 1990, la FAO en colaboración con la Comisión Internacional para el Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial, organizaron un panel de expertos para definir y estandarizar el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos. Como resultado, se estableció que desde ese momento, el método FAO Penman-Monteith sería el estándar a nivel mundial. Las características del cultivo de referencia y la ecuación del método FAO Penman-Monteith para el cálculo de la ET_o se muestran en los Anexos 1 y 2.

2.4.2 COEFICIENTE DEL CULTIVO (K_c)

El K_c es un coeficiente de ajuste que permite calcular la evapotranspiración del cultivo a partir de la ET_o . El K_c trata de reflejar aquellas características del cultivo que la diferencian del cultivo de referencia (gramínea). Como estas características cambian con las diferentes fases de crecimiento, los valores del coeficiente de cultivo describen una curva a lo largo del tiempo cuya forma refleja la evolución en la vegetación y la cobertura vegetal debido al crecimiento y la maduración en el ciclo de crecimiento del cultivo (Calera, 2005).

2.4.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO EN CONDICIONES ESTÁNDAR (ET_c)

Calera (2005) sostiene que la evapotranspiración de un cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) es la correspondiente a la cubierta vegetal de un cultivo libre de enfermedades, bajo condiciones óptimas de suministro de agua y de nutrientes, en extensas superficies y de tal forma que se obtenga la producción máxima bajo unas condiciones climáticas dadas. Allen et al. (2006) proponen la siguiente fórmula para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo:

$$ET_c \left(\frac{mm}{día} \right) = ET_o \left(\frac{mm}{día} \right) * K_c \quad (Ec. 4)$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar

ET_o = Evapotranspiración de referencia

K_c = Coeficiente de ajuste del cultivo

2.5 PROGRAMACIÓN DE RIEGO

2.5.1 PROGRAMACIÓN DE RIEGOS POR MEDIO DEL BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico debe contemplarse como un sistema, donde se equilibra los ingresos con las salidas de agua. Martín de Santa Olalla, *et al.* (2005) Sostienen que la cantidad agua requerida para compensar las pérdidas por evapotranspiración se define como las necesidades hídricas del cultivo.

Para diseñar y operar correctamente un riego se debe conocer la lámina neta que se deberá aplicar al cultivo en un determinado suelo. La lámina neta depende de la profundidad del suelo explorado por las raíces, nivel de agotamiento máximo permisible de la humedad, la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y el agua disponible total. El riego suministrado debería incluir una cantidad adicional para el lavado de sales y además, compensar la no uniformidad en la aplicación de agua (García *et al.*, *s.f.*).

Conforme se va dando el proceso de evapotranspiración, el suelo se va desecando y el agua se retiene cada vez con mayor energía, ocasionando estrés hídrico y limitando el crecimiento y desarrollo de la planta. Por ello, los niveles del agua en el suelo deberían variarse en cantidades que eviten o reduzcan esta situación. Por tal razón se debe definir correctamente el criterio de riego (umbral de agotamiento permisible), importante para determinar la frecuencia y la dosis del riego.

2.5.2 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO CON EL SOFTWARE CROPWAT 8.0

Ramón y Báez (2013) afirman que *Cropwat 8.0*, es un modelo de balance hídrico, diseñado por la FAO, que compara los requerimientos del cultivo con la disponibilidad hídrica a lo largo de cuatro etapas de desarrollo. Su principal propósito es el de calcular los requerimientos de agua y programar el riego en forma calendarizada. Los cálculos de la ETC se basan en la Ecuación de FAO Penman – Monteith, presentada por Allen *et al.* (2006).

Su uso es indicado para aquellos contextos donde los agricultores no cuentan con tecnología y/o equipos que permitan realizar una programación adecuada del riego ya que con poca información disponible, es posible determinar el requerimiento hídrico del cultivo e incluso, realizar el calendario, definiendo la frecuencia y duración de cada riego (Arteaga *et al.*, 2011).

El *software* cuenta con ocho módulos, cinco para el ingreso de datos y tres de cálculo. Los módulos para la entrada de datos son:

a) Datos climáticos (de precipitación, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, insolación y velocidad del viento) o ETo. En caso no se disponga datos climáticos, se usa la aplicación anexa “*Climwat*” que recolecta información de las estaciones meteorológicas más cercanas al lugar de producción. Si faltara alguno de estos datos, Cropwat 8.0 estima el valor.

b) Precipitación y también el cálculo de la precipitación efectiva. Para las condiciones de la costa central peruana, es un dato prescindible.

c) Información del cultivo que comprende: la duración de la etapa de crecimiento, Kc del cultivo, profundidad de raíces, factor de reducción de rendimiento (*Ky*), y la fecha de siembra.

d) Información del suelo (textura, humedad total aprovechable, nivel de agotamiento de la humedad, agotamiento inicial de la humedad del suelo, humedad inicial de suelo y tasa de infiltración). En la figura 2 se muestran los pasos a seguir para la programación del riego.

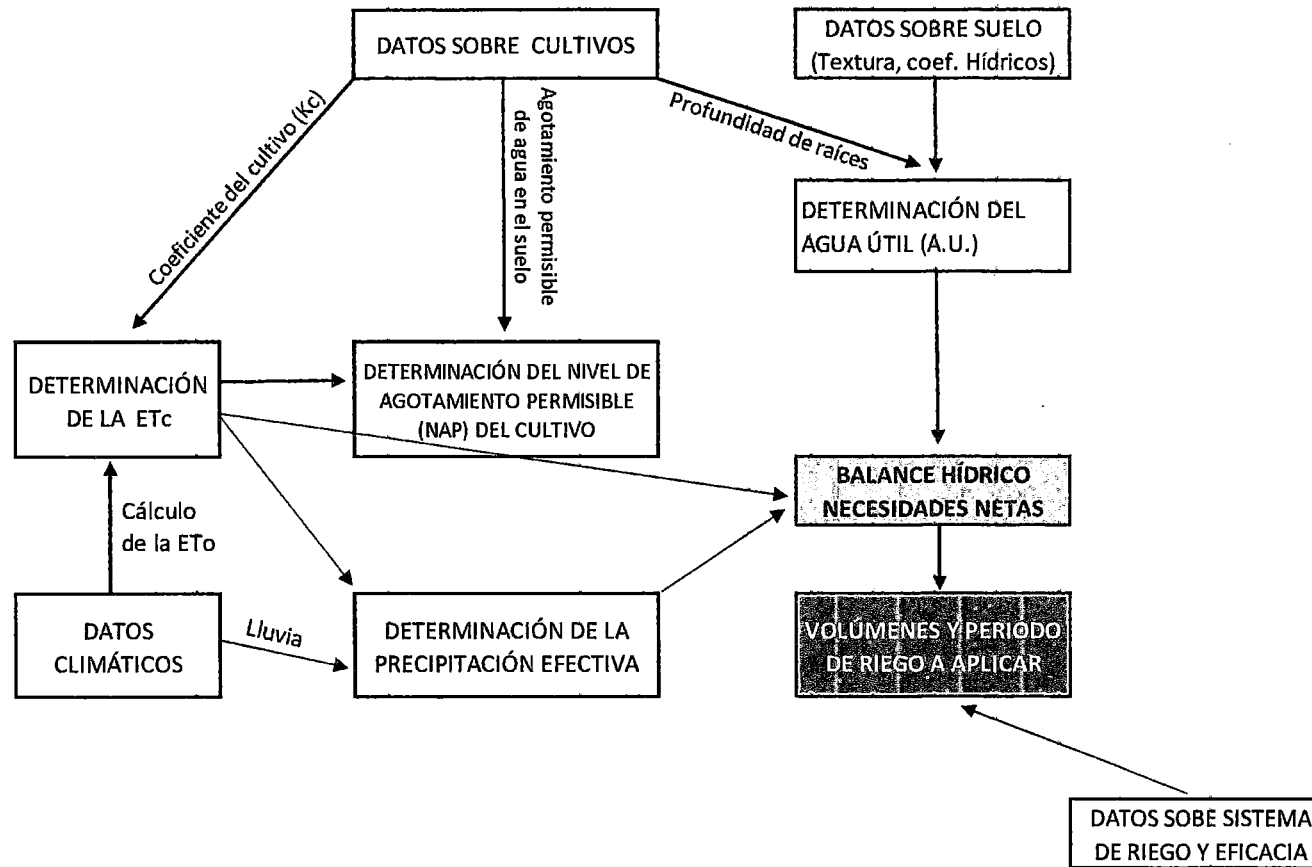


Figura 2: Procedimiento general para realizar el balance hídrico
FUENTE: Allen et al. (2006)

2.6 RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA (RALF)

Los RALF'S se caracterizan por dos hechos fundamentales: la localización y la alta frecuencia. La localización consiste en humedecer solo una porción del suelo y se pretende que las raíces obtengan agua y nutrientes de ese espacio reducido. Pizarro (1996), sostiene que la localización obliga a suministrar agua con alta frecuencia, dado que el volumen de agua y la capacidad de almacenamiento son reducidos. La localización y la alta frecuencia disminuyen la evaporación e incrementan la transpiración.

El mayor ahorro de agua con riegos localizados se consigue con plantaciones jóvenes (menor transpiración). A medida que las plantas crecen, el consumo se va aproximando al de riegos convencionales.

2.6.1 RIEGO POR GOTEO

Es un tipo de RALF, donde el riego se va suministrando gota a gota, a través de una red de cintas o mangueras con emisores cuyo caudal es definido y seleccionado previamente de acuerdo al diseño agronómico.

a) Frecuencia de riego

El valor indica el tiempo que debe transcurrir entre un riego y otro, con el objetivo de satisfacer las necesidades hídricas del cultivo.

b) Bulbo de humedecimiento

Es la forma que va adquiriendo la zona de humedecimiento. El principal diferenciador es la textura del suelo regado. En suelos ligeros la distribución es más longitudinal, debido a poros mayores que propician una mayor infiltración. En suelos pesados la distribución del bulbo es más horizontal por el menor ratio de infiltración y el mayor porcentaje de microporos que hace que las fuerzas mátricas dominen sobre las gravitacionales.

2.7 EFICIENCIA GLOBAL DE RIEGO

Martín de Santa Olalla *et al.* (2005) lo definen como la relación entre el volumen medio de agua de riego infiltrada y puesta a disposición de las raíces de los cultivos, y el volumen total que se ha extraído del punto de suministro, sea éste un embalse, cauce fluvial o pozo. La eficiencia global de riego (Eg) está compuesta por: la eficiencia de conducción (Ecd), de distribución (Ed) y de aplicación (Ea). Integrados bajo la siguiente fórmula:

$$Eg = Ecd * Ed * Ea \quad (\text{Ec. 5})$$

2.8 EFICIENCIA DE USO DE AGUA

Martín de santa Olalla *et al.*, (2005) anota que la eficiencia de uso de agua (EUA) es un término netamente agronómico y ecofisiológico introducido por primera vez por Viet (1962) como "*Water-Use Efficiency*". Este concepto determina la eficiencia con la que la planta utiliza el agua desde el momento en que está disponible en las raíces para la fotosíntesis, construcción de biomasa o rendimiento final del cultivo. Estas tres definiciones difieren en tiempo y espacio, por tanto se debe determinar a qué nivel será la evaluación para acotar correctamente. En el Cuadro 3 se especifica lo anterior:

CUADRO 3: Definiciones de eficiencia de uso de agua

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

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

FUENTE: adaptada de Steduto (1996) por Martín de Santa Olalla *et al.* (2005)

2.9 MEMBRANA DE RETENCION DE HUMEDAD:

Debido a la preocupación mundial por la reducción de las reservas de agua disponible para la agricultura, sumado a los efectos del cambio climático que están alterando la distribución de lluvias en zonas agrícolas importantes en el mundo, hay una tendencia en la investigación por dotar al suelo de una mayor capacidad de almacenamiento para amortiguar el descenso de la humedad disponible en el suelo hasta disponer de agua para el próximo riego. Un método reciente que se está implementando de forma experimental, consiste en instalar plásticos debajo del suelo que funcionan como membranas de retención de agua, con el objetivo de modificar la conductividad hidráulica en la zona radicular. Esto proporciona al suelo una mayor capacidad de almacenamiento para seguir entregando humedad cuando las capas superiores del suelo se estén agotando. Asimismo, evita que el agua y los fertilizantes se pierdan por percolación.

Esta tecnología viene siendo desarrollada por Alvin smucker y Kurt Thelen en la universidad de Michigan, con el nombre de “tecnología de proceso de retención de agua del subsuelo (SWRT, por sus siglas en inglés)”. El esquema general de prototipo desarrollado por estos investigadores se presenta en la Figura 3.

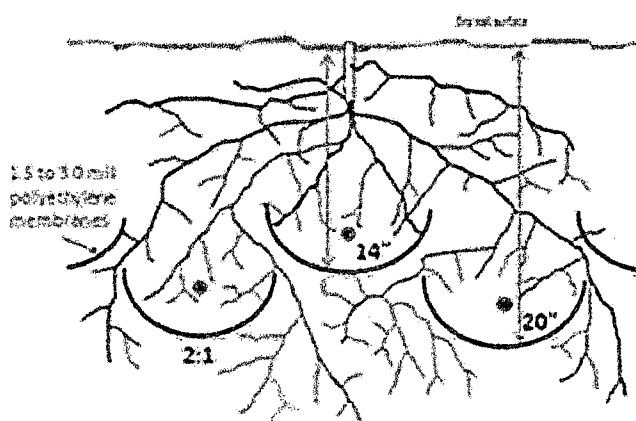


Figura 3: Prototipo de instalación de las membranas de retención de humedad

FUENTE: <http://agbioresearch.msu.edu/uploads/395/39796/SmuckerDiagram.png>

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR

El experimento se llevó a cabo en el campo experimental del Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Ubicado en el distrito de La Molina, Lima, Perú. Las coordenadas geográficas son 12°05'06'' de latitud sur, 76°57'00'' de longitud Oeste y altura de 251 m.s.n.m.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Los suelos de La Molina se encuentran fisiográficamente situados en una terraza media de origen aluvial. Se caracterizan por presentar buen drenaje, permeabilidad moderada, textura media a ligeramente gruesa, estructura granular fina y consistencia en húmedo que va desde friable a muy friable.

3.2.1 ANÁLISIS DE SUELO

El análisis de caracterización del suelo fue realizado por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 4. De acuerdo a la clase textural, es un suelo franco arenoso, con baja salinidad, reacción ligeramente alcalina, bajo contenido de materia orgánica y bajo CIC, contenido medio de fosforo disponible y bajo potasio disponible. Siendo en general, un suelo de baja fertilidad natural.

De acuerdo a los métodos de evaluación que se mencionan en el cuadro 5, el suelo tiene una densidad aparente de 1,55 gr/cm³ y 10,84 volúmenes de agua disponible total (capacidad de campo de 15 por ciento en masa y punto de marchitez permanente de ocho por ciento en masa).

3.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

El agua utilizada para el riego tiene como fuente de abastecimiento el río Rímac. Según el análisis de agua presentado en el Cuadro 6, tiene una clasificación C2-S1 con peligro de salinidad medio (C2), presenta bajo peligro de Sodio (S1), con un bajo RAS que implica que puede usarse para el riego de casi todos los suelos, sin riesgo de destrucción de la estructura (ver Cuadro 6).

3.4 CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA

Presenta las características climáticas propias de la costa central peruana, con un clima subtropical húmedo, ausencia de precipitaciones y con altos niveles de humedad y nubosidad. El experimento se realizó entre los meses de Agosto del 2013 a Enero del 2014. Para la programación de riegos se utilizaron los datos promedio de temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y heliofanía de los dos años anteriores al experimento (2011 y 2012) que fueron proporcionados por la estación meteorológica '*Alexander Von Humboldt*'- UNALM. Estos datos se muestran en el Cuadro 7.

3.5 MATERIALES Y EQUIPOS

3.5.1 MATERIAL VEGETAL

Línea Mutante 'La Molina 89-77' procedente del banco de germoplasma del Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos de la UNALM. Es un mutante cuyo padre es la var. La Molina 89 irradiado con rayos gamma. La pureza de las semillas fue de 90 por ciento y el porcentaje de germinación en laboratorio de 82 por ciento.

CUADRO 4: Análisis de caracterización química de suelo

	Unidad	Valor
pH (1:1)	-	7,86
CE (1:1)	dS/m	0,79
CaCO ₃	%	0,40
M.O	%	1,03
P (ppm)	ppm	7,20
K (ppm)	ppm	91,00
Clase textural	-	Franco Arenoso
CIC	-	10,56
Ca ²⁺	meq/100g	9,10
Mg ²⁺	meq/100g	1,07
K ⁺	meq/100g	0,21
Na ⁺	meq/100g	0,19
Al ³⁺ + H ⁺	meq/100g	0,00
Suma de cationes	-	10,57
Suma de bases	-	10,57
Saturación de bases	%	100

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes.

CUADRO 5: coeficientes hídricos del suelo

Propiedad	Resultado	Unidad
Capacidad de campo (CC)	15,00	% En masa
Punto de marchitez (PM)	8,00	% En masa
Densidad Aparente (Da)	1,55	gr/cm ³
Humedad aprovechable	10,84	Volúmenes

a) Cálculo de CC y PM por el método de la humedad equivalente

b) Cálculo de la densidad aparente por el método de los cilindros

FUENTE: Elaboración propia (2014)

CUADRO 6: Análisis de caracterización de agua

Ítem	Unidad	Valor
pH		7,56
C.E.	dS/m	0,55
Calcio	meq/L	4,01
Magnesio	meq/L	0,66
Potasio	meq/L	0,09
Sodio	meq/L	1,56
SUMA DE CATIONES		6,32
Nitratos	meq/L	0,00
Carbonatos	meq/L	0,00
Bicarbonatos	meq/L	2,35
Sulfatos	meq/L	2,36
Cloruros	meq/L	1,50
SUMA DE ANIONES		6,21
Sodio	%	24,68
RAS		1,02
Boro	ppm	0,23
Clasificación		C2-S1

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes - UNALM

CUADRO 7: Datos climáticos promedio del Campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Años 2011 y 2012

	T° máxima (°C)	T° mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Heliofanía (Horas)	Eto (mm/día)
Enero	27.7	18.2	73	7	4.4
Febrero	29	19.7	72	6.8	4.6
Marzo	28.8	19.2	72.5	6.8	4.4
Abril	27.4	17.6	73.5	6.7	3.9
Mayo	22.9	15.6	82.7	4.6	2.6
Junio	21.7	16	84.3	2.1	2
Julio	19.8	15.5	87.2	1.4	1.8
Agosto	18.1	14	88.5	0.9	1.7
Septiembre	19.7	13.8	87.1	3.2	2.3
Octubre	21.2	14.2	83.8	4.4	2.8
Noviembre	22.9	15.5	83.2	6.4	3.5
Diciembre	24.8	17.4	81.1	5.1	3.5

Eto: Evapotranspiración de referencia. Calculado con la fórmula FAO/PenmanMonteith por CROPWAT 8.0

FUENTE: Estación 'Alexander Von Humboldt'. Elaboración propia (2014)

3.5.2 SISTEMA DE RIEGO

Se instaló el sistema de riego por goteo de bajos recursos tipo INIA. Sus componentes principales son:

- Cabezal de riego, constituido por un tanque de 1 100 L, caudalímetro marca Actaris (caudal neto: 10 m³/h y caudal mínimo: 0.2 m³/hora) y válvulas de bola para apertura y cierre para cada unidad experimental.
- Red de tuberías (de 1,5 pulgadas en las matrices y una pulgada en las redes secundarias)
- Subunidades de riego con cintas JD – RODRIP en re-uso. Sus especificaciones de fábrica se muestran en el Cuadro 7. Una vez instalado, se realizó una evaluación de uniformidad y caudal real de las cintas, los resultados se muestran en el Cuadro 8.

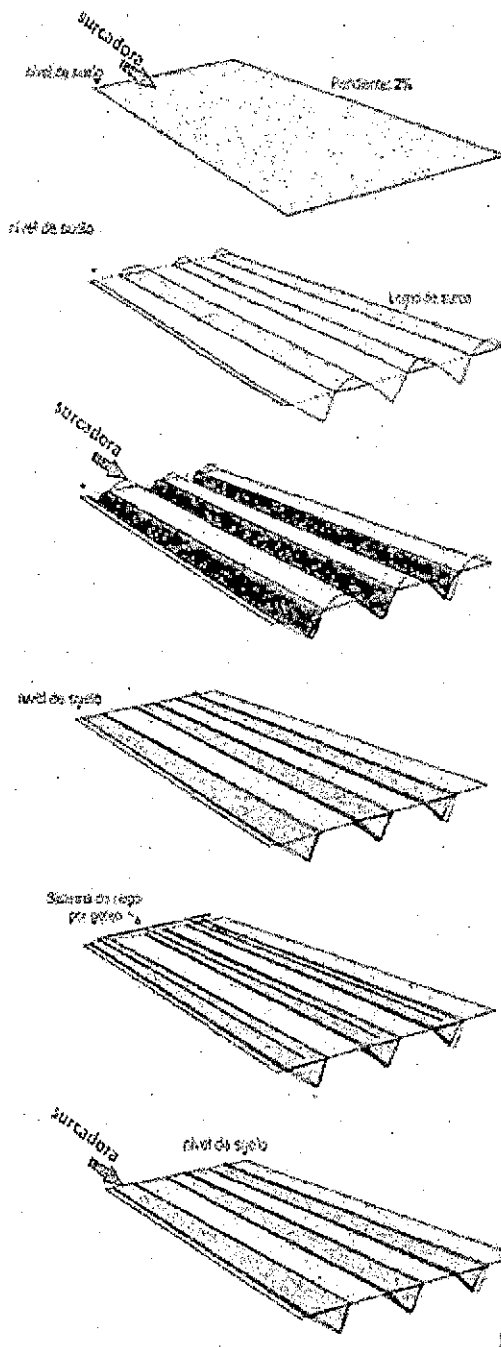
CUADRO 8: Especificaciones técnicas de las cintas de riego empleadas en el campo experimental

rollo estándar	espesor de pared	espaciamiento entre emisores	Caudal nominal 100 m lineales	Caudal real 100 m lineales	Coefficiente de uniformidad
16 mm	5 mil	0.2 m	370 L/hora	415 L/hora	85%

FUENTE: John Deere (s.f.), elaboración propia (2014)

3.5.3 PLÁSTICO

En el área experimental se implementó plástico bajo el suelo a modo de «*membranas de retención de humedad*» con una profundidad efectiva de suelo de 0,3 m. Para su instalación se emplearon rollos de polietileno reciclado de 100 kg y 1,2 m de ancho. El procedimiento para su instalación se muestra en la figura 4. Para una hectárea se requieren aproximadamente de 10 a 12 rollos con las características descritas.



1. Preparación del suelo (grada, rastra y nivelación).

2. surcado: con surcadora adaptada para hacer surcos más altos, con el distanciamiento establecido en el diseño agronómico

3. Colocación del plástico: en los surcos formados, el fondo debe tener una profundidad de 0.25 a 0.30 cm.

4. tapado de plástico: La tierra en el lomo del surco es removido hacia el fondo del surco, donde previamente se colocó el plástico en forma manual o mecanizada

5. Instalación del sistema de riego: en los surcos-camas, el fondo debe tener una profundidad mínima de 0.25 cm.

6. Siembra: Trazar las líneas de siembra y/o trasplante según sea el objetivo.

Figura 4: Procedimiento para instalar el plástico como membrana de retención de humedad

FUENTE: Elaboración propia, 2014

3.6 METODOLOGÍA

3.6.1 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

El cálculo del régimen de riego mayor se realizó con el *software* Cropwat 8.0 de la FAO. Los datos utilizados para la programación fueron:

a) Información climática: heliofanía, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y velocidad de viento (Cuadro 7).

b) Información del cultivo: se consideraron los valores de Kc propuestos por Choquecallata, 1991 (Anexo 3), duración fenológica de 140 días, profundidad de raíces de 0,15 m al inicio y de 0,3 m desde la etapa media en adelante. El criterio de riego fue de 0,5 para todo el ensayo (considerado para someter a condiciones de estrés hídrico al cultivo).

c) Información del suelo: humedad aprovechable de 10,84 volúmenes, profundidad radicular máxima de 0,3 m (por la profundidad del plástico) y agotamiento inicial de la humedad del suelo de 0,35 por ciento.

d) Información del sistema de riego: 85 por ciento de eficiencia y caudal de 52 m³/ha/hora.

Con los datos anteriores y bajo las características particulares del experimento, el *software* calculó los requerimientos hídricos para satisfacer el 100% de la ETc (lámina neta) y además consideró un volumen adicional para compensar la ineficiencia del sistema de riego (lámina total); proporcionando esta información en un calendario con la cantidad, la frecuencia y la duración de cada riego para toda la campaña. El procedimiento puede verse en el Anexo 4.

Para evaluar los efectos de limitaciones hídricas (sequía) en el cultivo de quinua línea mutante 'LM 89-77 en condiciones de La Molina, el volumen de agua calculado inicialmente con Cropwat 8.0 se redujo al 75 y 50 por ciento, sin cambiar las fechas en el

calendario. Originando los otros dos regímenes de riego empleados en este experimento (Cuadro 9).

CUADRO 9: Calendario de los regímenes de riego aplicados en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante 'La Molina 89-77' con tres regímenes de riego en condiciones de La Molina

Fecha	DDS	Etapa	REGÍMENES DE RIEGO					
			100% LR		75% LR		50% LR	
			lámina bruta (m ³ /ha)	Tiempo (horas)	Lámina bruta (m ³ /ha)	Tiempo (horas)	Lámina bruta (m ³ /ha)	Tiempo (horas)
21-ago	0	Inicial	65	01:10	49	01:10	33	01:10
26-ene	5	Inicial	65	01:10	49	01:10	33	01:10
01-sep	11	Inicial	70	01:20	53	01:20	35	01:20
06-sep	16	Inicial	70	01:20	53	01:20	35	01:20
INICIO DE TRATAMIENTOS (6 hojas verdaderas)								
11-sep	21	Inicial	75	01:30	56	01:05	38	00:45
16-sep	26	Inicial	75	01:30	56	01:10	38	00:45
21-sep	31	Inicial	80	01:30	60	01:10	40	00:45
27-sep	37	Desarrollo	100	01:50	75	01:30	50	01:00
03-oct	43	Desarrollo	115	02:00	86	01:30	58	01:00
09-oct	49	Desarrollo	125	02:20	94	01:40	63	01:15
15-oct	55	Desarrollo	135	02:30	101	02:00	68	01:15
20-oct	50	Desarrollo	140	02:40	105	02:00	70	01:15
25-oct	65	Desarrollo	145	02:50	109	02:05	73	01:20
30-oct	70	Desarrollo	150	02:50	113	02:10	75	01:20
04-nov	76	Medio	160	03:00	120	02:15	80	01:30
09-nov	81	Medio	164	03:10	123	02:20	82	01:40
14-nov	86	Medio	172	03:15	129	02:30	86	01:40
19-nov	91	Medio	174	03:15	131	02:30	87	01:40
24-nov	96	Medio	174	03:36	131	02:30	87	01:40
29-nov	101	Medio	174	03:15	131	02:30	87	01:40
04-dic	106	Medio	171	03:15	128	02:30	86	01:40
09-dic	111	Final	170	03:36	128	02:30	85	01:40
15-dic	117	Final	170	03:15	128	02:30	85	01:40
20-dic	122	Final	165	03:00	124	02:24	83	01:35
Cierre del sistema								
28-dic	130	Final	165					
05-ene	138	Final	160					

Item	Volúmenes calculados	Volúmenes programados		
		100%	75%	50%
Lámina bruta (total):	3 424 m ³ /ha	3 104 m ³	2 398 m ³	1 552 m ³
Lámina neta:	2 910 m ³ /ha	2 638 m ³	2 039 m ³	1 319 m ³

Caudal: 52 m ³ /ha
Eficiencia: 85%

FUENTE: Resultados del CROPWAT 8.0 para las características del experimento. Elaboración propia (2014)

3.6.2 TRATAMIENTOS

T0: 100% de la lámina de riego, sin plástico

T1: 100% de la lámina de riego, con plástico

T2: 75% de la lámina de riego, con plástico

T3: 50% de la lámina de riego, con plástico

3.6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y cuatro tratamientos, dando un total de 12 unidades experimentales. El detalle de la randomización se aprecia en la Figura 5 y el modelo estadístico en el Cuadro 10.

3.6.4 CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

a) Características generales:

Área total:	422,4 m ²
Número de Unidades experimentales:	12
Repeticiones:	3
Tratamientos:	4

b) Características de la unidad experimental:

Distancia entre surcos:	0.8 m
Número de surcos:	4
Longitud de surco	11 m
Superficie:	35,2 m ²

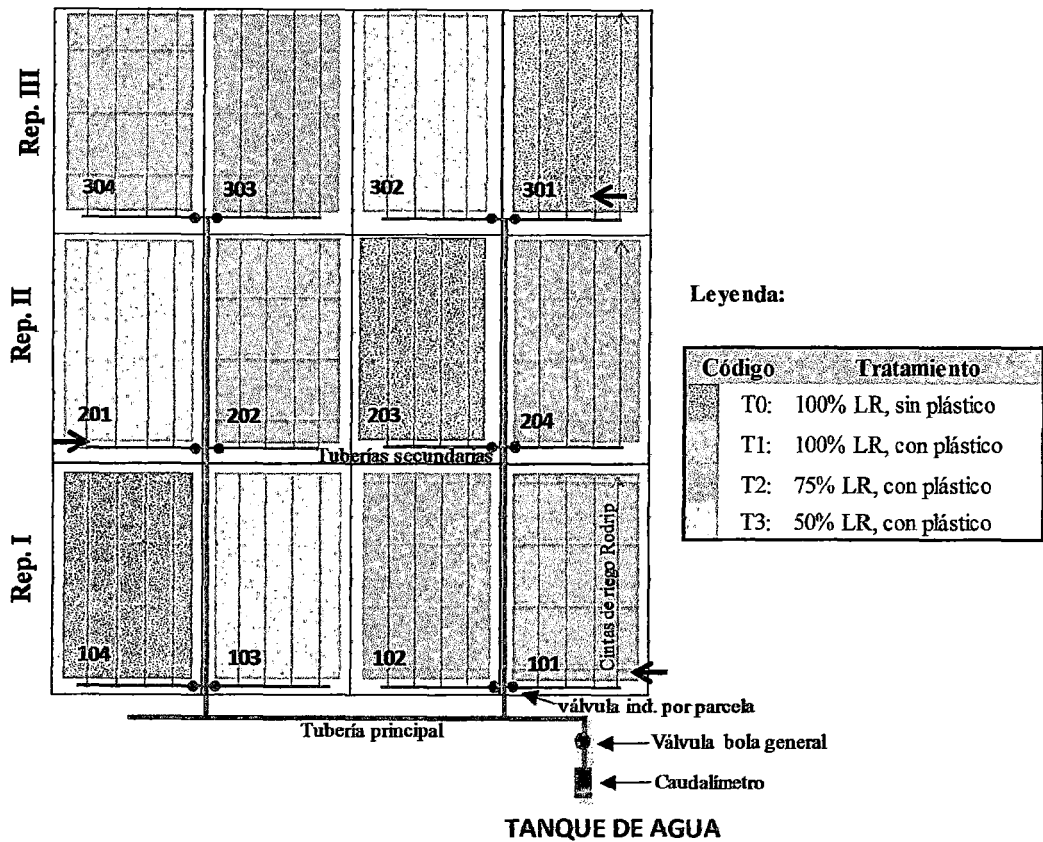


Figura 5: Esquema de aleatorización de los tratamientos del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89-77’ bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina”

FUENTE: Elaboración propia, 2014

CUADRO 10: Modelo estadístico del ensayo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89-77’ con tres regímenes de riego en condiciones de La Molina.

$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad i=1, 2, 3, 4 \quad j=1, 2, 3$ <p>Donde:</p> <p>Y_{ij}: variable respuesta por efecto del i-ésimo régimen de riego en la j-ésima repetición.</p> <p>μ: Es el efecto de la media general de la variable respuesta</p> <p>β_j: Es el efecto de la j-ésima repetición</p> <p>ε_{ij}: Es el efecto del error experimental en el i-ésimo régimen en el j-ésima repetición</p>

FUENTE: Cordero, (2008)

3.6.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó un Análisis de Variancia para un Diseño de Bloques Completos al Azar (BDCA) con tres repeticiones por tratamiento con ayuda del programa estadístico SAS (Statistical Analysis System Versión 9.2). Para las variables donde el ANVA resultó significativo, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$.

3.6.6 CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

La siembra se realizó el 21 de agosto del 2013. El genotipo empleado fue la línea mutante 'La Molina 89-77', con una dosis de siembra de 10 kg/ha a chorro continuo, previamente, las semillas se desinfectaron con Homai W.P. (Thiophanatemethyl + Thiram) a dosis de 2 g/kg de semilla. La fertilización del experimento fue de 40-60-0 kg/ha de NPK, al momento de siembra.

Todas las unidades experimentales fueron regadas de forma homogénea hasta las seis hojas verdaderas (20 Días Después de la Siembra, DDS). A partir de este estadio se iniciaron los tratamientos según los volúmenes calculados y el calendario establecido por Cropwat 8.0. La forma de control fue a través de los tiempos de riego definidos para cada tratamiento en el calendario. Adicionalmente, entre cada riego se registró la lectura del caudalímetro para verificar el volumen real de agua utilizada. Para evitar variaciones, las tres repeticiones del mismo tratamiento se regaban a la vez.

El primer desahije se realizó a los 30 DDS, dejando una población promedio de 45 plantas por m². A los 30 y 50 DDS, se realizaron los desmalezados y los controles fitosanitarios para mosca minadora (*Liriomyza* spp.), gusanos comedores de follaje (*Spodoptera* spp.) y Mildiú (*Peronospora variabilis*). Para los primeros se empleó Cipermax 10 CE (alfacipermetrina) dosis de 250 g/ha y methomyl (250 g/ha). Para el control del Mildiú se aplicó Fitoklin (metalaxyl) con dosis de 250 g/ha.

A los 45, 75 y 105 DDS se realizaron mediciones de altura de planta, longitud de panoja y fenología; controlando la llegada a los estadios de floración y maduración de granos. A los 100 DDS, se realizó un aporque dado que parte de las plantas de los tratamientos T3 (50% lámina de riego, con plástico) y T2 (75% lámina de riego, con plástico) empezaron a “acamarse”.

El último riego se realizó a los 122 DDS, luego se cerró el sistema. La cosecha se realizó a los 138 DDS en forma manual, diferenciándose los surcos centrales y laterales de cada unidad experimental. En la figura 6 se muestra el cronograma de actividades de todo el experimento.

3.6.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

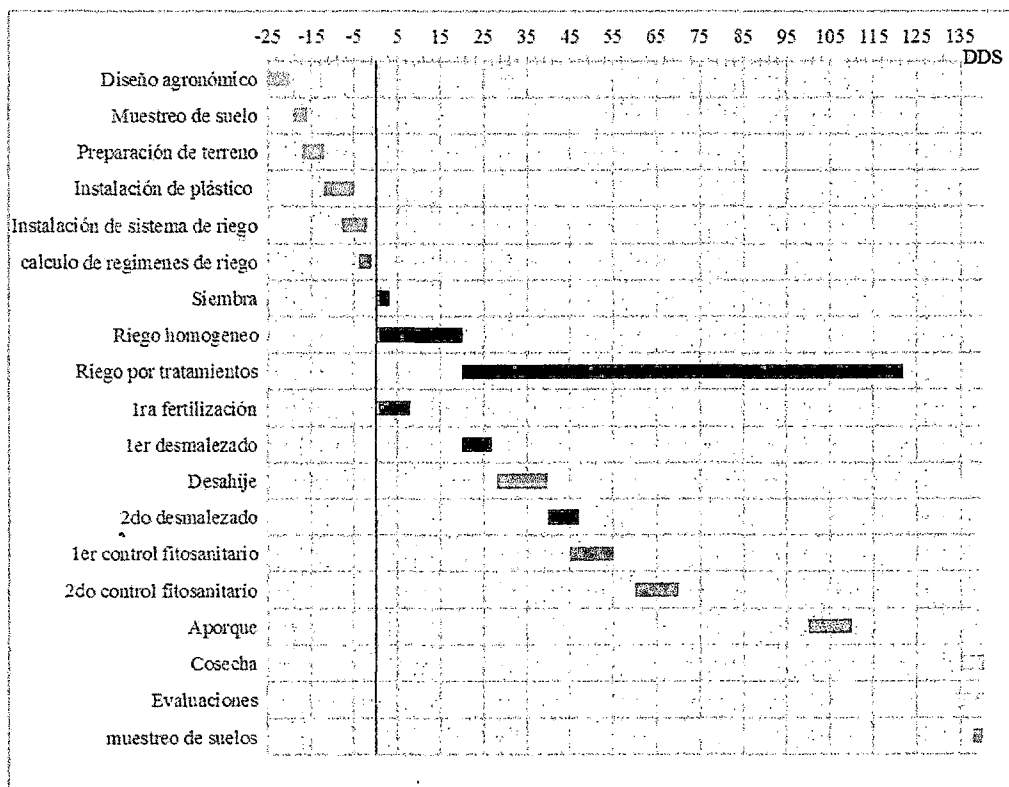


Figura 6: Cronograma y programación de labores culturales en el experimento

FUENTE: Elaboración propia, 2014

3.6.8 VARIABLES EVALUADAS

a) variables morfológicas

A los 45 días, se seleccionó y marcó cinco plantas representativas por unidad experimental en las cuales se realizaron las diferentes evaluaciones programadas:

i) Altura de planta (cm): se midió la altura de planta los 45, 75 y 105 días en cinco plantas por unidad experimental, desde la base del tallo al punto terminal de la planta.

ii) Longitud de panoja (cm): se tomó desde el comienzo de las ramificaciones hasta el extremo apical del mismo. Se midió a los 45, 75 y 105 días en cinco plantas por unidad experimental.

iii) Diámetro de panoja (cm): se midió antes de la cosecha el diámetro máximo de la parte media de la panoja de cada una de las cinco plantas seleccionadas por unidad experimental.

iv) Diámetro de tallo (cm): los tallos fueron medidos con un vernier a una altura 5 cm desde el suelo. Se midió antes de la cosecha en cinco plantas por unidad experimental.

b) Caracteres agronómicos

i) Requerimiento de riego de cultivo (m^3/ha): cantidad de agua utilizada por el cultivo, programado con Cropwat 8.0 y corroborado con las lecturas del caudalímetro registrados durante todo el experimento. El total de estas lecturas se consideró como el verdadero valor del agua utilizada por campaña.

ii) Días a la floración: cuando el 50 por ciento de las flores de la inflorescencia se abrieron.

iii) Días a la madurez del grano: se consideró madurez de grano cuando el 100 por ciento de las panojas estaban decoloradas (grano pastoso).

iv) Altura de planta a la cosecha (cm): antes de la cosecha, se tomó la altura desde la base del tallo al punto terminal de la planta.

v) Rendimiento (kg/ha): las panojas cosechadas en las líneas centrales de cada unidad experimental fueron trilladas y venteadas. El total de granos obtenido por los dos surcos centrales de cada unidad experimental se expresó en su equivalente a kilogramo por hectárea.

vi) Eficiencia de uso de agua (EUA) (kg/m³): relación entre el rendimiento comercial (kg/ha) y el requerimiento neto de agua de riego (m³/ha).

vii) Índice de cosecha (IC) (%): se calculó como la relación entre el rendimiento económico (granos) y el rendimiento biológico (biomasa), según el procedimiento establecido por el Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM.

c) Componentes de rendimiento

i) Número de plantas por m²: al momento de la cosecha, se contó el total de plantas en los dos surcos centrales de cada unidad experimental. El resultado fue expresado en número de plantas por m².

ii) Peso de granos por panoja (g/panoja): se trilló individualmente cada panoja, se venteó y limpió. Los granos obtenidos fueron pesados con una balanza electrónica de 3 dígitos marca *Mettler Toledo modelo AL204*.

iii) Número de granos por panoja: para esto, se utilizó el contador de granos marca *Seedburo 801 Count-a-pack* del laboratorio de calidad del Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM.

d) Componentes de calidad del grano

i) Peso de mil granos (g): calculado a partir de los datos obtenidos del peso de granos por panoja y el número de granos por panoja.

ii) Granulometría: esta evaluación se realizó para ver la composición granulométrica por panoja en las cinco plantas seleccionadas por unidad experimental. Para esto se emplearon las zarandas N° 10, 12, 14 y 16 que clasifican según diámetro de granos de 2 mm, 1,7 mm, 1,4 mm y $\leq 1,4$ mm, respectivamente.

iii) Proteínas en grano (%) y Humedad de grano (%): realizados con el equipo *Infratec 1241 – Grain analyzer* del laboratorio de calidad del Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM, que realiza sus estimaciones a través de un método no destructivo.

iv) Saponinas en grano (%): esta evaluación se realizó a través del método afrosimétrico mecánico. El procedimiento consiste en pesar 0,5 g de granos de 1,7 mm; colocarlo en un tubo de ensayo y agregar 5 mL de agua destilada, agitarlo por 30 minutos y luego dejar en reposo por cinco minutos. La agitación genera una espuma, la altura que alcanza es relacionada con el contenido de saponinas en el grano a través de la siguiente fórmula:

$$Saponina (\%) = \frac{\text{altura espuma (cm)} - 0.29}{3.74} \quad (\text{Ec. 6})$$

e) Análisis de rentabilidad

Se realizó un análisis de rentabilidad por tratamiento. El plástico fue depreciado en tres campañas y el sistema de riego tipo INIA en seis campañas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentarán en función a los objetivos del presente estudio. La base de datos y los resultados del análisis estadístico figuran en los Anexos 9 al 12.

OBJETIVO 1: determinación del efecto de tres regímenes de riego en las variables morfológicas, caracteres agronómicos, rendimiento, componentes de rendimiento y componentes de calidad en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89-77’.

4.1 CRECIMIENTO Y VARIABLES MORFOLÓGICAS

4.1.1 CURVA DE CRECIMIENTO

Tal como se señaló en metodología, las plantas se regaron igual hasta el estadio de seis hojas verdaderas (20 días después de la siembra), empezando los tratamientos diferenciados de riego con una altura promedio de 17.13 cm. La curva de crecimiento se evaluó desde los 45 hasta los 105 días después de la siembra. Las Figuras 7 y 8 muestran que por efecto de los diferentes regímenes de riego aplicados, existen diferencias en el crecimiento de las plantas, observándose la mayor diferenciación en altura de planta y longitud de panoja entre los tratamientos T0, T1, T2 y el tratamiento T3 (50% de LN con plástico). En este último, la reducción es marcadamente mayor en la magnitud de ambos caracteres.

Los resultados señalan que los tratamientos con mayores volúmenes de riego, tienen mejor desarrollo a consecuencia de una mayor humedad disponible que permite al cultivo invertir menos energía en tomar agua y utilizar ese ahorro para producir más biomasa, expresada en un mayor crecimiento. Destaca en particular, el tratamiento T1 (100% de LN con plástico) que mostró ligera superioridad en los dos parámetros evaluados, posiblemente a consecuencia del plástico que probablemente modificó el bulbo de humedecimiento y la conductividad hidráulica natural del suelo, proporcionando una mayor capacidad de

almacenamiento (menor agotamiento y más agua disponible) en la zona radicular delimitada por el plástico. Esto sugiere que un volumen mayor de agua, con menores reducciones de la humedad disponible podrían repercutir de manera positiva en la respuesta de los cultivos, tal como lo señalan investigaciones realizadas por Martín (2012) en tabaco y Nagaz *et al.* (2012) en zanahorias cultivadas en el desierto de Túnez.

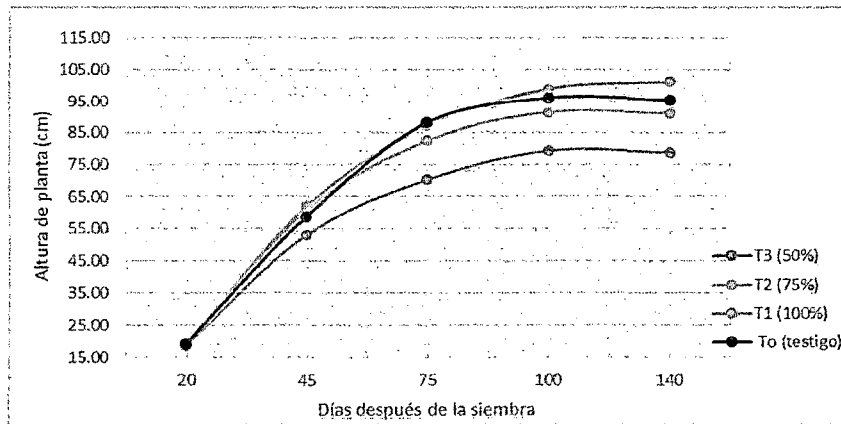


Figura 7: Altura de planta (cm) a los 45, 75, 105 y 135 días después de siembra en cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) línea mutante ‘LM 89 – 77’ con tres regímenes de riego, en condiciones de La Molina. (FUENTE: Elaboración propia, 2014).

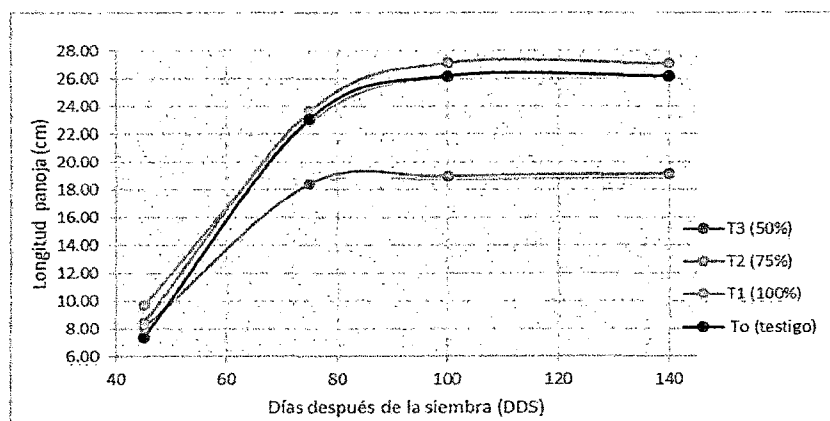


Figura 8: Longitud de panoja (cm) a los 45, 75, 105 y 135 días después de siembra en cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) línea mutante ‘La Molina 89 – 77’ con tres regímenes de riego en condiciones de La Molina. (FUENTE: Elaboración propia, 2014)

4.1.2 VARIABLES MORFOLÓGICAS

a) Diámetro de tallo a la cosecha

En el Cuadro 11 se presentan los resultados del análisis de variancia para diámetro de tallo. Los resultados muestran diferencias significativas entre los tratamientos. El promedio global para diámetro de tallo fue de 6,13 mm; con un coeficiente de variabilidad de 10,02 por ciento.

La prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 12), indica que el tratamiento T1 (100% lámina de riego, con plástico) alcanzó el mejor diámetro promedio con 7,1 mm, seguido por los tratamientos T0 (100% lámina de riego, sin plástico) y T2 (75% lámina de riego, con plástico) que no mostraron diferencias significativas entre sí con 6.3 y 6.1 mm respectivamente. El T3 (50% lámina de riego, con plástico) obtuvo un diámetro promedio de 5,0 mm, estadísticamente menor a los otros tres tratamientos y con una reducción de 29.58 por ciento con respecto al valor más alto.

El diámetro de tallo es una característica importante en las plantas de quinua. A mayor diámetro, las plantas son más resistentes a la caída y 'acame' ocasionados por el viento o el peso de las panojas. Plantas con mayor diámetro reducen o eliminan la necesidad de realizar aporques, repercutiendo en la rentabilidad final del cultivo.

b) Longitud de panoja a la cosecha

Según el Cuadro 11, el análisis de variancia para longitud de panoja, muestra que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 13), se observó que los tratamientos: T1 (100% lámina de riego, con plástico), T0 (100% lámina de riego, sin plástico) y T2 (75% lámina de riego, con plástico) con longitudes promedio de 27,09 cm, 26,183 cm y 26,167 cm difieren estadísticamente del tratamiento T3 (50% lámina de riego, con plástico) que obtuvo la menor longitud promedio con 19,167 cm, menor en 29,2 % (7.923 cm) al mejor tratamiento (100% de lámina neta, con plástico).

Estos resultados se parecen al hallado por Kamisato (2004) que experimentando con dos niveles de riego en Kiwicha, encontró que la longitud de la panoja es afectada por el

estrés hídrico, siendo las panojas más alargadas a mayor nivel de riego. Apaza (1995) agrega que esta respuesta también está influenciada por el distanciamiento entre surcos y por la dosis de fertilización. Lo anterior fue corroborado por Barnett (2005) que con un riego total de 5231 m³/ha, 120 kg N/ha y 25 plantas/m² encontró, en la variedad La Molina 89, una longitud de panoja de 62,7 cm.

c) Diámetro de panoja a la cosecha

El análisis de variancia para diámetro de panoja, indica que no existen diferencias entre los tratamientos (Cuadro 11). La prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 12), muestra que los diámetros fluctúan entre 4,83 cm y 3,45 cm, obtenidos con los tratamientos T1 (100% de lámina neta, con plástico) y T3 (50% de lámina neta con plástico) respectivamente. Entre ellos hay una diferencia de 1,38 cm (28%).

Con un coeficiente de variabilidad de 11,035 por ciento el diámetro promedio para el experimento fue de 4,235 cm. Estos resultados son menores a los 7 - 8 cm que caracteriza a la var. 'La Molina 89' según Tapia (2003).

CUADRO 11: Cuadrados medios y análisis de variancia para variables morfológicas en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad

FV	G.L.	diámetro de tallo (mm)	Longitud de panoja (cm)	Diámetro de panoja (cm)
REP.	2	0,37 n.s	3,96 n.s	0.005 n.s.
TRAT.	3	2,25*	40,67**	0.988 n.s.
ERROR	6	0,37	3,56	0.218
TOTAL	11			
Promedio		6,13	24,65	4.235
CV (%)		10,02	7,60	11.035

n.s.: No significativo

**($\alpha \leq 0.01$) Altamente significativo

*($\alpha \leq 0.05$) Significativo

FUENTE: Elaboración propia (2014)

CUADRO 12: Prueba de comparación de medias de Tukey para variables morfológicas en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad

Tratamiento	diámetro de tallo (mm)	Longitud de panoja (cm)	Diámetro de panoja (cm)
T0 (100% LR sin plástico)	6.3 ab	26.183 a	4.36 ab
T1 (100% LR con plástico)	7.1 a	27.09 a	4.83 a
T2 (75% LR con plástico)	6.1 ab	26.167 a	4.39 ab
T3 (50% LR con plástico)	5.0 b	19.167 b	3.45 b

Medias con letras distintas en las columnas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

4.2 CARACTERES AGRONÓMICOS

4.2.1 ALTURA DE PLANTA

El análisis de variancia para la variable altura de planta, según el Cuadro 13, muestra que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 14), se encontró un rango de altura de 78,7 a 100,9 cm; correspondiendo el valor más bajo al T3 (50% lámina de riego, con plástico) y el más alto al tratamiento T1 (100% lámina de riego, con plástico); la diferencia entre estos tratamientos fue de 22,23 cm que equivale a una reducción del 22 por ciento del menor respecto al mayor.

Con un coeficiente de variabilidad de 1,987 por ciento, el promedio global de altura de planta para el experimento fue de 91,66 cm, valor comparativamente menor a los resultados obtenidos por Barnett (2005), Apaza (1995) y Echegaray (2003) que en condiciones de costa central con la variedad ‘*La Molina 89*’ encontraron alturas de 165 cm, 130 cm y 109 cm respectivamente. Sin embargo, los dos primeros utilizaron niveles de fertilización de 120 kg/N/ha y el último 80 kg/N/ha. Apaza (2005) menciona que la var. ‘*La Molina 89*’ no es muy alta, sin embargo observó que incrementos en la dosis de

fertilización influyen positivamente en la altura, contrario a la densidad, que a mayor número de plantas la variedad redujo su tamaño.

Según lo anterior, se observa que menores volúmenes de riego limitan el crecimiento y disminuyen la altura final de la planta. Sin embargo, estos efectos podrían ser más intensos en condiciones de alta densidad y baja fertilización; como los desarrollados en este experimento.

4.2.2 RENDIMIENTO (kg/ha):

El análisis de variancia para la variable rendimiento en kg/ha, muestra diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 13). Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 14), se encontró que los mejores tratamientos fueron T1 (100% lámina de riego, con plástico), T0 (100% lámina de riego, sin plástico) y T2 (75% lámina de riego, con plástico) con rendimientos promedio de 3 333 kg/ha, 3 163 kg/ha y 3 039 kg/ha; respectivamente. No existe diferencia significativa entre estos tres tratamientos, sin embargo, se observa una ligera superioridad del tratamiento T1.

El T3 (50% lámina de riego con plástico) fue el tratamiento que obtuvo el menor rendimiento promedio con 2 324 kg/ha. Este rendimiento es menor en 30 por ciento (1 008.5 kg/ha) respecto al T1 (100% lámina de riego, con plástico).

En el tratamiento de menor rendimiento, la reducción de la lámina de riego al 50 por ciento durante todo el ciclo productivo, es posible que haya generado una situación de permanente limitación hídrica. Esta situación de estrés hídrico ha tenido un efecto más marcado durante las etapas fenológicas de floración y grano lechoso. Las figuras 7 y 8 muestran una clara reducción en el crecimiento entre estos estadios. Lo anterior está en concordancia con las investigaciones realizadas por Apaza, (1995); Kamisato (2004); Geertz, (2008); Bertero et al. (2008) y Hirich et al. (2012) quienes han demostrado bajo diferentes condiciones edafoclimáticas y tecnológicas que los estadios más sensibles al estrés hídrico y que tienen un marcado efecto negativo en la producción final son las etapas fenológicas de floración y grano lechoso.

Con un coeficiente de variabilidad de 8,884 por ciento, el rendimiento promedio general de todo el experimento fue de 2 965 kg/ha. Resultado similar al hallado por Apaza (1995) que, en un ensayo de densidades, fertilización y riego por gravedad, en condiciones de La Molina, con la variedad '*La Molina 89*' encontró un rendimiento promedio de 2 741 kg/ha. Rendimientos más altos con la misma variedad fueron hallados por Barnett (2005) y Huamancusi (2012) de 6 324,3 kg/ha y 4 813 kg/ha respectivamente, quienes utilizaron mayores volúmenes de riego, fertilización más alta y menor densidad de plantas.

4.2.3 DÍAS A LA FLORACIÓN

El análisis de variancia para la variable respuesta días a la floración no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 13). Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 14), no se encontró diferencias entre los tratamientos T1 (100% lámina de riego, con plástico), T0 (100% lámina de riego, sin plástico), T2 (75% de lámina de riego, con plástico) y T3 (50% lámina de riego, con plástico) que llegaron al estadio de floración a los 48, 48, 47,7 y 46,7 días después de la siembra, respectivamente. Esto es alrededor de los 27,5 días después de iniciados los tratamientos, acumulando, un total de cinco riegos diferenciados. Este periodo de tiempo, aparentemente, no fue suficiente para generar un efecto significativo en la respuesta de esta variable a causa de los tratamientos. El resultado es muy parecido al encontrado por Mercedes (2005) que realizó un experimento con riego normal y estrés hídrico en cuatro variedades de quinua y encontró estadios fenológicos similares en los dos tratamientos y en todas las variedades evaluadas.

Lo resultados concuerdan con Geertz (2008) quien sostiene que el estrés hídrico después de la emergencia desde el estadio de seis hojas hasta 12 hojas no tiene efectos en la fenología y el crecimiento de la quinua.

4.2.4 DÍAS A LA MADUREZ

El análisis de variancia para la variable días a la madurez presenta diferencias significativas para los tratamientos. El promedio global fue de 106,9 días a la madurez, con un coeficiente de variabilidad de 1,034; tal como lo indica el Cuadro 13.

La prueba de comparación de medias de Tukey a una probabilidad de $\alpha = 0,05$ (Cuadro 14) indica que el tratamiento en llegar más rápido a la madurez del grano, con 105 días, fue el T3 (50% lámina de riego, con plástico), seguido por los tratamientos T2 (75% lámina de riego, con plástico) y T0 (100% lámina de riego, sin plástico) con 106.33 días y 107.67 días respectivamente. El último en llegar la madurez fue el T1 (100% lámina de riego con plástico) a los 108.67 días. La diferencia entre el primer tratamiento (T3) y el último (T1) en llegar a la madurez fue de 3.67 días.

Los resultados muestran que a mayores limitaciones hídricas, los días a la madurez de grano se acortan, esto podría ser una respuesta del cultivo (*'strain'*) al estrés hídrico, dado que las plantas sometidas a condiciones de estrés envejecen más pronto por la producción temprana de ácido absicico. (Pizarro, 1996; Kamisato, 2004; Olalla, 2005).

4.2.5 ÍNDICE DE COSECHA

Según el análisis de variancia para índice de cosecha, no se halló diferencias estadísticas entre los tratamientos (Cuadro 13). Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 14), tampoco se encontró diferencias entre los tratamientos T0 (100% de lámina de riego, sin plástico), T1 (100% de lámina de riego, con plástico), T2 (75% de lámina de riego, con plástico) y T3 (50% de lámina de riego, con plástico) que alcanzaron valores de índice de cosecha de 0,46; 0,47; 0,45 y 0,45 por ciento; respectivamente.

Con un coeficiente de variabilidad de 9,52 por ciento, el promedio global del índice de cosecha para todos los tratamientos fue de 0,459; valor dentro del rango propuesto por Canahua et al. (2001) quien indica que el índice de cosecha promedio para quinua es de 0,3; con una variación de 0,21 a 0,45 dependiendo de las variedades.

Para la variedad *'La Molina 89'*, Estos resultados son superiores a los hallados por Huamancusi, (2012), Barnett (2005) y Apaza (2005); quienes encontraron índices de cosecha de 0.35, 0.32 y 0.276 respectivamente.

CUADRO 13: Cuadros medios y análisis de variancia para caracteres agronómicos en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad

FV	G.L.	Altura de planta (cm)	Floración (días)	Madurez de grano (días)	Rendimiento de grano (kg/ha)	Índice de cosecha (%)
REP.	2	105,498**	0,250	2,333	975601,976**	0,0002
TRAT.	3	270,698**	1,222	7,639*	590254,978*	0,0003
ERROR	6	3,319	1,139	1,220	69,391,000	0,0019
TOTAL	11					
Promedio		91,664	47,500	106,917	2,965,200	0,4590
CV (%)		1,988	2,247	1,034	8,884	95,208

n.s.: No significativo

**($\alpha \leq 0.01$) Altamente significativo

*($\alpha \leq 0.05$) Significativo

FUENTE: Elaboración propia (2014)

CUADRO 14: Prueba de comparación de medias de Tukey para caracteres agronómicos en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Floración (días)	Madurez de grano (días)	Rendimiento de grano (kg/ha)	Índice de cosecha (%)
T0 (100% LR sin plástico)	95,73 b	48,00 a	107,67 ab	3163,9 a	0,460 a
T1 (100% LR con plástico)	100,89 a	48,00 a	108,67 a	3333,3 a	0,473 a
T2 (75% LR con plástico)	91,37 c	47,67 a	106,33 ab	3039,8 ab	0,453 a
T3 (50% LR con plástico)	78,67 d	46,67 a	105,00 b	2324,8 b	0,450 a

Medias con letras distintas en las columnas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

FUENTE: Elaboración propia (2014)

4.3 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

La mayoría de autores consideran que los componentes del rendimiento de quinua son: el número de panojas-plantas por m lineal o m², el número de granos por panoja y el peso de mil granos.

4.3.1 NÚMERO DE PLANTAS POR m²

El análisis de variancia para número de plantas por m² que se presenta en el Cuadro 15, el cual muestra que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variabilidad para el experimento fue de 2,5 por ciento. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 16), no se encontró diferencias entre los tratamientos T0 (100% lámina de riego, sin plástico), T1 (100% lámina de riego, con plástico), T2 (75% lámina de riego, con plástico) y T3 (50% lámina de riego, con plástico) que alcanzaron valores de 45.96, 44.11, 44.26 y 45.47 plantas por m²; respectivamente.

Los resultados indican que pese a tener una elevada densidad en todo el experimento, este valor fue homogéneo en todos los tratamientos y su repercusión en otras variables evaluadas, también ha sido similar para todas las unidades experimentales.

El promedio global del experimento fue de 44,95 plantas/m² que da un total de 449 950 plantas/ha, densidad muy superior al utilizado por Apaza (1995) de 133 528 plantas/ha.

4.3.2 NÚMERO DE GRANOS POR PANOJA

Al realizar el análisis de variancia para la variable número de granos por panoja (Cuadro 15), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Con un coeficiente de variabilidad de 26,79 por ciento, el promedio global fue de 3 028,9 granos/panoja.

La prueba de comparación de medias de Tukey a un nivel de significación de $\alpha = 0,05$ (Cuadro 16) muestra para este experimento, que los resultados variaron de 4 151,9 a 1 507,3 granos/panoja, alcanzados por los tratamientos T1 (100% lámina de riego, con plástico) y T3 (50% lámina de riego, con plástico) respectivamente.

Se observa que el T1, pese a tener la misma lámina de riego que el testigo, tiene una respuesta superior, posiblemente por efecto del plástico que brinda mayor localización de la humedad y retención en la zona radicular. Un resultado similar podría obtenerse con riegos por goteo suministrados a una menor frecuencia, manteniendo el nivel de humedad siempre cercano a capacidad de campo (menor agotamiento).

4.3.3 PESO DE MIL GRANOS (g)

Según el ANVA presentado en el cuadro 15, no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 16) no se encontró diferencias entre los tratamientos T0 (100% lámina de riego, sin plástico), T1 (100% lámina de riego, con plástico), T2 (75% lámina de riego, con plástico) y T3 (50% lámina de riego, con plástico) que alcanzaron valores de 2,8; 2,91; 2,99 y 2,87 g respectivamente.

El promedio global para peso de mil granos fue de 2,885 g; valor dentro del rango propuesto por Mujica et al. (2001) quien menciona que este varía de 1,93 a 3,35 g/1000 granos, pero superior al hallado por Barnett (2005), que en la variedad 'La Molina 89' encontró un peso de 1,98 gr/1000 granos.

El peso de mil granos está relacionado también con la calidad del grano. A mayores pesos, el tamaño de los mismos también debería incrementarse.

CUADRO 15: Cuadros medios y análisis de variancia para componentes de rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina

FV	G.L.	Nº plantas por m lineal	Nº granos por panoja	Peso de 1000 granos (gr)
REP.	2	81,81**	189343.72 n.s.	0.030 n.s.
TRAT.	3	2,48 n.s.	3833931.86*	0.019 n.s.
ERROR	6	1,27	658177.86	0.351
TOTAL	11			
Promedio		44,96	3028.10	2.893
CV (%)		2,51	26.79	6.479

n.s.: No significativo

**($\alpha \leq 0.01$) Altamente significativo

*($\alpha \leq 0.05$) Significativo

FUENTE: Elaboración propia (2014)

CUADRO 16: Prueba de comparación de medias para componentes de rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina

Tratamiento	Nº plantas por m ²	Nº granos por panoja	Peso de 1000 granos (gr)
T0 (100% LR sin plástico)	45,96 a	3527,1 ab	2,80 a
T1 (100% LR con plástico)	44,11 a	4151,9 a	2,91 a
T2 (75% LR con plástico)	44,26 a	2925,6 ab	2,99 a
T3 (50% LR con plástico)	45,47 a	1507,8 b	2,87 a

Medias con letras distintas en las columnas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

FUENTE: Elaboración propia (2014)

4.4 COMPONENTES DE CALIDAD

El Cuadro 17 es el resumen del análisis de variancia para todas las variables de calidad evaluadas. Los resultados muestran que no existen diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna de las variables en estudio.

4.4.1 GRANULOMETRÍA

Si bien el diámetro promedio permite visualizar la calidad del grano, es más adecuado evaluar la granulometría y ver el efecto particular de un tratamiento en la proporción de los distintos tamaños de grano en una misma panoja.

Según lo evaluado para la línea mutante '*La Molina 89-77*', la mayor proporción de sus granos en este experimento, están comprendidos entre 1,7 y 1,4 mm de diámetro. El Cuadro 18 muestra para todo el experimento, las siguientes proporciones promedio: 1,35 por ciento de granos de 2,0 mm, 55,63 por ciento de granos de 1,7 mm, 34,92 por ciento de granos de 1,4 mm y 7,99 por ciento de granos menores a 1,4 mm.

Según la norma técnica peruana (NTP 205.062, 2009) que puede ser revisada en el Anexo 6, La línea mutante '*La Molina 89-77*' tendría mayor proporción de granos grandes a medianos. A pesar de no existir diferencias significativas, se observa que el tratamiento con mayores limitaciones hídricas (T3), redujo el número de granos grandes e incrementó el número de granos medianos. En este experimento, las limitaciones hídricas durante el periodo crítico de llenado de grano repercutieron en menores diámetros de grano tal como se aprecia en la Figura 9.

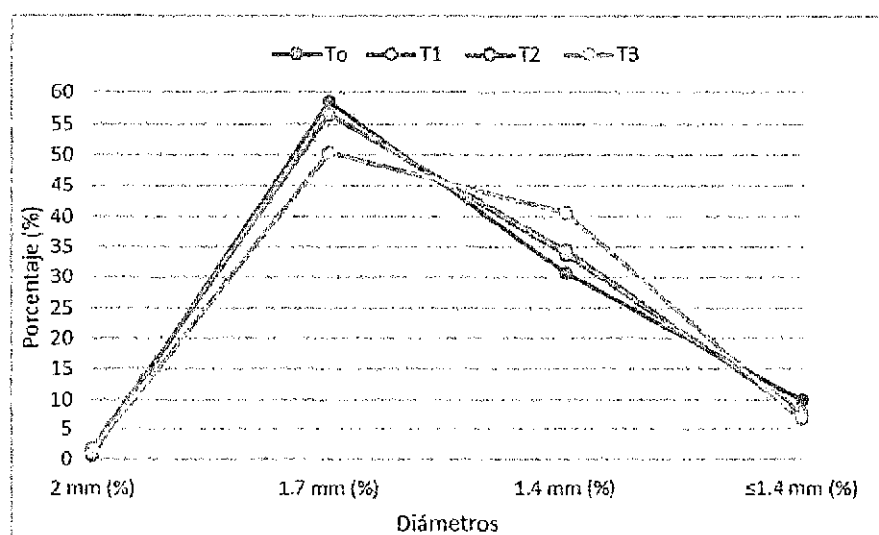


Figura 9: Proporción de diámetros de grano en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad (FUENTE: Elaboración propia, 2014)

4.4.2 PORCENTAJE DE PROTEÍNAS DEL GRANO (%)

Al realizar el análisis de variancia para la variable porcentaje de proteínas (Cuadro 17) no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, resultado corroborado por la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0,05$ (Cuadro 18). El porcentaje de proteínas promedio para el experimento fue de 14,66 por ciento, con un coeficiente de variabilidad de 11,48 por ciento.

En el Cuadro 18 se observa que a nivel de promedios los tratamientos con mayores regímenes de riego: T1 (100% de lámina de riego con plástico) y Testigo (100% de lámina de riego sin plástico) tienen mejor respuesta en el contenidos de proteína (15,37 y 15,30 por ciento respectivamente), conforme se reducen las láminas de riego al 75 y 50 por ciento, el contenido de proteína también tiende a decrecer a 14,86 y 13,11 por ciento respectivamente.

Este resultado podría estar relacionado a la mayor permanencia de hojas verdes debido al ligero retraso del secado de la planta en los tratamientos con mayores regímenes de riego (ver resultados de días a maduración) que propició mayor tiempo para la translocación de nitrógeno hacia los granos. Asimismo, Cleland (1967), Citado por Kamisato (2004) sostiene que en condiciones de estrés hídrico, la síntesis de proteínas y la pared celular son los procesos más afectados después del crecimiento.

4.4.3 PORCENTAJE DE SAPONINAS (%)

Al realizar el análisis de variancia para la variable porcentaje de saponinas en el grano se encontró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. El porcentaje promedio para la línea mutante '*La Molina 89-77*' en el experimento es de 1,376 por ciento.

Asimismo, no se aprecia un patrón definido en la respuesta de esta variable a causa de los tratamientos. Posiblemente el estrés hídrico no tenga influencia en el contenido de saponinas en los granos de quinua.

4.4.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)

Según el análisis de variancia, no se encontró diferencias estadísticas significativas para el porcentaje de humedad en grano. Estos resultados reflejan que el nivel de humedad ha sido uniforme para todos los tratamientos y ha influenciado de manera similar en las otras variables evaluadas en el experimento.

Según el Cuadro 17, el contenido promedio de humedad en el grano fue de 11,26 por ciento, con un coeficiente de variabilidad de 1,29 por ciento. El contenido de humedad ha sido adecuado para las evaluaciones, dado que a nivel comercial, el contenido de humedad aceptado es de 12 por ciento.

CUADRO 17: Cuadrados medios y análisis de variancia para componentes de calidad en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad

FV	G.L.	Granos de 2 mm (%)	Granos de 1.7 mm (%)	Granos de 1.4 mm (%)	Granos ≤ 1.4 mm (%)	Proteína (%)	Saponina (%)	Humedad (%)
REP.	2	1,57 n.s.	116,59*	114,80*	1,15 n.s.	7,33 n.s.	0,046*	0,078 n.s.
TRAT.	3	0,57 n.s.	37,22 n.s.	51,69 n.s.	5,38 n.s.	3,37 n.s.	0,009 n.s.	0,034 n.s.
ERROR	6	0,36	21,70	19,44	4,40	2,83	0,009	0,021
TOTAL	11							
Promedio		1,35	55,63	34,92	7,99	14,66	1,376	11,260
CV (%)		42,69	8,37	12,62	26,25	11,48	6,706	1,290

n.s.: No significativo

**($\alpha \leq 0.01$) Altamente significativo

*($\alpha \leq 0.05$) Significativo

FUENTE: Elaboración propia (2014)

CUADRO 18: Promedios por tratamiento para componentes de calidad en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego por goteo con membrana de retención de humedad

Tratamiento	Granulometría				Proteína (%)	Saponina (%)	Humedad (%)
	2 mm (%)	1.7 mm (%)	1.4 mm (%)	≤ 1.4 mm (%)			
T0 (100% LR sin plástico)	0,79 a	58,72 a	30,68 b	9,80 a	15,30 a	1,45 a	11163 a
T1 (100% LR con plástico)	1,42 a	1,00 a	33,83 ab	8,05 a	15,37 a	1,34 a	11287 a
T2 (75% LR con plástico)	1,86 a	56,54 a	34,57 ab	7,48 a	14,86 a	1,38 a	11203 a
T3 (50% LR con plástico)	1,35 a	50,56 a	40,61 a	6,64 a	13,11 a	1,33 a	11403 a

Medias con letras distintas en las columnas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

FUENTE: Elaboración propia (2014)

OBJETIVO 2: determinación del efecto de tres regímenes de riego en la eficiencia del uso de agua en rendimiento y la rentabilidad final del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante “La Molina 89-77” en condiciones de La Molina.

4.5 CONSUMO DE AGUA POR CAMPAÑA (m³)

En base al registro del caudalímetro para 122 días de riego, los volúmenes totales de agua utilizados fueron: 3235 m³/ha, 2470 m³/ha y 1623 m³/ha para los tratamientos con el 100%, 75% y 50% de la lámina de riego, respectivamente. En el Cuadro 19 se especifica el gasto por etapa fenológica y por tratamiento.

Los bajos volúmenes de agua empleados en este experimento respondieron a la necesidad de evaluar la tolerancia a la sequía de la línea mutante ‘La Molina 89-77’. Los volúmenes aplicados fueron similares a los manejados por Mercedes (2005) quien evaluó el efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades de quinua con riego por goteo, manejando en riego normal 2924 m³/ha y 1539,5 m³/ha en estrés hídrico.

Un riego óptimo es aquel que integra el sistema agua-suelo-cultivo, suministrando al cultivo la cantidad de agua necesaria en el momento oportuno para compensar los requerimientos hídricos del cultivo. Según lo anterior, si los objetivos fueran alcanzar el mayor potencial agronómico, la metodología y los criterios empleados en este experimento para el cálculo de las necesidades hídricas no serían las más adecuadas, porque estuvieron enfocados a generar déficit de riego. Utilizando la ETo adecuada, el Kc correcto y en condiciones de suelo sin restricciones de profundidad, los volúmenes totales óptimos para el cultivo en riego por goteo están entre 4000 y 5000 m³/ha, en concordancia con las investigaciones realizadas por Barnett (2005) y Huamancusi (2012) quienes en experimentos con quinua var. ‘La Molina 89’ con riego por goteo utilizaron volúmenes totales de 5231.8 m³/ha y 3940 m³/ha, logrando mejores respuestas en comparación a la halladas en este experimento, principalmente en rendimiento.

CUADRO 19: Volumen de agua (m³) registrado con el caudalímetro por etapa fenológica en el experimento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina.

Etapas	Duración fenología	Días con riego	Nº de riegos	Volúmenes totales de agua aplicados		
				100% Lámina de riego (T1 y T0)	75% Lámina de riego (T2)	50% Lámina de riego (T3)
Inicial	30 días	30 días	7	467 m ³	357 m ³	235 m ³
Desarrollo	40 días	40 días	7	852 m ³	651 m ³	427 m ³
Media	40 días	40 días	7	1114 m ³	850 m ³	559 m ³
Final	25 días	12 días	3	505 m ³	379 m ³	253 m ³
*Lámina total	135 días	122 días	24	3 235 m³	2 470 m³	1 623 m³
Lámina neta	135 días	122 días	24	2750 m³	2100 m³	1380 m³

* Eficiencia del sistema de riego: 85%

Fuente: Elaboración propia (2014).

CUADRO 20: Valores promedios de caracteres morfológicos agronómicos, componentes de rendimiento y de calidad en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 - 77’ bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina.

	100% LR		75% LR	50% LR
	Sin plástico (T0)	Con plástico (T1)	Con plástico (T2)	Con plástico (T3)
CARACTERES MORFOLÓGICOS				
Diámetro de tallo en cosecha(mm)*:	6,30 ab	7,10 a	6,10 ab	5,00 b
Long. de panoja en cosecha (cm)**:	26,18 a	27,09 a	26,17 a	19,17 b
Diámetro de panoja en cosecha (cm):	4,36 a	4,83 a	4,39 ab	3,45 b
CARACTERES AGRONÓMICOS				
Rendimiento(kg/ha)*:	3 163,9 a	3 333,3 a	3 039,8 ab	2 324,8 b
Altura de planta en cosecha (cm)**:	95,73 b	100,89 a	91,37 c	78,67 d
Días a la floración (días):	48,0 a	48,0 a	47,7 a	46,7 a
Días a la madurez (días)*:	107,7 ab	108,7 a	106,3 ab	105,0 b
Índice de cosecha (días):	0,46 a	0,47 a	0,45 a	0,45 a
Gasto total de agua/campaña (m ³ /ha):	3 235	3 235	2 470	1 623
Eficiencia de uso de agua (kg/m ³)*:	1,2 b	1,2 b	1,5 ab	1,7 a
COMP. DE RENDIMIENTO				
Número de plantas por m ² :	45,9 a	44,1 a	44,3 a	45,5 a
peso granos/panoja (gr/panoja):	9,9 b	12,2 a	8,8 b	4,4 b
Número de granos por panoja*:	3 527,1 ab	4 151,9 a	2 925,6 ab	1 507,8 b
CARACTERES DE CALIDAD				
Peso de 1000 granos (gr):	2,80 a	2,91 a	2,99 a	2,87 a
Porcentaje de granos 2 mm (%):	0,80 a	1,42 a	1,86 a	1,35 a
Porcentaje de granos 1,7 mm (%):	58,72 a	56,71 a	56,54 a	50,56 a
Porcentaje de granos 1,4 mm (%):	30,68 b	33,83 ab	34,57 ab	40,61 a
Porcentaje de granos <1,4 mm (%):	9,80 a	8,05 a	7,48 a	6,64 a
Porcentaje de proteínas (%):	15,30 a	15,37 a	14,86 a	13,11 a
Porcentaje de saponinas (%):	1,45 a	1,34 a	1,38 a	1,33 a
Porcentaje de humedad (%):	11,16 a	11,29 a	11,20 a	11,40 a
RENTABILIDAD DEL CULTIVO				
Índice de rentabilidad	63%	52%	40%	5%

FUENTE: Elaboración propia (2014)

4.6 EFICIENCIA DE USO DE AGUA (EUA) EN RENDIMIENTO

El análisis de variancia para eficiencia de uso de agua en rendimiento (kg/m^3) indica que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. El promedio global fue de $1,375 \text{ kg}/\text{m}^3$, con un coeficiente de variabilidad de 8,117 por ciento, según lo indica el Cuadro 21. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a una probabilidad de $\alpha = 0,05$ (Cuadro 22), se aprecia que:

- i) A menores regímenes de riego, se incrementan los valores de EUA en rendimiento. Con los Tratamientos T0 (100% lámina de riego), T1 (100% lámina de riego con plástico), T2 (75% lámina de riego con plástico) y T3 (50% lámina de riego con plástico) se han obtenido valores de EUA en rendimiento de $1,15 \text{ kg}/\text{m}^3$, $1,21 \text{ kg}/\text{m}^3$, $1,43 \text{ kg}/\text{m}^3$ y $1,68 \text{ kg}/\text{m}^3$. Estos resultados concuerdan con Martín de Santa Olalla *et al.* (2005) quienes señalan que cuando las limitaciones hídricas se dan de forma continua, los cultivos con menor dotación de agua son los que tienen mayores valores de eficiencia de uso de agua, pero también menores rendimientos.
- ii) Para este experimento, los tratamientos T0 (100% lámina neta sin plástico) y T1 (100% lámina neta con plástico) no difieren estadísticamente entre sí, alcanzando los valores más bajos de EUA en rendimiento con $1,15 \text{ kg}/\text{m}^3$ y $1,21 \text{ kg}/\text{m}^3$. Resultados similares a los hallados por Barnett (2005) y Huamancusi (2012) que en experimentos con la variedad 'La Molina 89', conducidos con riego por goteo y en condiciones de La Molina, lograron una EUA en rendimiento de 1,20 a $1,21 \text{ kg}/\text{m}^3$ respectivamente. Los mejores valores en EUA en rendimiento fueron alcanzados por los tratamientos T2 (75% lámina neta con plástico) con $1,43 \text{ kg}/\text{m}^3$ y un valor máximo de $1,68 \text{ kg}/\text{m}^3$ con T3 (50% lámina neta con plástico).
- iii) Estos resultados muestran en forma preliminar, que la línea mutante 'La Molina 89-77' tiene una alta eficiencia de uso de agua en rendimiento, siendo capaz de producir $1,68 \text{ kg}$ de grano por cada m^3 de agua evapotranspirada, aún en condiciones limitantes de baja fertilización y alta competencia intraespecífica; lo que la convertiría en una alternativa importante para zonas donde el recurso hídrico es limitante.

CUADRO 21: Análisis de variancia para Eficiencia de Uso de Agua (kg/m³) en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89-77’ bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina

FV	G.L.	EUA en Rendimiento (kg/m ³)
REP.	2	0,2070**
TRAT.	3	0,1759**
ERROR	6	0,0125
TOTAL	11	
Promedio		1,375
CV (%)		8,117

**($\alpha \leq 0.01$) Altamente significativo

*($\alpha \leq 0.05$) Significativo

n.s.: No significativo

FUENTE: Elaboración propia (2014)

CUADRO 22: Promedios de Eficiencia de Uso de Agua en rendimiento (kg/m³) en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina

Tratamiento	Eficiencia de uso de Agua (kg/m ³)
T0 (100% LR sin plástico)	1,15 b
T1 (100% LR con plástico)	1,21 b
T2 (75% LR con plástico)	1,45 ab
T3 (50% LR con plástico)	1,68 a

Medias con letras distintas en las columnas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

FUENTE: Elaboración propia (2014)

4.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

Según los resultados mostrados en el Cuadro 23, se observa que el sistema de riego por goteo y la instalación del plástico elevan los costos de producción. Todos los tratamientos con plástico tienen un índice de rentabilidad menor al testigo. La rentabilidad se hace más estrecha cuando se incrementan las limitaciones hídricas al cultivo, siendo de solo el 4.8% con el tratamiento con el 50% de la lámina de riego. Según esto, en condiciones de alta inversión, no necesariamente la máxima eficiencia de uso de agua significa eficiencia económica.

CUADRO 23: Resultados promedio del análisis económico para cada tratamiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante ‘La Molina 89 -77’ bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina

	100 % LR*		75% LR	50% LR
	Sin plástico (T0)	Con plástico (T1)	Con plástico (T2)	Con plástico (T3)
Rendimiento (Kg/ha)	3163	3333	3039	2234
Precio de venta unitario (S/.)*	5.5	5.5	5.5	5.5
Valor bruto de la producción (S/.)	17397	18331	16715	12287
Costo total (S/.)	10691	12070	11898	10691
C. Unitario (S./kg)	3,38	3,62	3,92	5,25
Utilidad neta (S/.)	6704	6261	4816	561
Índice de rentabilidad	63%	52%	40%	4.80%

*LR: Lámina de riego

FUENTE: Elaboración propia (2014).

V. CONCLUSIONES

OBJETIVO 1:

- La disminución de los regímenes de riego redujo las variables morfológicas del cultivo; diámetro de tallo y longitud de panoja.

- De igual modo la reducción de los regímenes de riego afectó los caracteres agronómicos. Se reduce la altura de planta, los días a la maduración, el número de granos por panoja y rendimiento de grano.

- Con los tratamientos T0 (100% de lámina neta, sin plástico), T1 (100% de lámina neta, con plástico), T2 (75% de lámina neta, con plástico) y T3 (50% de lámina neta, con plástico) se han utilizado volúmenes totales de riego de 3 235 m³/ha, 3 235 m³/ha, 2 470 m³/ha y 1 623 m³/ha obteniéndose rendimientos de grano de 3 163 kg/ha, 3 333 kg/ha, 3 039 kg/ha y 2 234 kg/ha; respectivamente.

- Los tres regímenes de riego empleados no tienen un efecto significativo en los componentes de calidad del grano.

OBJETIVO 2:

- Los resultados muestran a nivel preliminar que la línea mutante "LM 89-77" tiene una alta eficiencia de uso de agua (EUA) en rendimiento. Con los tratamientos T0 (100% lámina neta sin plástico), T1 (100% lámina neta con plástico), T2 (75% lámina neta con plástico) y T3 (50% lámina neta con plástico), se han obtenido valores de EUA en rendimiento de 1,15 kg/m³; 1,21 kg/m³, 1,43 kg/m³ y 1,68 kg/m³; respectivamente.

- La reducción de los regímenes de riego disminuye de forma gradual la rentabilidad del cultivo siendo cercana a cero con el T3 (50% lámina neta con plástico).

VI. RECOMENDACIONES

- En futuros experimentos, prestar especial cuidado en la metodología empleada para la programación del riego por goteo. Considerar la ETo determinada a partir del tanque evaporímetro, un adecuado coeficiente del cultivo (K_c), mayor profundidad radicular y un criterio de riego que mantenga niveles de humedad en el suelo cercanos a capacidad de campo.

- Comparar el efecto de los regímenes de riego empleados en este experimento entre la línea mutante 'La Molina 89-77' y otras variedades y/o mutantes promisorios para la costa peruana.

- Realizar ensayos con mayores volúmenes de riego, mejores niveles de fertilización y menor densidad de plantas para evaluar el potencial de rendimiento de la línea mutante "La Molina 89-77" en óptimas condiciones de producción.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Allen, RG.; Pereira, L.; Raes, D. & Smith, M. 2006. FAO- Manual N° 56. Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma. 174 p.

Andina, agencia peruana de noticias (2014). Exportación de quinua creció 237% entre enero y marzo del 2014 (en línea). Consultado 06 de ago. 2014. Disponible en: <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-exportacion-quinua-crecio-237-entre-enero-y-marzo-del-2014-507322.aspx#.U4OH0v15NjI>

Apaza Tapia, WA. 1995. Efectos de densidad y niveles de fertilidad en el rendimiento de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en costa central. Tesis Lic. Ing. Agr. Lima, UNALM. 112 p.

Arteaga C., VF. & Hidalgo S., EV. 2013. “Evaluación del efecto de la aplicación de dos abonos orgánicos y un fertilizante químico en dos variedades de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la zona de Canchaguano, Carchi” Tesis Lic. Ing. Agr. Ibarra, EC, Universidad Técnica del Norte. 131 p.

Arteaga Ramírez, R.; Ángeles Montiel, V. & Vásquez Peña, M. 2011. Programa Cropwat para planeación y manejo del recurso hídrico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2(2): 179-195.

Barnett Malpartida, A. 2005. Efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de tres variedades de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo riego por goteo. Tesis Lic. Ing. Agr. Lima, UNALM. 138 p.

Bertero, HD. & Ruiz, RA. 2008. Determination of seed number in sea level quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. European Journal of Agronomy no. 28:186-194

Calera, A. 2005. La evapotranspiración: concepto y metodología de cálculo. En: Martín de Santa Olalla Mañas, F.; López Fuster, P. y Calera Belmonte, A. Agua y Agronomía, cap. III. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. 606 p

Choquecallata, J.; Vacher, J.; Fellmann, T. & Imaña, E. 1991. Evapotranspiración máxima del cultivo de la Quinoa por lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el altiplano boliviano. Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, La Paz, Bolivia, p. 63-67.

Cordero Fernández, AG. 2008. Estadística experimental: Soluciones con los aplicativos SAS, SPSS y Excel en experimentos Zootécnicos y Agronómicos. Lima, UNH. 324 p.

Cruz Guzmán, G. de la; Arraga Frías, A.; Mandujano Piña, M. & Gonzales Moreno, S. 2010. Efecto de la sequía sobre algunas variables hídricas y morfométricas en 5 genotipos de Amaranthus. IDESIA (Chile) 28(3): 87-95 p.

Echegaray Buezo, T. 2003. Evaluación de métodos de cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Bajo condiciones de Costa. Tesis Ing. Agr. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). 105 p.

Estrada Z., R. 2012. Importancia del cultivo de la quinoa hacia el año internacional de la quinoa. En Videoconferencia EL CULTIVO DE LA QUINUA EN EL PERÚ: Manejo Agronómico y Agroexportación. Presentación de ponencia. Cuzco, Perú, INIA. 5 de octubre.

Fischer, S.; Wilkens, R.; Jara, J. & Aranda, M. 2013a. Variation in antioxidant capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) subjected to drought stress. Industrial Crops and Products no. 46: 341-34

Fischer, S.; Wilkens, R.; Jara, J. & Aranda, M. 2013b. Controlled water stress to improve functional and nutritional quality in quinoa seed. Boletín Lationamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 12 (5): 457-468 p.

Geerts, S., Raes, D., García, M., Mendoza, J. & Huanca, R. 2008. Crop water use indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to drought stress. *Field Crops Research* no. 108: 150-156

Geerts S., Raes, D. & Garcia, M. 2010. Using Aqua Crop to derive deficit irrigation schedules. *Agricultural Water Management* no. 98: 213-216

Google maps. (2014). Imagen satelital del área experimental. Disponible en: <https://www.google.com.pe/maps/place/Universidad+Nacional+Agraria+La+Molina/> [última visita: 10/08/14].

Gómez Pando, L. (2010). Guía de prácticas del curso: Cereales menores y granos nativos. 2da parte. Lima, UNALM. 32 p

Huamancusi Morales, JL. 2012. “Efecto de la fertilización nitrogenada y de la modalidad de aplicación de micronutrientes en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis Ing. Agr, Lima, UNALM. 104 p.

Hirich, A.; Choukrallah, R.; Jacobsen SE, El Youssfi, L. & El Homari, H. 2012. Using deficit irrigation with wastewater in the production of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Morocco. *Revista científica UDO Agrícola* 12(3): 570-583

Jacobsen, SE. & Mujica, A. 1999. I curso internacional sobre Fisiología de la resistencia a sequía en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Puno - PE, CIP - Universidad Nacional del Altiplano. 79 p.

Jacobsen, SE & Risi, J. 2001. Distribución geográfica de la quinua fuera de los países andinos. En: Food and Agriculture Organization (FAO), “Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro”, cap. III Versión 1.0. Santiago, Chile. En CD ROM.

Jacobsen, SE.; Jensen CR. & LIU, F. 2012. Improving crop production in the arid Mediterranean climate. *Field Crop Research* no. 128: 34-47

Jara Ramírez, J. & Valenzuela Avilés, A. 1998. Necesidades de agua de los cultivos. Proyecto desarrollo de sistemas de riego en el secano interior y costero. Componente nacional: Capacitación y difusión de tecnologías de riego. Chillan - Chile, Universidad de Concepción – comisión nacional de Riego. Febrero de 1998: 24 pág.

John deere water (s.f). Ficha técnica cinta de goteo RO-DRIP. Disponible en: http://www.deere.com/es_LA/water/media/eBrochures/es/JDW%20RO-DRIP%20data%20sheet%20ANSI.pdf

Kamisato Morinaka, JL. 2004. “Evaluación del efecto de tres niveles de fertilización y dos niveles de riego en el comportamiento de dos variedades de kiwicha (*Amaranthus caudatus L.*), en la costa central. Tesis Mag. Sc. Lima, UNALM. 55 p.

Mamani Yujra, RS. 2007. Partición de Biomasa y evapotranspiración del cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) sometido a estrés hídrico en diferentes etapas de crecimiento. Tesis Ing. Agr. La Paz, Universidad mayor de San Andrés (UMSA). 97 p.

Martino, D. 2001. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. En: Díaz Rosello, R. (2001) Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, PROCISUR. p. 225-256.

Mendoza Soto, VP. 2013. Comparativo de accesiones de Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) En condiciones de costa central. Tesis Ing. Agr. Lima, UNALM. 138 p.

Mercedes Maekawa. WH. 2005. Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). Tesis Mg. Sc. Lima, UNALM. 72 p.

Moya Talens, J. 2009. Riego localizado y fertirrigación. 4ta edición. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 575 p.

Martín de Santa Olalla, F., Ortega, J. y López, R. (2005). Eficiencia de uso de agua En: Martín de Santa Olalla, F., López Fuster, P., & Calera Belmonte, A. (2005). Agua y agronomía, cap. III. Madrid, editorial Mundi-Prensa. 606 p.

Martín Ledesma, F. 2012. Evaluación del efecto de distintos regímenes de riego como estrategia de riego deficitario controlado en tabaco (*Nicotiana glauca* L.) Tesis Mg Sc. En riego y drenaje. Argentina, Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de ciencias agrarias.

Membranas de retención de humedad (2014) Imagen (en línea). Consultado 6 ago. 2014. Disponible en: <http://agbioresearch.msu.edu/uploads/395/39796/SmuckerDiagram.png>

Michigan State University Today (2012). Revolutionary technology aidst hirsty crops During Drought. (En línea). Consultado 6 ago. 2014. Disponible en: <http://www.freerepublic.com/focus/f-chat/2980930/posts>

Mujica, A.; Canahua, A & Saravia, R. 2001^a. Agronomía del cultivo de la Quinua. En: Food and Agriculture Organization (FAO), “Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro”, cap. II Versión 1.0. Santiago, Chile. En CD ROM.

Mujica A.; Izquierdo, J. & Marathe, JP. 2001^b. Origen y descripción de la Quinua. En: Food and Agriculture Organization (FAO), “Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro”, cap. I Versión 1.0, Santiago, Chile. En CD ROM.

Nagaz, K., Masmoundi, MM. & Mechlia, NB. 2012. Impacts of irrigation regimes with saline water on carrot productivity and soil salinity. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. N° 11: 19-27.

Pizarro, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia (RALF): goteo, microaspersión, exudación. 2da. Edición. Madrid. Editorial Mundi-Prensa. 471 p.

Quillatupa Astete, CR. 2009. Caracterización de las fases fenológicas, determinación de unidades de calor y rendimiento de 16 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de la Molina. Tesis Ing. Agr. Lima, UNALM. 158 p.

Razzagui, F., Plauborg, F., Jacobsen SE., Jensen, CR. & Andersen, MN. 2012. Effect to nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management* no. 109:20-29

Tapia, M, 1982. El medio, los cultivos y los sistemas agrícolas de los andes del sur del Perú. Proyecto PISCA IICA/CIID. 79 pp.

Tapia Tadeo, F. 2003. Influencia de dos tecnologías de cultivo en la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en costa. Tesis Mg. Sc. Lima, UNALM. 113.

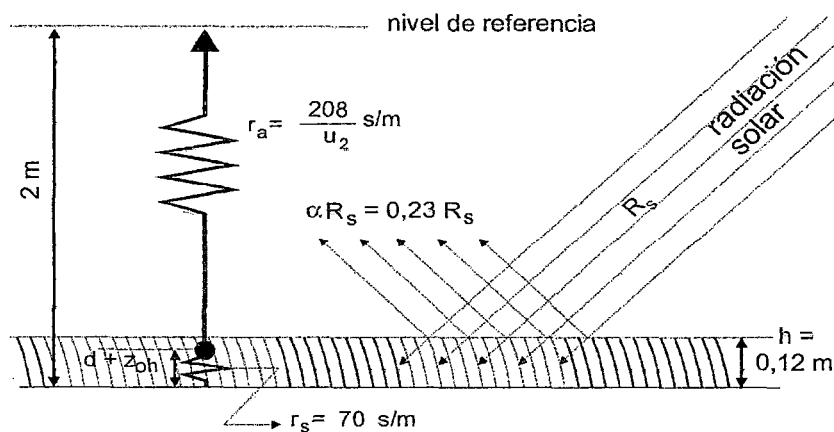
Tyndall Centre for Climate Change Research (2014). Consultado 2 ago. 2014. disponible en: <http://www.tyndall.ac.uk>

Villar, J y Ferrer, F. 2005. Técnicas de medida y control de agua en el suelo. En: Martín de Santa Olalla Mañas, F.; López Fuster, P. y Calera Belmonte, A. *Agua y Agronomía*, cap. III. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. 606 p

Ward, SM. 2000. Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Field crops research* no. 68:157-163

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Características del cultivo de referencia



FUENTE: Allen et al. (2006)

ANEXO 2: Fórmula para el cálculo de la ET_o por el método FAO Penman Monteith

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (6)$$

donde:

ET_o	evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})
R_n	radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
R_s	radiación extraterrestre (mm día^{-1})
G	flujo del calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
T	temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)
u_2	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 ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
γ	constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

FUENTE: Allen et al. (2006)

ANEXO 3: Kc del cultivo de quinua.

Etapa de cultivo	Fase fenológica	Kc
crecimiento	cuatro hojas verdaderas	0.5
	inicio de panojamiento	0.6
	Panojamiento	0.7
Floración	inicio de floración	0.8
	floración o antesis	1
Fructificación	inicio de grano lechoso	1.1
	fin de grano lechoso	1
	grano pastoso	0.7
Madurez y cosecha	Cosecha	0.5

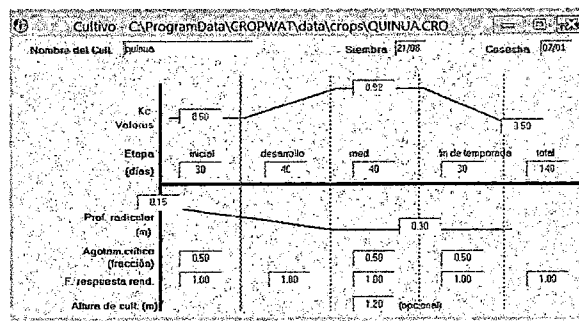
FUENTE: Choquecallata *et al.* (1991)

ANEXO 4: Procedimiento para la programación del riego con el software Cropwat 8.0

1. Ingresar datos climáticos. Ubicar la estación meteorológica más cercana para la estimación de alguna variable climática que falte. Los cuadros en amarillo son lo calculado por el programa.

Clima/ETo	País Perú		Estación Yon Humboldt				
	Altitud 251 m.	Latitud 12.40 S	Longitud 76.56 W				
	Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día
	Enero	27.7	73	173	7.0	21.2	4.44
	Febrero	29.0	72	173	6.8	20.7	4.59
	Marzo	28.8	73	173	6.8	19.9	4.40
	Abril	27.4	74	173	6.7	18.1	3.90
	Mayo	22.9	83	173	4.6	13.5	2.58
	Junio	21.7	84	173	2.1	9.6	2.00
	Julio	19.8	87	173	1.4	9.0	1.73
	Agosto	18.1	89	173	0.9	9.3	1.71
	Septiembre	19.7	87	173	3.2	13.8	2.34
	Octubre	21.2	84	173	4.4	16.6	2.89
	Noviembre	22.9	83	173	6.4	20.1	3.90
	Diciembre	24.8	81	173	5.1	18.1	3.51
	Promedio	23.7	81	173	4.6	15.0	3.14

2. Ingresar información del cultivo.



3. Ingresar información del suelo.

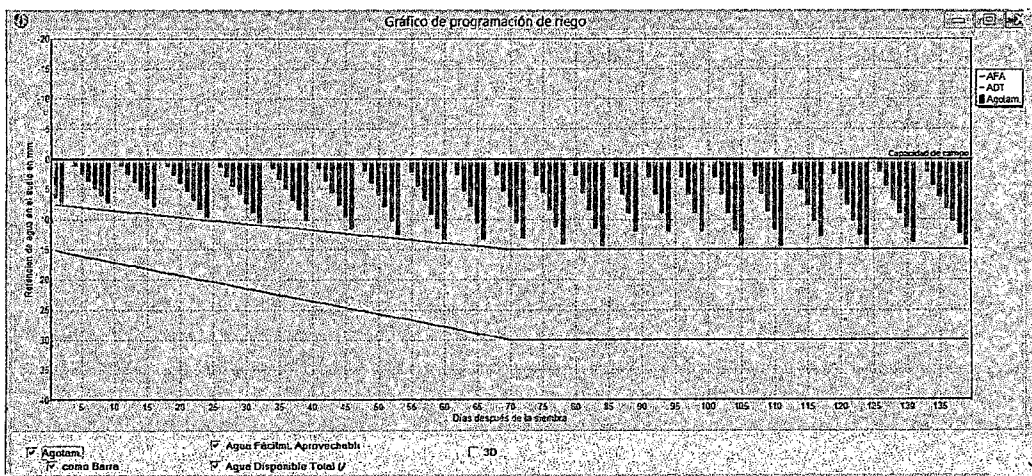
Suelo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\QUINUA.SOI	
Nombre del suelo franco arenoso	
Datos generales de suelo	
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	108.0 mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	60 mm/día
Profundidad radicular máxima	30 centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	20 %
Humedad de suelo inicialmente disponible	86.4 mm/metro

4. El cuadro de programación indica el volumen y la frecuencia de riego. En base al cálculo proporcionado por el programador. Para que los resultados sean óptimos, los datos también deben ser objetivos.

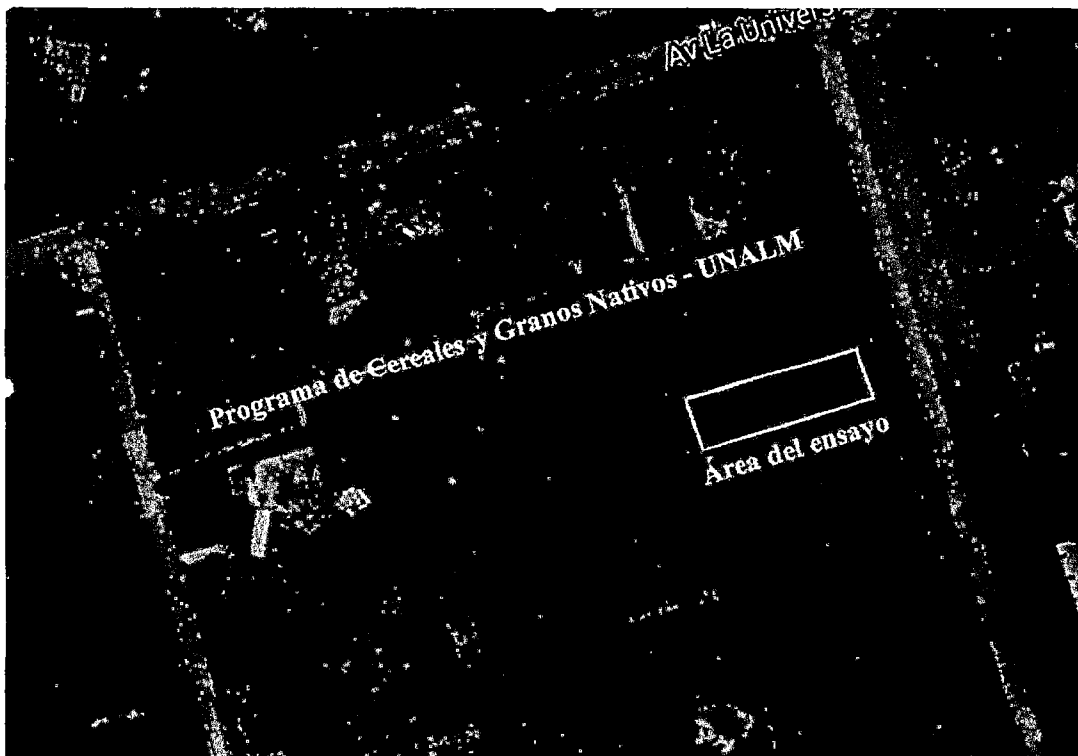
Fecha	Día	Etap	Precipit.	Ks	ETe	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lám.Br.	Caudal
			mm	tracc	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
21 Nov	93	Med	0.0	1.00	100	56	15.1	0.0	0.0	17.8	0.41
26 Nov	98	Med	0.0	1.00	100	56	15.1	0.0	0.0	17.8	0.41
1 Dic	103	Med	0.0	1.00	100	56	15.1	0.0	0.0	17.7	0.41
6 Dic	108	Med	0.0	1.00	100	55	14.9	0.0	0.0	17.4	0.40
11 Dic	113	Fin	0.0	1.00	100	53	14.4	0.0	0.0	17.0	0.39
17 Dic	119	Fin	0.0	1.00	100	56	15.5	0.0	0.0	18.3	0.35
24 Dic	126	Fin	0.0	1.00	100	63	17.0	0.0	0.0	20.0	0.33
31 Dic	133	Fin	0.0	1.00	100	60	16.1	0.0	0.0	19.0	0.31
7 Ene	Fin	Fin	0.0	1.00	0	45					

Totales		Lámina bruta total	341.1	mm	Precipitación total	0.0	mm
		Lámina neta total	293.9	mm	Precipitación Efectiva	0.0	mm
		Pérdida total de riego	0.0	mm	Pérdida tot.prec.	0.0	mm
		Uso real de agua del cultivo	296.6	mm	Def. de hum. en cosecha	12.1	mm
		Uso pot. de agua del cultivo	296.6	mm	Requer. reales de riego	296.6	mm
		Efic. de programación de riego	100.0	%	Efic. de precipitación	%	
		Deficiencia de programación de riego	0.0	%			

5. Visualización gráfica del balance hídrico y la programación de riegos para el cultivo. Las varas en rojo indican la disminución progresiva del nivel de humedad en el suelo.



ANEXO 5: Ubicación del experimento



FUENTE: Google Maps (2014)

ANEXO 6: Norma técnica NTP 205.062 2009/INDECOPI-CNB publicado en julio del 2009 que regula los estándares de calidad de la quinua, tomado de Estrada 2012

Tabla 1: Requisitos bromatológicos de los granos de quinua

Requisitos	Unidad	Valores		Método de ensayo
		Min.	Máx.	
Humedad	%		13.5	AOAC 945.15
Proteínas	%	10		AOAC 992.23
Cenizas	%		3.5	AOAC 945.38
Grasa	%	4		AOAC 945.38-962.39 C
Fibra cruda	%	3		AOAC 945.38-962.09 E
Carbohidratos	%	65		Determinación indirecta por la diferencia de 100 en %
Saponinas	mg/100 g	Ausencia		Método de la espuma

Nota 1: Los valores referidos están expresados en base seca
Nota 2: La unidad en la que se expresa el contenido de saponina es en mg/100g. El valor de 120 mg/100g es equivalente a 0,12 %
Nota 3: Como información al consumidor, lo granos de quinua no contienen gluten

Tabla 2: Requisitos microbiológicos de la quinua

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	C	Límite por g		Método de ensayo
					M	M	
Aerobios mesófilos (EUFC/g)	2	3	5	2	10^4	10^6	AOAC 990.12
Mohos	2	3	5	2	10^3	10^4	AOAC 997.02
Coliformes	5	3	5	2	10^2	10^3	ISO 4831
Bacillus cereus	8	3	5	1	10^2	10^4	AOAC 980.31
Salmonella sp.	10	2	5	0	Ausencia / 25g	AOAC 967.25

Donde:
n = Número de muestras a examinar,
c = Número máximo de muestras permitidas entre m y M,
m = Índice máximo permisible para indicar el nivel de buena calidad
M = Índice máximo permisible para indicar el nivel de calidad aceptable

Tabla 3: Determinación del tamaño de los granos de quinua en función de diámetro promedio

Tamaño de los granos	Diámetro promedio de los granos expresado en mm	Malla
Extra grande	mayor a 2.0	85% retenido en la malla ASTM 10
Grandes	mayor a 1.70 hasta 2.00	85% retenido en la malla ASTM 12
Medianos	mayor a 1.40 hasta 1.69	85% retenido en la malla ASTM 14
Pequeños	menor a 1.40	85% que pasa por la malla ASTM 14

tabla 4: Tolerancia admitidas para la clasificación de los granos de quinua en función a su grado

Parámetros	Unidad	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3	
		Mín	Máx.	Mín	Máx.	Mín	Máx.
Sensoriales							
Granos enteros	%	96		90		86	
Granos quebrados	%		1.5		2		3
Granos dañados	%		1		2.5		3
Granos germinados	%		0.15		0.25		0.3
Granos recubiertos	%		0.25		0.3		0.35
Granos inmaduros	%		0.5		0.7		0.9
Impurezas totales	%		0.25		0.3		0.35
Piedrecillas en 100 g de muestra	U/100g		ausencia		ausencia		ausencia
Granos contrastantes	%		1		2		2.5
Insectos (enteros, partes o larvas)	%		ausencia		ausencia		ausencia

ANEXO 7: Resultados del análisis de suelo después de la cosecha para cada tratamiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante 'La Molina 89 -77' bajo tres regímenes de riego en condiciones de La Molina.

PROPIEDADES QUÍMICAS SUELO		
	pH	CE (dS/m)
Lectura inicial del suelo	7.86	0.79
Lecturas finales por tratamiento		
To (100% lámina de riego sin plástico)	7.50	0.42
T1 (100% lámina de riego con plástico)	7.47	0.47
T2 (75% lámina de riego con plástico)	7.45	0.51
T3 (50% lámina de riego con plástico)	7.50	0.53
Nota: Los resultados mostrados son los promedios de tres repeticiones por unidad experimental. Total de unidades experimentales 12		

FUENTE: Elaboración propia. Resultados obtenidos en el laboratorio de Fertilidad y análisis de suelos. Para la medición se utilizó el equipo multilectura Consort c860 con soluciones de calibración buffer a 4.0 y 7.0 para las mediciones de pH.

ANEXO 8: Fotografías del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante 'La Molina 89-77' bajo tres regímenes de riego por goteo con plástico antipercolante



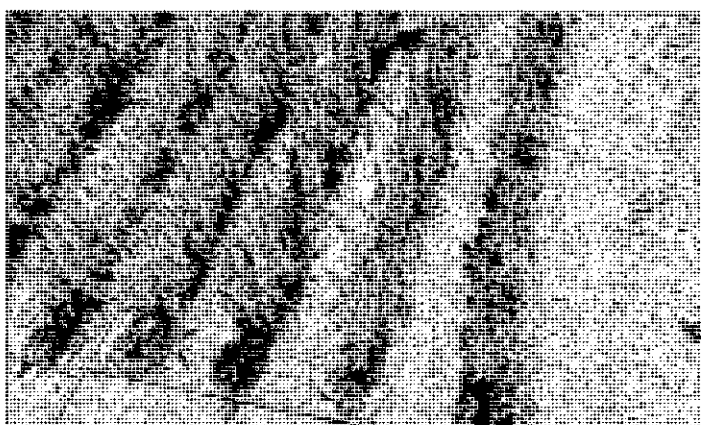
Fotografía 1: Distribución radicular en tratamientos con plástico antipercolante al momento de la cosecha



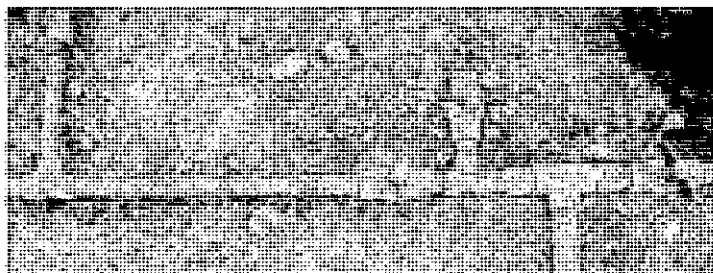
Fotografía 2: Distribución radicular del testigo (sin plástico antipercolante) al momento de la cosecha



Fotografía 3: Campo experimental a los 45 días después de la siembra



Fotografía 4: Campo experimental a los 75 días después de la siembra



Fotografía 5: Detalle de las válvulas de control para cada unidad experimental

ANEXO 9: Análisis estadístico para morfología

1. ALTURA DE PLANTA (cm)

ANOVA ALTURA DE PLANTA													
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia								
REP	2	210.99682	105.4984083	0.0006	**								
TRAT	3	812.09289	270.6976306	<.00001	**								
ERROR	6	19.915783	3.319297										
TOTAL	11	1043.0055											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>R-cuadrado</th> <th>Coef. Var.</th> <th>Raíz MSE</th> <th>media Altura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.980905</td> <td>1.987575</td> <td>1.821894</td> <td>91.66417</td> </tr> </tbody> </table>						R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media Altura	0.980905	1.987575	1.821894	91.66417
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media Altura										
0.980905	1.987575	1.821894	91.66417										
PRUEBA DE TUKEY PARA ALTURA DE PLANTA													
			tratamiento	promedio	Tukey	indice (%)							
Alpha:	0.05		T1	100.89	A	105%							
G.L.E.:	6		To	95.733	B	100%							
E.C.M.:	3.319297		T2	91.367	B	95%							
V.C.S.:	4.8956		T3	78.667	C	82%							
D.S.M.:	5.1495		T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico										
(V.C.S) Valor crítico estudentizado			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico										
(D.S.M.) Diferencia significativa mínima			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico										
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico										

2. DIÁMETRO DE TALLO (mm)

ANOVA DIÁMETRO DE TALLO													
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Signif.								
REP	2	74	37	0.4275	n.s.								
TRAT	3	674.25	224.75	0.0312	*								
ERROR	6	226	37.6666667										
TOTAL	11	974.25											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>R-cuadrado</th> <th>Coef. Var.</th> <th>Raíz MSE</th> <th>Media diámetro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.768027</td> <td>10.02011</td> <td>6.137318</td> <td>61.25</td> </tr> </tbody> </table>						R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media diámetro	0.768027	10.02011	6.137318	61.25
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media diámetro										
0.768027	10.02011	6.137318	61.25										
PRUEBA DE TUKEY PARA DIÁMETRO DE TALLO													
			tratamiento	promedio	Tukey	indice (%)							
Alpha:	0.05		T1	71	A	113%							
G.L.E.:	6		To	63	AB	100%							
E.C.M.:	0.376667		T2	61	AB	97%							
V.C.S.:	4.8956		T3	50	B	79%							
D.S.M.:	1.7347		T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico										
(V.C.S.) Valor crítico estudentizado			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico										
(D.S.M.) Diferencia significativa mínima			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico										
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico										

3. LONGITUD DE PANOJA (cm)

ANOVA LONGITUD DE PANOJA						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	7.9343167	3.9671583	0.3877	n.s.	
TRAT	3	122.015767	40.6719222	0.0068	**	
ERROR	6	21.3602833	3.5600472			
TOTAL	11	151.310367				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media LP			
0.858831	7.653879	1.886809	24.65167			
PRUEBA DE TUKEY PARA LONGITUD DE PANOJA						
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	TUKEY	indice (%)
G.L.E.:	6		T1	27.09	A	103%
E.C.M.:	3.560047		To	26.183	A	100%
V.C.S.:	4.8956		T2	26.167	A	100%
D.S.M.:	5.333		T3	19.167	B	73%
(V.C.S.) Valor crítico estudentizado			T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico			
(D.S.M.) Diferencia significativa mínima			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico			
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico			
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico			

4. DIÁMETRO DE PANOJA (cm)

ANOVA ANCHO DE PANOJA						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	0.0104	0.0052	0.97	n.s.	
TRAT	3	2.9641	0.988003333	0.0553	n.s.	
ERROR	6	1.3104	0.2184			
TOTAL	11	4.2849				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	AP medio			
0.694182	11.03501	0.467333	4.235			
PRUEBA DE TUKEY PARA ANCHO DE PANOJA						
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio		indice (%)
G.L.E.:	6		T1	4.8333	A	111%
E.C.M.:	0.2184		To	4.36	AB	100%
V.C.S.:	4.8956		T2	4.39	AB	101%
D.S.M.:	1.32		T3	3.45	B	79%
V.C.S.: Valor crítico estudentizado			T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico			
D.S.M.: Diferencia significativa mínima			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico			
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico			
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico			

ANEXO 10: Análisis estadístico para caracteres agronómicos

1. DÍAS A LA FLORACIÓN (días)

ANOVA DÍAS A LA FLORACIÓN					
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia
REP	2	0.5	0.25	0.9334	n.s
TRAT	3	3.6666667	1.2222222	0.4547000	n.s
ERROR	6	6.8333333	1.1388889		
TOTAL	11	11			
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media floración		
0.378788	2.24671	1.067187	47.5		
PRUEBA DE TUKEY PARA DÍAS A FLORACIÓN					
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	Tukey
G.L.E.:	6		T2	48	A
E.C.M.:	1.138889		T1	48	A
V.C.S.:	4.8956		T0	47.33	A
D.S.M.:	3.0164		T3	46.6667	A
V.C.S.:	Valor crítico estudentizado		T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico		
D.S.M.:	Diferencia significativa mínima		T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico		
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico		
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico		

2. DÍAS A LA MADUREZ (días)

ANOVA DÍAS A LA MADUREZ					
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia
REP	2	4.6666667	2.33333	0.228	n.s.
TRAT	3	22.916667	7.6388889	0.028	*
ERROR	6	7.333333	1.22		
TOTAL	11	34.916667			
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media madurez		
0.789976	1.034022	1.105542	106.917		
PRUEBA DE TUKEY PARA DÍAS A MADURACIÓN					
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	Tukey
G.L.E.:	6		T1	108.6667	A
E.C.M.:	1.22		To	107.6667	AB
V.C.S.:	4.8956		T2	106.3333	AB
D.S.M.:	3.1248		T3	105	B
V.C.S.:	Valor crítico estudentizado		Leyenda		
D.S.M.:	Diferencia significativa mínima		T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico		
			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico		
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico		
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico		

3. INDICE DE COSECHA (%)

ANOVA INDICE DE COSECHA				
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F
REP	2	0.00046667	0.00023333	0.8872
TRAT	3	0.00095833	0.00031944	0.9147
ERROR	6	0.01146667	0.00191111	
TOTAL	11	0.01289167		

R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media IC
0.110537	9.520782	0.043716	0.459167

PRUEBA DE TUKEY PARA INDICE DE COSECHA								
Alpha:	G.L.E.:	E.C.M.:	V.C.S.:	D.S.M.:	tratamiento	promedio	duncan	indice (%)
0.05	6	0.001911	4.8956	0.1236	T1	0.47333	A	103%
					To	0.46	A	100%
					T2	0.45333	A	99%
					T3	0.45	A	98%

Leyenda	
T1:	100 por ciento de lámina de riego con plástico
T2:	75 por ciento de lámina de riego con plástico
T3:	50 por ciento de lámina de riego con plástico
To:	100 por ciento de lámina de riego sin plástico

4. RENDIMIENTO TOTAL (kg/ha)

ANOVA RENDIMIENTO TOTAL					
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia
REP	2	1951203.951	975601.976	0.0054	**
TRAT	3	1770764.933	590254.978	0.014	*
ERROR	6	416346.479	69391.08		
TOTAL	11	4138315.364			

R-cuadrado	Coef. Variabilidad	Raíz MSE	Media rdto.
0.899392	8.883781	263.4219	2965.2

PRUEBA DE TUKEY PARA RENDIMIENTO TOTAL								
Alpha:	G.L.E.:	E.C.M.:	V.C.S.:	D.S.M.:	tratamiento	promedio	tukey	indice (%)
0.05	6	69391.08	4.8956	744.56	T1	3333.3	A	105%
					To	3162.9	A	100%
					T2	3039.8	AB	96%
					T3	2324.8	B	74%

Leyenda	
T1:	100 por ciento de lámina de riego con plástico
T2:	75 por ciento de lámina de riego con plástico
T3:	50 por ciento de lámina de riego con plástico
To:	100 por ciento de lámina de riego sin plástico

V.C.S.:	Valor crítico estudentizado
D.S.M.:	Diferencia significativa mínima

5. EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN RENDIMIENTO (kg/m³)

ANOVA EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN RENDIMIENTO					
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia
REP	2	0.41405	0.207025	0.0036	**
TRAT	3	0.52979	0.1759667	0.004	**
ERROR	6	0.07475	0.01245833		
TOTAL	11	1.0167			
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media EUA		
0.926478	8.117593	0.111617	1.375		
PRUEBA DE DUNCAN PARA EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN RDTO.					
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	Tukey
G.L.E.:	6		T3	1.68333	A
V.C.S	4.8956		T2	1.45	AB
D.S.M.	0.3155		T1	1.21	B
			To	1.15	B
V.C.S.: Valor crítico estudentizado			T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico		
D.S.M.: Diferencia significativa mínima			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico		
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico		
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico		

ANEXO 11: Análisis estadístico para componentes de rendimiento

1. NÚMERO DE PLANTAS

ANOVA NÚMERO DE PLANTAS						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	163.6274	81.8137	<0.0001	**	
TRAT	3	7.4674	2.482916	0.2217		
ERROR	6	7.6267	1.2711			
TOTAL	11	114.2536				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media n° plantas			
0.9573	2.50807	1.12744	44.952			
PRUEBA DE TUKEY PARA NÚMERO DE PLANTAS						
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	Tukey	indice (%)
G.L.E.:	6		To	45.96	A	100%
E.C.M.:	1.27		T3	45.47	A	99%
V.C.E.:	4.895		T2	44.26	A	96%
D.S.M.	3.1867		T1	44.11	A	96%
V.C.S.: Valor crítico estudentizado			T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico			
D.S.M.: Diferencia significativa mínima			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico			
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico			
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico			

2. PESO DE GRANOS POR PANOJA (g/panoja)

ANOVA PESO DE GRANOS POR PANOJA						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	5.37786667	2.68893333	0.6947	n.s.	
TRAT	3	96.985625	32.3285417	0.0522	n.s.	
ERROR	6	41.6584	6.9430667			
TOTAL	11	144.021892				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media PGP			
0.71075	29.92301	2.63297	8.805833			
PRUEBA DE TUKEY PARA PESO DE GRANOS POR PANOJA						
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	Tukey	indice (%)
G.L.E.:	6		T1	12.173	A	123%
E.C.M.:	6.943067		To	9.937	AB	100%
V.C.S.	4.8956		T2	8.747	AB	88%
D.S.M	7.447		T3	4.367	B	44%
V.C.S.: Valor crítico estudentizado			T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico			
D.S.M.: Diferencia significativa mínima			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico			
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico			
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico			

3. NÚMERO DE GRANOS POR PANOJA

ANOVA NÚMERO DE GRANOS POR PANOJA						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	378687.43	189343.72	0.7598	n.s.	
TRAT	3	11501795	3833931.86	0.0328	*	
ERROR	6	3949067.16	658177.86			
TOTAL	11	15829550.2				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media NGP			
0.750526	26.79181	811.2816	3028.096			
PRUEBA DE TUKEY PARA NÚMERO DE GRANOS POR PANOJA						
Alpha:	0.05		Tratamiento	Promedio	Duncan	Índice (%)
G.L.E.:	6		T1	4151.9	A	118%
E.C.M.:	658177.9		T0	3527.1	AB	100%
V.C.S.:	4.8956		T2	2925.6	AB	83%
D.S.M.	2293.1		T3	1507.8	B	43%
V.C.S.: Valor crítico estudentizado			T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico			
D.S.M.: Diferencia significativa mínima			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico			
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico			
			T0: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico			

ANEXO 12: Análisis estadístico calidad

1. PESO DE 1000 GRANOS (g)

ANOVA PESO DE 1000 GRANOS						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	0.0602	0.0301	0.47	n.s.	
TRAT	3	0.05909167	0.01969722	0.6596	n.s.	
ERROR	6	0.210333	0.03505556			
TOTAL	11	0.329625				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media W1000G			
0.361901	6.47992	0.187231	2.8925			
PRUEBA DE TUKEY PARA PESO DE MIL GRANOS						
Alpha:	0.05		Tratamiento	Promedio	TUKEY	Índice (%)
G.L.E.:	6		T2	2.9933	A	103%
E.C.M.:	0.035056		T1	2.91	A	100%
V.C.S.	4.8956		T3	2.8667	A	99%
D.S.M	0.5292		To	2.8	A	96%
V.C.S.: Valor crítico estudentizado			T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico			
D.S.M.: Diferencia significativa mínima			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico			
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico			
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico			

2. GRANULOMETRÍA:

2.1 Granos de 2 mm (%)

ANOVA GRANOS DE 2.0 mm					
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia
REP	2	3.1562167	1.57810833	0.0593	n.s.
TRAT	3	1.72296667	0.57432222	0.2639	n.s.
ERROR	6	2.01718333	0.33619722		
TOTAL	11	6.89636667			
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media 2 mm		
0.707501	42.68652	0.579825	1.358333		
PRUEBA DE TUKEY PARA GRANOS DE 2.0 mm					
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	duncan
G.L.E.:	6		T2	1.8633	A
E.C.M.:	0.336197		T1	1.42	A
V.C.S.	4.8956		T3	1.3533	A
D.S.M	1.6389		T4	0.7967	A

2.2 Granos de 1.7 mm (%)

ANOVA GRANOS DE 1.7 mm						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	233.19105	116.595525	0.046	*	
TRAT	3	111.663158	37.2210528	0.2626	n.s.	
ERROR	6	130.216017	21.7026694			
TOTAL	11	475.070225				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media 1.7 mm			
0.725902	8.373904	4.658612	55.6325			
PRUEBA DE TUKEY PARA GRANOS DE 1.7 mm						
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	duncan	indice (%)
G.L.E.:	6		T4	58.723	A	100%
E.C.M.:	21.70267		T1	56.707	A	97%
V.C.S.:	4.8956		T2	56.537	A	96%
D.S.M	13.167		T3	50.563	A	86%
V.C.S.: Valor crítico estudentizado			T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico			
D.S.M.: Diferencia significativa mínima			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico			
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico			
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico			

2.3 Granos de 1.4 mm (%)

ANOVA GRANOS DE 1.4 mm						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	229.600117	114.8000583	0.0382	*	
TRAT	3	155.099558	51.6998528	0.1422	n.s.	
ERROR	6	116.653817	19.4423028			
TOTAL	11	501.353492				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media 1.4 mm			
0.767322	12.62668	4.409343	34.92083			
PRUEBA DE TUKEY PARA GRANOS DE 1.4 mm						
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	TUKEY	indice (%)
G.L.E.:	6		T3	40.61	A	132%
E.C.M.:	19.4423		T2	34.57	A	113%
V.C.S.:	4.8956		T1	33.827	A	110%
D.S.M	12.463		T4	30.677	A	100%
V.C.S.: Valor crítico estudentizado			T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico			
D.S.M.: Diferencia significativa mínima			T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico			
			T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico			
			To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico			

43737

2.4 Granos menores de 1.4 mm (%)

ANOVA GRANOS DE <1.4 mm						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	2.30681667	1.15340833	0.7779	n.s.	
TRAT	3	16.1489667	5.38298889	0.38	n.s.	
ERROR	6	26.4139833	4.40233056			
TOTAL	11	44.8697667				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	media <1.4 mm			
0.411319	26.25451	2.098173	7.991667			
PRUEBA DE TUKEY PARA GRANOS DE <1.4 mm						
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	duncan	indice (%)
G.L.E.:	6		T4	9.803	A	100%
E.C.M.:	4.402331		T1	8.047	A	82%
V.C.S.	4.8956		T3	7.48	A	76%
D.S.M	5.9304		T2	6.637	A	68%
V.C.S.: Valor crítico estudentizado	T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico					
D.S.M.: Diferencia significativa mínima	T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico					
	T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico					
	To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico					

3. PORCENTAJE DE PROTEÍNAS (%)

ANOVA PORCENTAJE DE PROTEÍNAS						
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia	
REP	2	14.6522167	7.32610833	0.155	n.s.	
TRAT	3	10.0971	3.3657	0.3907	n.s.	
ERROR	6	17.00545	2.83424167			
TOTAL	11	41.7547667				
R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media proteína			
0.59273	11.48246	1.683521	14.66167			
PRUEBA DE TUKEY PARA PORCENTAJE DE PROTEÍNAS						
Alpha:	0.05		tratamiento	promedio	TUKEY	indice (%)
G.L.E.:	6		T1	15.377	A	101%
E.C.M.:	2.834242		T4	15.3	A	100%
V.C.S.	4.8956		T2	14.856	A	97%
D.S.M	4.7584		T3	13.11	A	86%
V.C.S.: Valor crítico estudentizado	T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico					
D.S.M.: Diferencia significativa mínima	T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico					
	T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico					
	To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico					

4. PORCENTAJE DE SAPONINA (%)

ANOVA PORCENTAJE DE SAPONINAS					
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia
REP	2	0.09251667	0.04625833	0.0451	*
TRAT	3	0.027	0.009	0.4344	n.s.
ERROR	6	0.05115	0.008525		
TOTAL	11	0.17066667			

R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media saponina
0.700293	6.706847	0.092331	1.376667

PRUEBA DE TUKEY PARA PORCENTAJE DE SAPONINAS					
Alpha:	0.05	tratamiento	promedio	duncan	indice (%)
G.L.E.:	6	T4	1.45	A	100%
E.C.M.:	0.02117	T2	1.38667	A	96%
V.C.S.	4.8956	T1	1.34	A	92%
D.S.M	0.261	T3	1.33	A	92%

V.C.S.: Valor crítico estudentizado	T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico
D.S.M.: Diferencia significativa mínima	T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico
	T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico
	To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico

5. PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)

ANOVA PORCENTAJE DE HUMEDAD					
F. V.	G. L.	S. C	C.M	Pr > F	Significancia
REP	2	0.15521667	0.07760833	0.0912	n.s.
TRAT	3	0.101225	0.03374167	0.2867	n.s.
ERROR	6	0.12705	0.021175		
TOTAL	11	0.38349167			

R-cuadrado	Coef. Var.	Raíz MSE	Media humedad
0.668702	1.291852	0.145516	11.26417

PRUEBA DE TUKEY PARA PORCENTAJE DE HUMEDAD					
Alpha:	0.05	Tratamiento	Promedio	Duncan	Indice (%)
G.L.E.:	6	T3	11.4033	A	102%
E.C.M.:	0.021175	T1	11.2867	A	101%
V.C.S.	4.8956	T2	11.2033	A	100%
D.S.M	0.4113	T4	11.1633	A	100%

V.C.S.: Valor crítico estudentizado	T1: 100 por ciento de lámina de riego con plástico
D.S.M.: Diferencia significativa mínima	T2: 75 por ciento de lámina de riego con plástico
	T3: 50 por ciento de lámina de riego con plástico
	To: 100 por ciento de lámina de riego sin plástico

ANEXO 13: Costos de producción

1. Testigo: 100% lámina de riego sin plástico

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE QUINUA						
Cultivo : Quinua			Densidad (Plantas/ha):	450,000		
material vegetal : Línea mutante La 'Molina 89-77'			Tratamiento: Testigo			
Período Vegetativo :135 días.			Rendimiento (kg/ha):	3,163		
Epoca de siembra: Agosto			P.de venta unitario (S/.):	5.50		
RUBROS	Unid.	cant	Precio Unit. (S/.)	Precio total (S/.)	Porcentaje (%)	Precio Total (USD)
I. COSTOS DIRECTOS				8763.8	82.0%	3129.9
INSUMO				1139.8	10.7%	407.1
Semillas				500	4.7%	178.6
	kg	10.00	50.00	500	4.7%	178.6
Fertilizantes - Abonos				471	4.4%	168.2
- Nitrato de amonio	kg	75	1.80	135	1.3%	48.2
- Fosfato diamónico	kg	160	2.10	336	3.1%	120.0
Pesticidas				168.8	1.6%	60.3
Homai	Kg	0.20	39.00	7.8	0.1%	2.8
Methomil	L	0.30	120.00	36	0.3%	12.9
Cipermex	Kg	1.00	65.00	65	0.6%	23.2
Fitoklin	Kg.	0.50	120.00	60	0.6%	21.4
					0.0%	0.0
MANO DE OBRA				3298.75	30.9%	1178.1
Preparación de terreno				140	1.3%	50.0
	j/h	4.00	35.00	140	1.3%	50.0
Siembra				280	2.6%	100.0
- Siembra y fertilización	j/h	8.00	35.00	280	2.6%	100.0
Labores Culturales				2878.75	26.9%	1028.1
- Riegos	j/h	7.25	35.00	253.75	2.4%	90.6
- Desmalezado	j/h	35.00	35.00	1225	11.5%	437.5
- Aporque	j/h	4.00	35.00	140	1.3%	50.0
- Aplicaciones fitosanitarias	j/h	10.00	35.00	350	3.3%	125.0
- Cosecha	j/h	20.00	35.00	700	6.5%	250.0
- Vigilancia	j/h	6.00	35.00	210	2.0%	75.0
MECANIZACIÓN				1050	9.8%	375.0
- Aradura	Hora/maq.	3.00	150.00	450	4.2%	160.7
- Nivelación	Hora/maq.	3.00	120.00	360	3.4%	128.6
- Aporque	Hora/maq.	2.00	120.00	240	2.2%	85.7
OTROS GASTOS				3275.25	30.6%	1169.7
- Plástico antipercolante + Instalación (3 campañas)	unid.	-	3,000.00	0	0.0%	0.0
- Sistema de riego + instalación (6 campañas)	unid.	0.16	6,500.00	1040	9.7%	371.4
- Alquiler de terreno	ha/campaña	0.50	3,500.00	1750	16.4%	625.0
- Suministro bruto agua de riego (m3)	m ³	3,235.00	0.15	485.25	4.5%	173.3
II. COSTOS INDIRECTOS (Variable)				1928	18.0%	688.6
Costos financieros	%	-	7.00%	613	5.7%	219.1
Gastos administrativos	%	-	10.00%	876	8.2%	313.0
Imprevistos	%	-	5%	438	4.1%	156.5
III. COSTO TOTAL POR HECTAREA				10692		3818.5
IV. VALOR DE LA COSECHA				17396.5		6213.0
V. ANÁLISIS ECONÓMICO						
Precio unitario quinua grano	kg			5.50		2.0
Costo unitario	kg			3.38		1.2
Utilidad neta	S/.			6705		2394.5
Índice de rentabilidad				63%		

2. T1: 100% lámina de riego con plástico

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE QUINUA						
Cultivo : Quinua			Densidad (Plantas/ha):	450,000		
material vegetal : Línea mutante La 'Molina 89-77'			Tratamiento: 100% Lámina de riego con plástico			
Periodo Vegetativo :138 días.			Rendimiento (kg/ha):	3,333		
Epoca de siembra: Agosto 2014			P.de venta unitario (S/.):	5.50		
RUBROS	Unidad	cant.	Precio Unit. (S/.)	Precio total (S/.)	Porcentaje (%)	Precio Total (USD)
I. COSTOS DIRECTOS				9893.8	82.0%	3533.5
INSUMOS				1139.8	9.4%	407.1
Semillas				500	4.1%	178.6
	kg	10.00	50.00	500	4.1%	178.6
Fertilizantes – Abonos				471	3.9%	168.2
-	kg	75	1.80	135	1.1%	48.2
-	kg	160	2.10	336	2.8%	120.0
Pesticidas				168.8	1.4%	60.3
Homai	Kg	0.20	39.00	7.8	0.1%	2.8
Methomil	L	0.30	120.00	36	0.3%	12.9
Cipermax	kg	1.00	65.00	65	0.5%	23.2
Fitoklin	kg	0.50	120.00	60	0.5%	21.4
					0.0%	0.0
MANO DE OBRA				3498.75	28.5%	1228.1
Preparación de terreno				280	2.3%	100.0
	j/h	8.00	35.00	280	2.3%	100.0
Siembra				280	2.3%	100.0
-	j/h	8.00	35.00	280	2.3%	100.0
Labores Culturales				2878.75	23.8%	1028.1
-	j/h	7.25	35.00	253.75	2.1%	90.6
-	j/h	35.00	35.00	1225	10.1%	437.5
-	j/h	4.00	35.00	140	1.2%	50.0
-	j/h	10.00	35.00	350	2.9%	125.0
-	j/h	20.00	35.00	700	5.8%	250.0
-	j/h	6.00	35.00	210	1.7%	75.0
MECANIZACIÓN				1050	8.7%	375.0
-	Hora/maq.	3.00	150.00	450	3.7%	160.7
-	Hora/maq.	3.00	120.00	360	3.0%	128.6
-	Hora/maq.	2.00	120.00	240	2.0%	85.7
OTROS GASTOS				4265.25	35.3%	1523.3
-	unid.	0.33	3,000.00	990	8.2%	353.6
-	unid.	0.16	6,500.00	1040	8.6%	371.4
-	ha/campaña	0.50	3,500.00	1750	14.5%	625.0
-	m³	3,235.00	0.15	485.25	4.0%	173.3
II. COSTOS INDIRECTOS (Variable)				2177	18.0%	777.4
Costos financieros	%	-	7.00%	693	5.7%	247.3
Gastos administrativos	%	-	10.00%	989	8.2%	353.4
Imprevistos	%	-	5%	495	4.1%	176.7
III. COSTO TOTAL POR HECTAREA				12070		4310.9
IV. VALOR DE LA COSECHA				18331.5		6547.0
V. ANÁLISIS ECONÓMICO						
Precio unitario quinua grano	kg			5.50		2.0
Costo unitario	kg			3.62		1.3
Utilidad neta	S/.			6261		2236.1
Índice de rentabilidad				52%		

3. T2: 75% Lámina de riego, con plástico

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE QUINUA						
Cultivo : Quinua		Densidad (Plantas/ha):		450,000		
material vegetal : Línea mutante La 'Molina 89-77'		Tratamiento: 75% Lámina de riego con plástico				
Periodo Vegetativo :138 días.		Rendimiento (kg/ha):		3,039		
Epoca de siembra: Agosto		P. de venta unitario (S/.):		5.50		
RUBROS	Unid.	cant.	Precio Unit. (S/.)	Precio total (S/.)	Porcentaje (%)	Precio Total (Usd)
I. COSTOS DIRECTOS			9752.8	82.0%	3483.1	
INGRUMO			1689.8	9.6%	407.1	
Semillas			500	500	4.2%	178.6
Semilla certificada	kg	10.00	50.00	500	4.2%	178.6
Fertilizantes - Abonos			471	4.0%	168.2	
- Nitrato de amonio	kg	75	1.80	135	1.1%	48.2
- Fosfato diamónico	kg	160	2.10	336	2.8%	120.0
Pesticidas			168.8	1.4%	60.3	
Homai	Kg	0.20	39.00	7.8	0.1%	2.8
Methomil	L	0.30	120.00	36	0.3%	12.9
Cipermax	Kg	1.00	65.00	65	0.5%	23.2
Fitoklin	Kg	0.50	120.00	60	0.5%	21.4
					0.0%	0.0
MANO DE OBRA			3412.5	28.7%	1213.8	
Preparación de terreno			280	2.4%	100.0	
Nivelación de las camas	j/h	8.00	35.00	280	2.4%	100.0
Siembra			280	2.4%	100.0	
- Siembra y fertilización	j/h	8.00	35.00	280	2.4%	100.0
Labores Culturales			2852.5	24.0%	1018.8	
- Riegos	j/h	5.50	35.00	192.5	1.2%	68.8
- Desmalezado	j/h	35.00	35.00	1225	10.3%	437.5
- Aporque	j/h	5.00	35.00	175	1.5%	62.5
- Aplicaciones fitosanitarias	j/h	10.00	35.00	350	2.9%	125.0
- Cosecha	j/h	20.00	35.00	700	5.9%	250.0
- Vigilancia	j/h	6.00	35.00	210	1.8%	75.0
MECANIZACIÓN			1050	8.8%	375.0	
- Aradura	Hora/maq.	3.00	150.00	450	3.8%	160.7
- Nivelación	Hora/maq.	3.00	120.00	360	3.0%	128.6
- Aporque	Hora/maq.	2.00	120.00	240	2.0%	85.7
OTROS GASTOS			4150.5	34.9%	1482.3	
- Plástico + Instalación (3 campañas)	unid.	0.33	3,000.00	990	8.3%	353.6
- Sistema de riego + Instalación (6 campañas)	unid.	0.16	6,500.00	1040	8.7%	371.4
- Alquiler de terreno	ha/campaña	0.50	3,500.00	1750	14.7%	625.0
- Suministro bruto agua de riego (m3)	m ³	2,470.00	0.15	370.5	2.2%	132.3
II. COSTOS INDIRECTOS (Variable)			2146	18.0%	766.3	
Costos financieros	%	-	7.00%	683	5.7%	243.8
Gastos administrativos	%	-	10.00%	975	8.2%	348.3
Imprevistos	%	-	5%	488	4.1%	174.2
III. COSTO TOTAL POR HECTAREA			11898		4249.4	
IV. VALOR DE LA COSECHA			16714.5		5969.5	
V. ANÁLISIS ECONÓMICO						
Precio unitario quinua grano	kg			5.50		2.0
Costo unitario	kg			3.92		1.4
Utilidad neta	S/.			4816		1720.0
Índice de rentabilidad				40%		

4. T3: 50% lámina de riego, con plástico

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE QUINUA							
Cultivo : Quinua			Densidad (Plantas/ha):	450,000			
material vegetal : Línea mutante <i>La 'Molina 89-77'</i>			Tratamiento: 75% Lámina de riego con plástico				
Periodo Vegetativo :138 días.			Rendimiento (kg/ha): 2,234				
Epoca de siembra: Agosto			P.de venta unitario (S/.): 5.50				
RUBROS	Unidad	Costo	Precio Unit.	Precio total	Porcentaje	Precio Total	
			(S/.)	(S/.)	(%)	(USD)	
I. COSTOS DIRECTOS				9611.75	82.0%	3432.8	
INSUMOS				1139.8	8.7%	407.1	
Semillas				500	4.3%	178.6	
Semilla certificada				kg 10.00 50.00	500	4.3%	178.6
Fertilizantes - Abonos				471	4.0%	168.2	
- Nitrate de amonio				kg 75 1.80	135	1.2%	48.2
- Fosfato diamónico				kg 160 2.10	336	2.9%	120.0
Pesticidas				168.8	1.4%	60.3	
Homai				Kg 0.20 39.00	7.8	0.1%	2.8
Methomif				L 0.30 120.00	36	0.3%	12.9
Cipermex				Kg 1.00 65.00	65	0.6%	23.2
Fitoklin				Kg 0.50 120.00	60	0.5%	21.4
					0.0%	0.0	
MANO DE OBRA				3388	28.0%	1210.0	
Preparación de terreno				280	2.4%	100.0	
Nivelación de las camas				j/h 8.00 35.00	280	2.4%	100.0
Siembra				280	2.4%	100.0	
- Siembra y fertilización				j/h 8.00 35.00	280	2.4%	100.0
Labores Culturales				2828	24.1%	1010.0	
- Riegos				j/h 3.80 35.00	133	241.2%	47.5
- Desmalezado				j/h 35.00 35.00	1225	10.4%	437.5
- Aporque				j/h 6.00 35.00	210	1.8%	75.0
- Aplicaciones fitosanitarias				j/h 10.00 35.00	350	3.0%	125.0
- Cosecha				j/h 20.00 35.00	700	6.0%	250.0
- Vigilancia				j/h 6.00 35.00	210	1.8%	75.0
MECANIZACIÓN				1050	9.0%	375.0	
- Aradura				Hora/maq. 3.00 150.00	450	3.8%	160.7
- Nivelación				Hora/maq. 3.00 120.00	360	3.1%	128.6
- Aporque				Hora/maq. 2.00 120.00	240	2.0%	85.7
DIROS GASTOS				1033.95	8.7%	440.7	
- Plástico + Instalación (3 campañas)				unid. 0.33 3,000.00	990	8.4%	353.6
- Sistema de riego + instalación (6 campañas)				unid. 0.16 6,500.00	1040	8.9%	371.4
- Alquiler de terreno				ha/campaña 0.50 3,500.00	1750	14.9%	625.0
- Suministro bruto agua de riego (m ³)				m ³ 1,693.00 0.15	253.95	4617.3%	90.7
II. COSTOS INDIRECTOS (Variable)				2115	18.0%	755.2	
Costos financieros				% - 7.00%	673	5.7%	240.3
Gastos administrativos				% - 10.00%	961	8.2%	343.3
Imprevistos				% - 5%	481	4.1%	171.6
III. COSTO TOTAL POR HECTAREA				11726		4188.0	
IV. VALOR DE LA COSECHA				12287		4388.2	
V. ANÁLISIS ECONOMICO							
Precio unitario quinua grano				kg	5.50	2.0	
Costo unitario				kg	5.25	1.9	
Utilidad neta				S/.	561	200.2	
Índice de rentabilidad					5%		