



Regímenes de riego en el crecimiento y rendimiento de cuatros variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo sistema de goteo

Irrigation regimes on the growth and yield of four varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using drip irrigation

José Antonio Franco Villafuerte¹; Lorenzo Hurtado Leo¹

¹ Departamento Académico Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apartado postal 12-056 - La Molina, Lima, Perú. Email: 20080925@lamolina.edu.pe

Recepción: 27/09/2018; Aceptación: 05/01/2019

Resumen

El propósito de esta investigación fue determinar la respuesta de tres regímenes de riego en el crecimiento, rendimiento y calidad de granos, de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). El ensayo experimental se llevó a cabo en la Unidad de Investigación en Riegos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Unalm). Las cuatro variedades en estudio fueron: V1 = *La Molina 89*, V2 = *Salcedo INIA*, V3 = *Pasankalla* y V4 = *Negra Collana*; y los regímenes de riegos en base a la lámina mayor fueron: R1 = 4800 m³/ha (100% Requerimiento de Riego Total), R2 = 4200 m³/ha (87,5% RRT) y R3 = 3600 m³/ha (75% RRT). El diseño experimental empleado fue el de parcelas divididas. Se concluyó que la interacción del régimen de riego en las variedades de quinua fue significativa en la longitud de panoja principal, área foliar, materia seca de panoja, materia seca total, rendimiento en grano, peso de grano por planta, número de granos por planta, todos los tamaños de la granulometría, todos los parámetros agronómicos y en índice de rentabilidad. En general, *La Molina 89* fue la variedad que obtuvo el mayor rendimiento, eficiencia de uso de agua (EUA) e índice de rentabilidad aplicando R1, siendo estos 7343 kg/ha, 1,53 kg/m³ y 176,6%, respectivamente; asimismo, también obtuvo el mayor porcentaje de granos extra grande y grande. Finalmente, se concluyó que el régimen de riego no influye en el porcentaje de proteínas y saponinas de las variedades estudiadas.

Palabras clave: *Chenopodium quinoa*; *La Molina 89*; déficit hídrico; regímenes de riego; rendimiento.

Forma de citar el artículo: Franco, J.; Hurtado, L. 2019. Regímenes de riego en el crecimiento y rendimiento de cuatros variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo sistema de goteo. Anales Científicos 80 (1): 205-224 (2019).

DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i1.1385>

Autor de correspondencia (*): Franco, J. Email: 20080925@lamolina.edu.pe

© Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Abstract

The purpose of this research was to determine the response of three irrigation regimes on the growth, yield and grain quality of four varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). The experimental test was carried out in the Irrigations Investigation Unit of the Universidad Nacional Agraria La Molina (Unalm). The 4 varieties under study were: V1 = *La Molina 89*, V2 = *Salcedo INIA*, V3 = *Pasankalla* and V4 = *Negra Collana* and the irrigation regimes based on the higher level were: R1 = 4 800 m³/ha (100% Total Irrigation Requirement), R2 = 4 200 m³/ha (87,5% TIR) and R3 = 3 600 m³/ha (75%TIR). The experimental design used was Split plot. It was concluded that the interaction of the irrigation regime in the varieties of the quinoa was significant in the length of the main panicle, leaf area, panicle dry matter, total dry matter, grain yield, seed weight per plant, amount of grains per plant, all the sizes of the granulometry, all the agronomic parameters and profitability index. In general, it is concluded that *La Molina 89* was the best variety since it obtained the highest yield, irrigation water use efficiency (WUEI) and profitability index applying R1, these being 7343 kg/ha, 1,53 kg/m³ and 176,6%; respectively, it also obtained the highest percentage of extra-large and large grains. Finally, it is concluded that the irrigation regime does not influence the percentage of proteins and saponins of the varieties studied.

Keywords: *Chenopodium quinoa*; *La Molina 89*; water deficit; irrigation regime; yield.

1. Introducción

La costa peruana viene afrontando la misma problemática mundial de este siglo, que es producir alimentos que satisfagan al acelerado crecimiento demográfico, usando cada vez menos recursos hídricos y edáficos de calidad (Ince Kaya *et al.*, 2015). Al respecto, la Onern (1986), manifestó que existen más de 300 000 hectáreas de suelos salinos en esta región; así mismo, el IV Censo Nacional Agropecuario 2012, concluyó que más de 200 000 hectáreas de esta región no se siembra por falta de agua (Inci/Minagri, 2013). Bajo este contexto, el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la costa tiene potencial para su producción, ya que ha demostrado resistir a diferentes condiciones de estrés abiótico como sequía, salinidad y clima extremo (Jacobsen *et al.*, 2005). Más aún, sus granos poseen un alto contenido de proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, que lo convierte en un alimento importante para la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2011).

En la mayoría de cultivos, se puede requerir de centenares de litros de agua para producir un kilo de materia seca (Hurtado, 2003). Sin embargo, la quinua se caracteriza por el uso altamente eficiente del agua (Martínez *et al.*, 2009), gracias a que presenta diferentes estrategias de adaptación al estrés hídrico como adaptaciones fisiológicas y morfológicas, las cuales se basan en mecanismos de tolerancia y adaptación

(Zurita-Silva *et al.*, 2013). Por otra parte, la mejor forma de mitigar la sequía y aumentar la productividad del uso hídrico en la costa, es usando tecnología de Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF). Este tipo de riego es altamente eficiente con valores promedio de 85% de eficiencia total (Hurtado, 2003); de esta forma, es posible ahorrar suficiente agua para incorporar nuevas tierras a la producción agrícola.

Actualmente, existen pocos estudios que asocien la respuesta del régimen de riego o intensidad del estrés hídrico en el rendimiento y calidad de la quinua (Garrido *et al.*, 2013); entre aquellos, Geerts *et al.* (2008) manifiestan que el riego durante la etapa vegetativa tardía es redundante y que la eficiencia en el uso del agua mejora cuando hay un suministro adecuado de agua durante la fase inicial de germinación, floración y llenado de semillas, a pesar de que la sequía ocurra durante el crecimiento vegetativo. Por su parte, Talebnejad *et al.* (2015) encontraron que la reducción del 70% en el agua de riego completo produjo solamente una reducción del 36% en el rendimiento de granos; mientras que Fischer *et al.* (2013) manifestaron que fue posible producir semillas con mayor valor nutritivo cuando se aplicó una restricción hídrica desde un 40 a un 20% de la capacidad de campo, sin reducir considerablemente el rendimiento. La desventaja de estos estudios para los intereses nacionales, es que se trata

de variedades que no se siembran en el Perú y que los resultados obtenidos se dieron en otras zonas agroecológicas. Por esta razón, esta investigación pretende estudiar la respuesta del régimen de riego en variedades peruanas del altiplano (*La Molina 89, Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana*) que, a través de la experiencia, han demostrado rendir óptimamente bajo las condiciones de costa, sin embargo, con poco enfoque en el abastecimiento hídrico.

Los objetivos principales de esta investigación fueron determinar la respuesta de tres regímenes de riego en el crecimiento, rendimiento y calidad de cuatro variedades del cultivo de quinua, determinar las respuestas de interacción en el potencial de producción del cultivo y, finalmente, determinar sus parámetros agronómicos.

2. Materiales y métodos

Características edafoclimáticas

El presente ensayo experimental se realizó en la Unidad de Investigación en Riegos, perteneciente al Departamento Académico de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Unalm), cuya ubicación geográfica es 12°05'0,5"S en latitud; 76°56'55,3"O en longitud y 243,7 m s.n.m. en altitud.

Los registros climáticos del observatorio Alexander Von Humboldt de la Unalm que se tomaron en cuenta fueron los siguientes: temperatura, precipitación, humedad relativa, evapotranspiración tanque A, heliofanía y radiación circunglobal, durante los meses de octubre de 2013 hasta marzo de 2014 (Tabla 1), que fue el periodo donde se llevó a cabo el presente experimento.

En la **Tabla 2**, se muestran los resultados del análisis de caracterización donde se determina que el suelo del campo experimental posee una clase textural franco arenosa, que se caracteriza por tener una moderada capacidad de retención de humedad, una adecuada permeabilidad y una buena aireación. Estas características físicas del suelo se aprecian mejor en la curva característica de humedad (**Figura 1**) que se realizó determinándose los porcentajes de humedad a capacidad de campo (0,3 bares de succión mátrica) en 23% y a punto de marchitez en 13,3% (15 bares a succión mátrica).

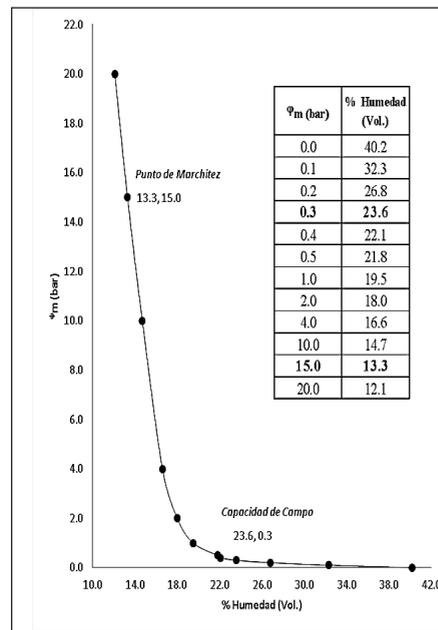


Figura 1: Curva característica de humedad de suelo

Tabla 1: Promedios mensuales de datos climáticos de La Molina (oct. 2013-mar. 2014)

Mes	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Eto tanque A (mm/día)	Heliofanía (horas)	Radiación circunglobal (Ly/mes)
	Media	Máxima	Mínima					
Octubre	17,4	21,2	14,5	0,00	76,79	2,54	4,59	10 501,60
Noviembre	18,7	22,0	15,3	0,02	72,95	2,49	4,73	10 413,80
Diciembre	21,8	26,0	17,5	0,01	70,47	3,44	5,82	11 749,10
Enero	24,0	28,1	19,7	0,06	70,41	3,52	4,10	11 312,20
Febrero	23,2	28,8	18,8	0,14	71,18	4,57	6,06	11 640,10
Marzo	23,5	29,0	19,4	0,03	70,53	3,66	5,32	11 722,00

Fuente: Estación Meteorológica **Von Humboldt** (2015).

La diferencia de estos valores resulta en la humedad aprovechable de este suelo, siendo en este caso 10,3 volúmenes disponibles. El criterio de riego para un sistema de riego por goteo está entre 0,2 y 0,4 bares de succión mátrica (en este caso 85,4% de la humedad aprovechable), que se traduce en 26,8 % y 22,1 % de humedad respectivamente, lo cual significa que la lámina de agua disponible por centímetro de suelo sería 0,47 mm o 4,7 volúmenes.

Con respecto al pH del suelo, este presentó un valor ligeramente básico (7,61), lo cual estuvo relacionado directamente con el porcentaje de carbonatos cuyo nivel fue medio (3,8%). Asimismo, el valor de la conductividad eléctrica indicó que existe una moderada salinidad (5,9 dS/m). En relación a la materia orgánica, el nivel obtenido fue bajo, con 0,7%; por consiguiente, el abastecimiento natural del nitrógeno también fue bajo. Finalmente, los niveles de fósforo y potasio fueron medios.

Características del agua y sistema de riego

Según el análisis del agua de riego, presentado también en la [Tabla 2](#), se puede apreciar que esta agua es altamente salina, con baja alcalinidad, baja concentración del ion boro, alta concentración de sodio y muy alta concentración del ion cloruro. Todo esto se traduce en elevados riesgos de toxicidad para los cultivos. De otro lado, esta agua presenta un nivel elevado de nitratos, lo cual fue un aporte adicional de nitrógeno para las plantas de quinua.

El sistema de riego por goteo estuvo constituido básicamente por un cabezal de control y una red de distribución, dentro las cuales se destaca el uso de: 1) contómetro tipo reloj para la medición de los volúmenes de agua aplicados; 2) el inyector de fertilizantes tipo venturi para el fertirriego y 3) los goteros autocompensados para asegurar la distribución uniforme del agua en cada emisor.

Metodología y conducción del experimento

El experimento consistió en la evaluación de tres regímenes de riegos comerciales crecientes, en cuatro variedades de quinua, empleando sistema de riego por goteo. El factor *Régimen de Riego* estuvo conformado

por 3 niveles: R1= 100% Requerimiento de Riego Total (RRT), R2 = 87,5% RRT y R3 = 75% RRT. El factor *Variedades* estuvo conformado por 4 niveles: V1 = *La Molina 89*, V2 = *Salcedo INIA*, V3 = *Pasankalla* y V4 = *Negra Collana*. Las características generales (agronómicas y calidad) de las variedades estudiadas se pueden apreciar en la [Tabla 3](#).

La modalidad de siembra empleada fue de una hilera por cada lateral de riego (en total fueron 12 y estuvieron separadas a 1,25 m); asimismo, cada hilera estuvo dividida en 4 subparcelas del mismo tamaño (un surco por subparcela). El distanciamiento entre plantas fue de 5,26 cm, lo cual configuró una densidad de 57 plantas por subparcela (3,75 m²), es decir, esto equivalió a una densidad de 152 000 plantas/ha. El área efectiva del campo experimental fue de 180 m². Todas las subparcelas recibieron iguales labores culturales, niveles de fertilización nitrogenada (160 kg de N/ha), fertilización fosfórica (80 kg P₂O₅/ha), fertilización potásica (120 kg K₂O/ha), enmienda orgánica (50 l/ha de GalaHumic 15, que posee 150 g/l de ácidos húmicos totales) y control fitosanitario. Las cantidades de fertilizantes usados fueron 326,6 kg nitrato de amonio como fuente de nitrógeno, 131,2 kg fosfato monoamónico como fuente de fósforo y nitrógeno y 272,7 kg de nitrato de potasio cristalizado como fuente de potasio y nitrógeno. Los riegos se realizaron a través del sistema de riego por goteo, lo cual proporcionó un alto y constante nivel de humedad a la zona radicular, a una eficiencia del 90%.

La siembra se realizó el 03 de octubre de 2013, correspondiendo al día 0 de este experimento. El desahije se realizó en dos oportunidades, la primera fue a los 23 dds, cuando las plantas presentaron 20 cm de altura aproximadamente, y finalmente a los 50 dds, estableciéndose la densidad asignada. El control de maleza se realizó con el desahije de plantas. A los 55 dds se realizó un aporque para prevenir el acame o tumbado de las plantas. La cosecha se realizó de forma manual en los meses de marzo y abril del 2014 cuando el 100% de los granos de la panoja estaban frágiles bajo el diente, es decir poseían menos de 14% de humedad. Las variedades precoces como *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra*

Tabla 2: Análisis de caracterización de suelo (profundidad 5 a 30 cm) y agua del riego

Análisis de caracterización del suelo				Análisis del agua de riego				
Determinación	Unidad de medida	Valor	Interpretación	Variable	Unidad de medida	Valores	Interpretación	
pH	-	7,6	Ligeramente alcalino	pH	-	7,1	Normal	
C.E.	dS/m	5,9	Moderadamente Salino	C.E.	dS/m	3,3	Muy elevada (C4)	
CaCO ₃	%	3,8	Ligeramente calcáreo	Calcio (Ca ⁺²)	mEq/litro	19,3		
M.O.	%	0,7	Nivel Bajo	Magnesio (Mg ⁺²)	mEq/litro	5,9		
P	Ppm	10,4	Nivel Medio	Potasio (K ⁺)	mEq/litro	0,29		
K	Ppm	109	Nivel Medio	Sodio (Na ⁺)	mEq/litro	13,5	Toxicidad severa	
Análisis Mecánico	Arena	%	61	Suma de Cationes	mEq/litro	38,99		
	Limo	%	21	Nitratos (NO ⁻³)	mEq/litro	0,16	11 kg de N/ha	
	Arcilla	%	18	Carbonatos (CO ₃ ⁻²)	mEq/litro	0	No hay	
Clase Textural	-	Fr,A,		Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	mEq/litro	1,9	Bajo	
CIC total	mEq/100 g	6,72	Nivel Bajo	Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	mEq/litro	11,2	Elevado	
Cationes cambiables	Ca ⁺²	mEq/100 g	3,65	Déficit de Ca ⁺²	Cloruros (Cl ⁻)	mEq/litro	22,5	Toxicidad severa
	Mg ⁺²	mEq/100 g	2,38	Exceso de Mg ⁺²	Suma de aniones	mEq/litro	35,76	
	K ⁺	mEq/100 g	0,28	Nivel Normal	Sodio (Na ⁺)	%	34,6	
	Na ⁺	mEq/100 g	0,41	Nivel Normal	SAR	3,8	Bajo	
	Al ⁺³ + H ⁺	mEq/100 g	0,00	Inexistente	Boro soluble	ppm	0,7	No hay problemas
Suma de cationes	mEq/100 g	6,72	Nivel Bajo					
Suma de bases	mEq/100 g	6,72	Nivel Bajo	Clasificación	C4-S1		Altamente salina y no existe problema de alcalinización	
% Saturación de bases	%	100,0	Muy Saturado con bases					

Collana se cosecharon a los 155 días (pero se cortaron las plantas a los 135 dds) y la única variedad semitardía, *La Molina 89*, se cosechó a los 180 dds. Finalmente, se realizó el análisis de calidad de los granos cosechados de todos los tratamientos y repeticiones en el Laboratorio de Calidad del Programa de Cereales y Granos Nativos.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \rho_k + (\tau\rho)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i=1,2,3$$

$$j=1,2,3,4$$

Diseño experimental

El diseño experimental empleado en esta investigación fue parcelas divididas (Split Plot), asignándose aleatoriamente regímenes de riego a las parcelas dentro de cada bloque y, en el caso de las variedades, se les asignó el nivel de subparcela dentro de cada parcela completa. Se empleó 4 bloques, en los que se tuvo 4 repeticiones por tratamiento, construyendo 48 unidades experimentales. El modelo aditivo lineal de parcelas divididas fue el siguiente:

El Análisis de Varianzas (ANOVA) de este diseño experimental se realizó con el programa estadístico MINITAB 16, realizándose las comparaciones de medias mediante Tukey a un $\alpha=0,05$ para la determinación de diferencias significativas en los promedios y $\alpha=0,01$ para diferencias altamente significativas. Para la determinación del supuesto de homogeneidad de varianzas se usó la Prueba de Bartlett y para la normalidad de los errores, se usó la Prueba de Shapiro-Wilk.

Aplicación de los regímenes de riego

El periodo vegetativo de las variedades en estudio difirió variablemente, siendo la variedad *La Molina 89* un poco más tardía que las variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*, estas tres últimas tuvieron similar duración de periodo vegetativo y aparición de fase fenológica. Por estas razones se programó dos RRT al 100%; 87,5% y 75%, una para la variedad *La Molina 89* (Tabla 4) y la segunda para las variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana* (Tabla 5).

Para la determinación del RRT de la quinua se requirió calcular el Requerimiento de Riego Neto (RRN) del cultivo para luego dividirse con la eficiencia de riego del sistema que fue en este caso 90%. Para el cálculo del RRN, fue indispensable contar con la evapotranspiración del cultivo (ETc, mm/día) en sus distintas fases fenológicas para multiplicarse luego con la duración (en días) de cada fase. De la suma de cada RRN por estado fenológico resulta el RRN del cultivo. La determinación del ETc (mm/día) resultó de la multiplicación del coeficiente del cultivo (Kc) con la Evaporación del Tanque A (Eo), en donde los valores de Eo mensual se definieron en base al promedio histórico (30 años) registrado en la base de datos del Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri, 2013), conformándose de la siguiente manera: el mes de octubre con 2,58 mm/día, noviembre con 2,86 mm/día, diciembre con 3,16 mm/día, enero con 3,4 mm/día y febrero con 3,92 mm/día.

Las fases fenológicas que se tomaron como referencia para el cálculo de los regímenes de riego fueron en base a la escala fenológica Gómez y Quillatupa, que es una escala que representa mejor a las variedades peruanas de quinua (Quillatupa, 2009), la cual estuvo conformada por 12 fases: emergencia total de semillas, dos hojas verdaderas desplegadas, seis hojas verdaderas desplegadas, diez hojas verdaderas desplegadas, desarrollo de botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso, grano pastoso (maduración

fenológica) y en grano pastoso (rayable con la uña en 50% de la panoja. Los Kc usados en estas fases fenológicas para el R1 en *La Molina 89* fueron 0,40; 0,47; 0,56; 0,65; 0,83; 0,93; 1,00; 1,08; 1,08; 0,97; 0,95 y 0,94, respectivamente; para R2 fueron 0,35; 0,41; 0,49; 0,57; 0,73; 0,82; 0,88; 0,95; 0,95; 0,85; 0,84 y 0,82, respectivamente, y para R3 fueron 0,30; 0,35; 0,42; 0,49; 0,62; 0,70; 0,75; 0,81; 0,81; 0,73; 0,72 y 0,71, respectivamente. Los Kc usados para R1 en las variedades *Salcedo INIA*; *Pasankalla* y *Negra Collana* fueron 0,40; 0,47; 0,56; 0,65; 0,83; 0,83; 0,98; 1,01; 1,08; 1,08; 1,03 y 0,97, respectivamente; para R2 fueron 0,35; 0,41; 0,49; 0,57; 0,73; 0,73; 0,86; 0,88; 0,95; 0,95; 0,90 y 0,85, respectivamente, y para R3 fueron 0,30; 0,35; 0,42; 0,49; 0,62; 0,62; 0,74; 0,76; 0,81; 0,81; 0,77 y 0,73, respectivamente.

Finalmente, para la variedad *La Molina 89*, se aplicaron 4800, 4200 y 3600 m³/ha en R1, R2 y R3, respectivamente; para las variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana* se aplicaron 4000, 3500 y 3000 m³/ha en R1, R2 y R3, respectivamente.

Evaluaciones experimentales

Se evaluaron las siguientes variables de crecimiento (por unidad de planta): altura de planta (m), longitud de panoja principal (m), área foliar (cm²), número de subpanojas, materia seca de panoja (g), materia seca total (g). Posteriormente, se evaluó el rendimiento en grano (kg/ha) y los siguientes componentes de rendimiento: peso de granos por planta (g), peso de 1000 granos (g) y número de granos por planta. Luego, se evaluó los componentes de calidad conformada por granulometría (%), proteínas (%) y saponinas (%). Por otra parte, se calcularon los parámetros agronómicos del cultivo: eficiencia de uso de agua (EUA-kg/m³), coeficiente de transpiración (CT-l/kg), índice de cosecha (IC-%), índice de área foliar (IAF-cm²/cm²). Finalmente, se realizó un análisis agroeconómico, en el cual se calculó el índice de rentabilidad (%) de cada tratamiento.

Tabla 3: Comparación de características agronómicas y calidad de las variedades

Variable	Variedades en estudio				
	La Molina 89 *	Salcedo INIA	INIA 415 - Pasankalla	INIA 420 - Negra Collana	
Periodo vegetativo (días)	Altiplano	150 - 160	150-160	144	138
	Costa	130 - 140	120	105	115
Resistencia al mildiu	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
Rendimiento de grano (t/ha)	2,5 - 6,5	2,5 - 6,5	3,54	3,01	
Rdto de granos por planta (g)	28,3	40 - 48,73	32 - 34	27,2 - 29,40	
Altura de planta (m)	1,30 - 1,65	1,48-1,70	1,30 - 1,40	1,00 - 1,30	
Longitud de panoja (m)	0,50 - 0,65	0,34 - 0,40	0,30 - 0,35	0,30 - 0,50	
Peso de 1000 granos (g)	2,48	3,1 - 3,7	3,51 - 3,72	2,03	
Diámetro de grano (mm)	2,00	2,00	2,10	1,60	
Color	Pericarpio	Crema	Crema	Plomo claro	Gris
	Episperma	Blanco	Blanco	Vino oscuro	Negro brillante
	Perisperma	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco
Proteínas (%)	15,30	16,23	17,83	17,62	
Saponinas (%)	1,45	0,02	0,00	0,00	

Fuente: FAO/INIA (2013); Apaza (1996); Barnett (2005).

Tabla 4: Aplicaciones de regímenes de riego 1 (100% RRT), 2 (87,5% RRT) y 3 (75% RRT) en la variedad La Molina 89

Etapa del cultivo	Estado fenológico	Fecha	Ciclo vegetativo (días)		Régimen de riego 1		Régimen de riego 2		Régimen de riego 3	
			Parcial	Acumulado	Neto (mm)	Total (m ³ /ha)	Neto (mm)	Total (m ³ /ha)	Neto (mm)	Total (m ³ /ha)
Apertura del sistema		02/10/2013	-1		1,929	21,432	1,688	18,753	1,447	16,074
Siembra		03/10/2013	0	0	1,098	12,198	0,961	10,673	0,823	9,148
Germinación	Emergencia total de las semillas	08/10/2013	5	5	3,036	33,733	2,657	29,517	2,277	25,300
	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	6,063	67,367	5,305	58,946	4,547	50,525
Desarrollo vegetativo y ramificación	Seis hojas verdaderas desplegadas	23/10/2013	10	20	14,448	160,533	12,642	140,467	10,836	120,400
	Diez hojas verdaderas desplegadas	02/11/2013	10	30	16,770	186,333	14,674	163,042	12,578	139,750
Desarrollo reproductivo y polinización	Desarrollo del botón floral	12/11/2013	10	40	23,738	263,756	20,771	230,786	17,804	197,817
	Desarrollo de la inflorescencia	27/11/2013	15	55	42,837	475,967	37,482	416,471	32,128	356,975
	Floración	17/12/2013	20	75	63,358	703,978	55,438	615,981	47,519	527,983
	Antesis	22/12/2013	5	80	18,360	204,000	16,065	178,500	13,770	153,000

Continuación **Tabla 4**

	Grano acuoso	11/01/2014	20	100	73,440	816,000	64,260	714,000	55,080	612,000
Llenado de granos	Grano lechoso	26/01/2014	15	115	57,168	635,200	50,022	555,800	42,876	476,400
	Grano pastoso (madurez fisiológica)	10/02/2014	15	130	56,252	625,017	49,220	546,890	42,189	468,763
Cierre de sistema	Grano pastoso (grano rayable con la uña en 50% de la panoja)	22/02/2014	12	142	53,580	595,333	46,883	520,917	40,185	446,500
Cosecha	Grano rayables con la uña en toda la panoja	01/04/2014	38	180						
Totales y promedios					432,076	4800,846	378,067	4200,740	324,057	3600,635
Eficiencia de riego: 90%										

Tabla 5: Aplicación de regímenes de riego 1 (100% RRT), 2 (87,5% RRT) y 3 (75% RRT) en la variedad Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana

Etapa del cultivo	Estado fenológico	Fecha	Ciclo vegetativo (días)		Régimen de riego 1		Régimen de riego 2		Régimen de riego 3	
			Parcial	Acumulado	Neto (mm)	Total (m ³ /ha)	Neto (mm)	Total (m ³ /ha)	Neto (mm)	Total (m ³ /ha)
Apertura del sistema		02/10/2013	-1		1,929	21,432	1,688	18,753	1,447	16,074
Siembra		03/10/2013	0	0	1,098	12,198	0,961	10,673	0,823	9,148
Germinación	Emergencia total de las semillas	08/10/2013	5	5	3,036	33,733	2,657	29,517	2,277	25,300
	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	6,063	67,367	5,305	58,946	4,547	50,525
Desarrollo vegetativo y ramificación	Seis hojas verdaderas desplegadas	23/10/2013	10	20	14,448	160,533	12,642	140,467	10,836	120,400
	Diez hojas verdaderas desplegadas	02/11/2013	10	30	16,770	186,333	14,674	163,042	12,578	139,750
	Desarrollo del botón floral	07/11/2013	5	35	11,869	131,878	10,385	115,393	8,902	98,908
Desarrollo reproductivo y polinización	Desarrollo de la inflorescencia	17/11/2013	10	45	23,738	263,756	20,771	230,786	17,804	197,817
	Floración	02/12/2013	15	60	46,452	516,133	40,646	451,617	34,839	387,100
	Antesis	17/12/2013	15	75	47,874	531,933	41,890	465,442	35,906	398,950

Continuación **Tabla 5**

	Grano acuoso	01/01/2014	15	90	55,080	612,000	48,195	535,500	41,310	459,000
Llenado de granos	Grano lechoso	11/01/2014	10	100	36,720	408,000	32,130	357,000	27,540	306,000
	Grano pastoso (madurez fisiológica)	21/01/2014	10	110	37,764	419,600	33,044	367,150	28,323	314,700
Cierre de sistema	Grano pastoso (grano rayable con la uña en 50% de la panoja)	05/02/2014	15	125	57,233	635,917	50,078	556,427	42,924	476,938
Cosecha	Grano rayables con la uña en toda la panoja	01/04/2014	38	155						
Totales y promedios					360,073	4000,813	315,064	3500,711	270,055	3000,610
Eficiencia de riego: 90%										

Resultados y discusión

Los Análisis de Varianzas realizados a cada variable en estudio determinaron que las variables altura de planta, número de subpanojas, peso de 1000 granos, porcentaje de proteínas y saponinas, fueron las que tuvieron solo efecto principal ya sea en el factor régimen de riego y/o variedades de quinua (**Figura 2**) a un nivel de alta significación ($\alpha = 0,01$). Por otra parte, las variables que presentaron interacción del régimen de riego x variedades ($\alpha = 0,01$), fueron longitud de panoja principal, área foliar, materia seca de panoja, materia seca total, rendimiento total, peso de granos por planta, número de granos por planta, porcentaje de granos mayor y/o igual a 2 mm, porcentaje de granos entre 1,7 a 2 mm, porcentaje de granos menores a 1,4 mm, eficiencia de uso de agua, coeficiente de transpiración, índice de área foliar e índice de rentabilidad. Asimismo, las variables que tuvieron solamente significación estadística ($\alpha = 0,05$) en la interacción, fueron porcentaje de granos entre 1,4 a 1,7 mm e índice de cosecha. Los resultados de las variables se pueden apreciar en la **Tabla 6**, mostrándose la comparación de medias en aquellas variables que manifestaron significancia en la interacción, precisamente en la respuesta del régimen de riego en variedades.

Variables de crecimiento

En relación a la altura de planta, la respuesta del régimen de riego determinó que existen diferencias estadísticas entre el régimen 1 y 2 (ambos con 1,68 m) con el régimen 3 de 1,60 m (**Figura 2**). Por otra parte, la respuesta de las variedades determinó diferencias estadísticas entre todas las variedades, conformándose el siguiente orden de mayor a menor: (1) *La Molina 89*, (2) *Pasankalla*, (3) *Salcedo INIA* y (4) *Negra Collana*. Al respecto, **Burin (2016)**, en regímenes de 100% (4670 m³/ha), 80% y 60% de RRT, obtuvo alturas de 1,46; 1,44 y 1,34 m, respectivamente; asimismo, **Mori (2015)** investigó 5 regímenes de riego de 100% (1995 m³/ha), 83%, 70%, 57% y 45% RRT, obteniendo alturas de 1,01; 1,09; 1,17; 1,25 y 1,21 m, respectivamente. En síntesis, este experimento demuestra que regímenes de riego entre 3600 a 4800 m³/ha no influyen significativamente en las alturas de las plantas.

En relación a longitud de la panoja principal de la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que desarrolló mayor longitud de panoja principal con 0,86 m; por tanto, se presentaron diferencias estadísticas al régimen de riego 2 y 3 cuyas longitudes fueron 0,75 y 0,73 m,

respectivamente (Tabla 6). En contraste a estos resultados, León (2014) obtuvo una longitud máxima de 0,27 m aplicando 100% RRT (3235 m³/ha), bajo condiciones de una fertilización nitrogenada baja y densidad de plantas alta (450 000 plantas/ha). Por otra parte, la máxima longitud de panoja obtenida por Barnett (2005) fue de 62,7 cm (cercano a lo mostrado) manejado con 5231 m³/ha de riego, 120 kg/ha de N y 223 000 plantas/ha. Con respecto a las otras variedades estudiadas, no se presentaron respuestas significativas del régimen de riego.

En relación al área foliar de la variedad Salcedo INIA, el régimen de riego 1 (100% RRT = 4000 m³/ha) fue el que manifestó mayor área foliar con 1135,4 cm², difiriendo estadísticamente del régimen 2 y 3 que obtuvieron valor de 807,9 cm² y 800,2 cm², respectivamente (Figura 3). Parecido resultado obtuvo Burin (2016) en esta variedad aplicando 100% RRT (4670 m³/ha), el cual manifestó un área foliar de 1212,3 cm². Sin embargo, regímenes inferiores al 80% y 60% RRT expresaron áreas de 478,9 y 430,9 cm², respectivamente. En general,

se demuestra que con el menor régimen de riego aplicado (75% RRT) se alcanzan áreas foliares aceptables, las cuales no presentan diferencias significativas con el régimen de riego al 100% RRT. Esto respalda la técnica del riego deficitario, investigada por Geerts *et al.* (2008), el cual tiene la finalidad de aumentar la eficiencia de uso de agua (EUA) para llegar a producir óptimamente en regiones áridas.

En relación al número de subpanojas, no hubo respuesta significativa del régimen de riego (Figura 2). En contraste, Talebnejad y Sepaskhah (2015) manifiestan que la reducción del volumen de irrigación del 80% RRT (200,9 mm) al 30% RRT (125,3 mm) dio como resultado disminución hasta en un 26% en el número de subpanojas o panículas (exactamente de 16,53 a 12) en el cultivar de origen danés cv. *Titicaca*. Por otra parte, la respuesta de las variedades determinó que *La Molina 89* es la variedad que produce mayor número de subpanojas en comparación con las otras variedades que son similares entre sí.

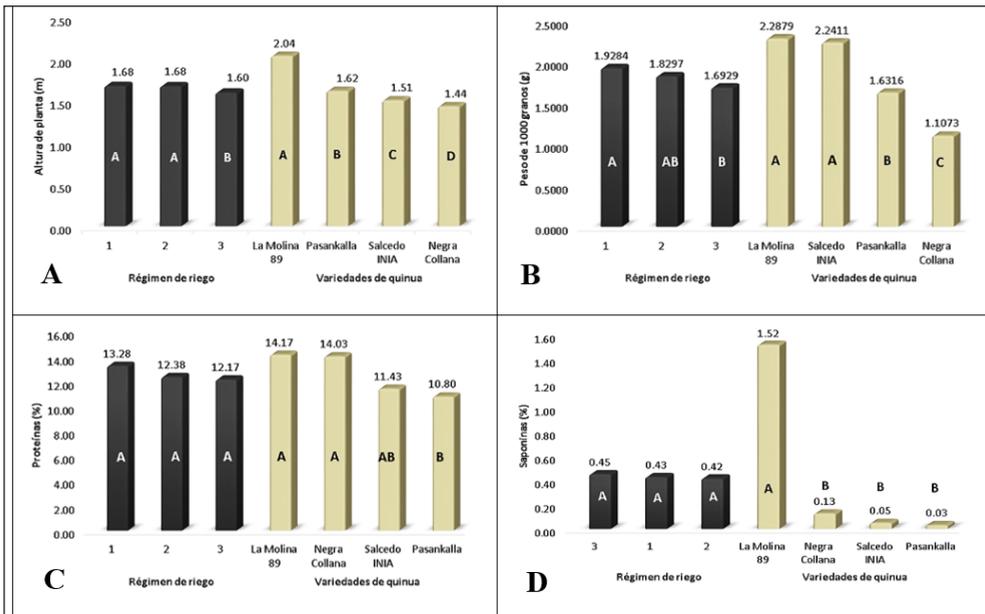


Figura 2: Efectos principales de las variables: (A) Altura de planta; (B) Peso de 1000 granos; (C) Proteínas; (D) Saponinas

Tabla 6: Resultados generales de la interacción de régimen de riego x variedades de quinua

Características	La Molina 89			Salcedo INIA			Pasankalla			Negra Collana		
	100% RRT	87,5% RRT	75% RRT	100% RRT	87,5% RRT	75% RRT	100% RRT	87,5% RRT	75% RRT	100% RRT	87,5% RRT	75% RRT
1, Variables de Crecimiento												
Altura de planta (m)	2,08	2,07	1,98	1,54	1,50	1,49	1,65	1,68	1,52	1,45	1,45	1,41
Longitud de panoja principal (m)	0,86a	0,75b	0,73b	0,73a	0,73a	0,71a	0,74a	0,70ab	0,66b	0,63a	0,67a	0,63a
Área foliar (cm ²)	2253,25a	2113,09a	2107,59a	1135,43a	807,86b	800,17b	1022,36a	1087,22ab	956,59a	591,86a	715,21ab	953,23b
Número de subpanojas	15,19	16,91	14,85	7,41	6,38	6,13	7,98	8,90	7,55	8,55	8,28	7,40
Materia seca de panoja (g)	167,02a	146,32b	120,63c	59,66a	45,09b	38,16b	39,62a	41,91a	38,22a	39,07a	38,98a	35,35a
Materia seca total (g)	259,42a	230,43b	189,97c	109,50a	80,91b	70,94b	87,92a	91,67a	69,54a	68,90a	68,58a	64,10a
2, Rendimiento total (kg/ha)	7343,53a	5721,87b	4643,20c	1047,27a	825,93a	734,00a	239,00a	284,93a	192,60a	346,00a	379,67a	301,40a
3, Componentes de Rendimiento												
Peso de granos por planta (g)	48,31a	37,64b	30,55c	6,89a	5,43a	4,83a	1,57a	1,87a	1,27a	2,28a	2,50a	1,98a
Peso de 1000 granos (g)	2,4361	2,3095	2,1181	2,3902	2,2013	2,1319	1,7192	1,7074	1,4681	1,1679	1,1005	1,0535
Número de granos por planta	19 837,5a	16 296,6b	14 452,3c	2 842,3a	2482,3a	2277,8a	910,8a	1101,5a	867,6a	2013,1a	2271,3a	1883,3a
Número de plantas por m ²	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20
4, Componentes de Calidad												
Porcentaje de granos ≥ 2 mm (%)	0,51a	0,29b	0,26b	0,32a	0,31a	0,13b	0,15b	0,48a	0,01b	0,03a	0,01a	0,00a
Porcentaje de granos < 2 - 1,7 mm] (%)	14,38a	10,15b	8,02c	8,28a	7,75a	6,59a	7,78a	8,59a	3,22b	1,02a	0,08a	0,06a
Porcentaje de granos < 1,7 – 1,4 mm] (%)	68,73a	67,41a	65,54a	68,34a	71,29a	62,93a	79,83a	75,65a	58,84b	37,62a	32,39a	22,23b
Porcentaje de granos < 1,4 mm (%)	16,38b	22,15a	26,18a	23,06ab	20,65b	30,35a	12,24b	15,28b	37,94a	61,33b	67,52b	77,71a
Porcentaje de Proteínas (%)	14,60	15,04	12,86	12,33	9,91	12,05	10,65	11,24	10,50	15,52	13,31	13,27
Porcentaje de Saponinas (%)	1,57	1,50	1,47	0,03	0,03	0,09	0,00	0,00	0,09	0,11	0,13	0,14
5, Parámetros Agronómicos												
Eficiencia del uso del agua (kg/m ³)	1,53a	1,36ab	1,29a	0,26a	0,24a	0,24a	0,06a	0,08a	0,06a	0,09a	0,11a	0,10a
Coefficiente de transpiración (l/kg)	109,98a	108,31a	113,19a	217,18a	256,81a	252,18a	270,16a	227,78a	258,68a	345,51a	309,91ab	278,23b
Índice de cosecha (%)	48,03a	38,89b	43,26ab	25,78a	24,77a	22,13a	7,42a	6,66a	3,48a	8,33a	8,68a	5,95a
Índice de área foliar (cm ² /cm ²)	3,42a	3,21a	3,20a	1,73a	1,23b	1,22b	1,55a	1,65a	1,45a	0,90b	1,09ab	1,45a
6, Análisis Agroeconómico												
Índice de Rentabilidad (%)	176,55a	113,28b	72,02c	-61,32a	-69,05a	-72,75a	-90,95a	-89,17a	-93,12a	-88,23a	-87,23a	-90,02a

En la materia seca de panoja de *La Molina 89*, el régimen de riego 1 desarrolló el mayor peso con 167,02 g, el cual fue diferente estadísticamente al régimen de riego 2 y 3 que manifestaron pesos de 146,32 y 120,63 g, respectivamente (Tabla 6). En comparación con los resultados de Barnett (2005), su máximo peso de materia seca de panoja fue de 58,75 g aplicando 5231 m³/ha y 80 kg/ha de N, lo cual es mucho menor a lo obtenido en el presente ensayo aplicando 4800 m³/ha (100% RRT) y 160 kg/ha de N. Por otra parte, en Salcedo INIA, el régimen 1 (100% RRT = 4 000 m³/ha) desarrolló el mayor peso de panoja seca con 59,66 g, diferenciándose estadísticamente del régimen 2 que obtuvo 45,09 g y el régimen 3. En contraste, Burin (2016) obtuvo un peso de panoja seca de 94,68 g aplicando 4670 m³/ha (100% RRT), 56,52 g aplicando 80% RRT y 35,09 g aplicando 60% RRT. En base a estos resultados existe una relación directa entre el régimen de riego y el peso de materia seca. Las otras variedades no manifestaron respuestas al régimen de riego diferenciado.

En la materia seca total, las diferencias estadísticas fueron las mismas en relación a la materia seca de panoja, siendo el régimen de riego 1 para *La Molina 89*, el que desarrolló mayor peso de materia seca total con 259,42 g, diferenciándose estadísticamente del régimen 2 que obtuvo 230,43 g, que a su vez es diferente estadísticamente al régimen 3, el cual obtuvo el menor peso con 189,97 g (Figura 3). Al respecto, se tienen referencias de materia seca total evaluadas a los 100 dds; por ejemplo, Barnett (2005) obtuvo el máximo peso de 102 g/planta aplicando 5231 m³/ha y 80 kg/ha de N. En el caso de Salcedo INIA, el régimen 1 desarrolló el mayor en esta variable con 109,5 g, diferenciándose estadísticamente del régimen 2 y 3, las cuales obtuvieron peso de 80,91 y 70,94 g, respectivamente. En contraste, Burin (2016) obtuvo 128,46 g de peso de materia seca total aplicando 4670 m³/ha (100% RRT), 80,33 g aplicando 80% RRT y 45,95 g aplicando 60% RRT. Las otras variedades no manifestaron respuestas al régimen de riego diferenciado.

Rendimiento en grano

Para la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 (100% RRT = 4800 m³/ha) fue el que obtuvo el mayor rendimiento de granos con 7344 kg/ha, el cual difiere estadísticamente del régimen de riego 2 que obtuvo 5722

kg/ha, siendo la diferencia porcentual de 28,34%. Asimismo, el régimen 2 se diferencia estadísticamente del régimen 3 en 23,23%, cuyo rendimiento fue de 4643 kg/ha (Figura 3 y Tabla 6). Evidentemente, se demuestra la relación directa del régimen de riego con el rendimiento en granos de esta variedad. Al respecto, León (2014) obtuvo rendimientos menores a este experimento, usando una fertilización baja de 40-60-0, alta densidad de plantas (450 000) y regímenes de riego de 3235 m³/ha (100% RRT), 2470 m³/ha (75% RRT) y 1623 m³/ha (50% RRT); los resultados fueron 3333, 3039 y 2324 kg/ha, respectivamente (no hubo diferencias significativas en los primeros 3 tratamientos de riego). En el caso de Barnett (2005), obtuvo un rendimiento máximo de 7157 kg/ha, aplicando 5231 m³/ha. Huamancusi (2012) por su parte, consiguió como máximo 5806 kg/ha, aplicando 3949 m³/ha, 120 kg/ha de N y manejando una densidad de 222 222 plantas/ha. Estos dos últimos casos tienen mayor concordancia con los resultados de esta investigación, demostrándose que esta variedad tiene potencial en el rendimiento en función a regímenes crecientes de riego y aunado a condiciones óptimas de manejo agronómico. Las otras tres variedades no mostraron una respuesta al régimen de riego diferenciado, sin embargo, se puede destacar a Salcedo INIA como la segunda variedad en lograr el mayor rendimiento en grano, obteniendo 1047 kg/ha con el régimen de riego 1, seguidos del régimen 2 con 825,9 kg/ha y régimen 3 con 734 kg/ha. Similar experiencia obtuvo Burin (2016) al no presentar diferencias significativas entre los regímenes de riego aplicados en esa variedad, las cuales fueron de 4670 m³/ha (100% RRT), 80% RRT y 60% RRT, obteniendo rendimientos de 1652; 1683 y 1042 kg/ha, respectivamente.

La Molina 89 es la que mejor respuesta ha tenido a los regímenes de riego, estando acorde, también, a los resultados de las variables de materia seca de panoja y materia seca total. Las variedades *Pasankalla* y *Negra Collana* no han podido desarrollar toda su potencialidad debido a que fueron afectadas en mayor medida (a comparación de las otras dos variedades) por “el efecto de tropicalización” (Gómez, 2013), lo cual se acentúa más cuando se siembra en épocas de riesgo; es decir, cuando el proceso de formación de granos coincide con los meses de alta temperatura y días largos (FAO/Unalm, 2016).

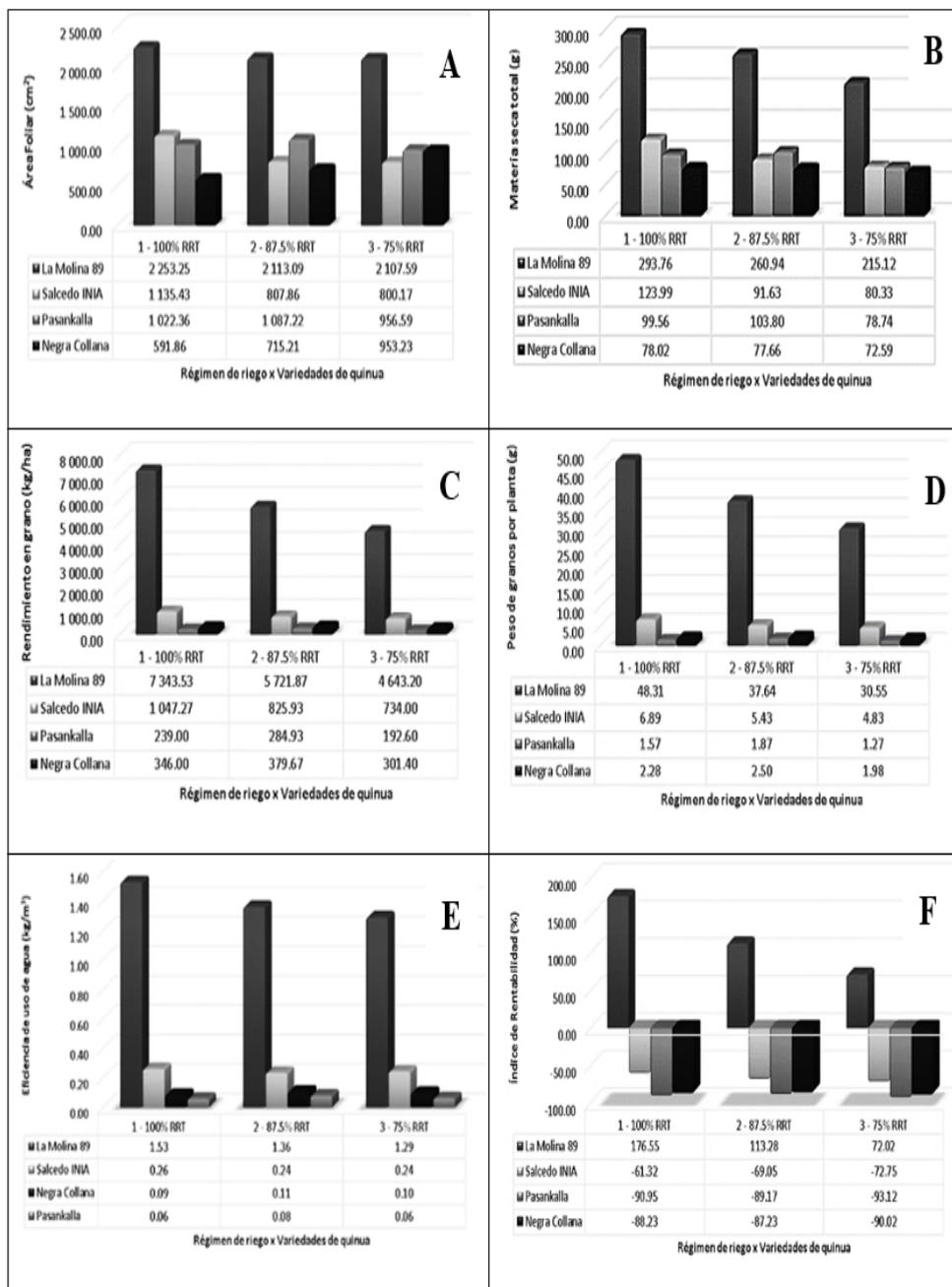


Figura 3: Respuesta de la interacción del régimen de riego x variedades de quinua: (A) Área foliar; (B) Materia seca total; (C) Rendimiento en grano; (D) Peso de granos por planta; (E) EUA y (F) Índice de rentabilidad

Componentes de rendimiento

En relación al peso de granos por planta en *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que obtuvo el mayor peso de granos por planta con 48,31 g, el cual difiere estadísticamente al régimen de riego 2 (37,64 g) en 28,35%. Este último difiere estadísticamente al régimen de riego 3 (30,55 g) en 23,23% (Figura 3). Definitivamente, existe una relación directa entre el régimen de riego y el peso de granos por plantas. Al respecto, **Huamancusi (2012)** obtuvo un peso máximo de granos por planta de 27,2 g aplicando 3949 m³/ha, y **Barnett (2005)** obtuvo 32,07 g aplicando 5231 m³/ha. Las otras variedades no presentaron respuesta al régimen de riego diferenciado.

En relación al peso de 1000 granos, la respuesta del régimen de riego determinó que existen diferencias estadísticas entre el régimen de riego 1 y 3, los cuales obtuvieron pesos de 1,9284 y 1,6929 g, respectivamente, siendo la diferencia porcentual de 13,91%. Por lo que se refiere al régimen de riego 2, este no difiere estadísticamente de los otros dos regímenes (Figura 2). Al respecto, **León (2014)** concluyó en su investigación que no existen diferencias estadísticas en los regímenes de riego que probó, obteniendo

como máximo un peso de 1000 granos de 2,99 g con 2 470 m³/ha. De otro lado, **Talebnejad y Sepaskhah (2005)** concluyó en su investigación que reducir el volumen de irrigación de 80% RRT (200,9 mm) a 30% RRT (125,3 mm) dio como resultado una disminución del 24% en el peso de 1000 granos en el cv *Titicaca*. Con respecto a la respuesta de las variedades, se demuestra que la variedad *La Molina 89* junto a la variedad *Salcedo INIA*, son los que poseen los mayores pesos de 1000 granos con 2,2879 y 2,2411 g, respectivamente.

En relación al número de granos por planta en *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que obtuvo el mayor número de granos por planta con 19 838 granos, el cual difiere estadísticamente al régimen de riego 2 (16 297 granos) en 21,7%. Este mismo difiere estadísticamente al régimen 3 (14 452 granos) en 12,76%. Al respecto, **León (2014)** obtuvo 4152 granos con 100% RRT (3235 m³/ha), 2926 granos con 75% RRT y 1508 granos con 50% RRT. Estos valores son mucho menores a los obtenidos en el presente ensayo, debiéndose a la influencia inversa de la densidad de plantas y al efecto directo de la fórmula de fertilización y régimen de riego.

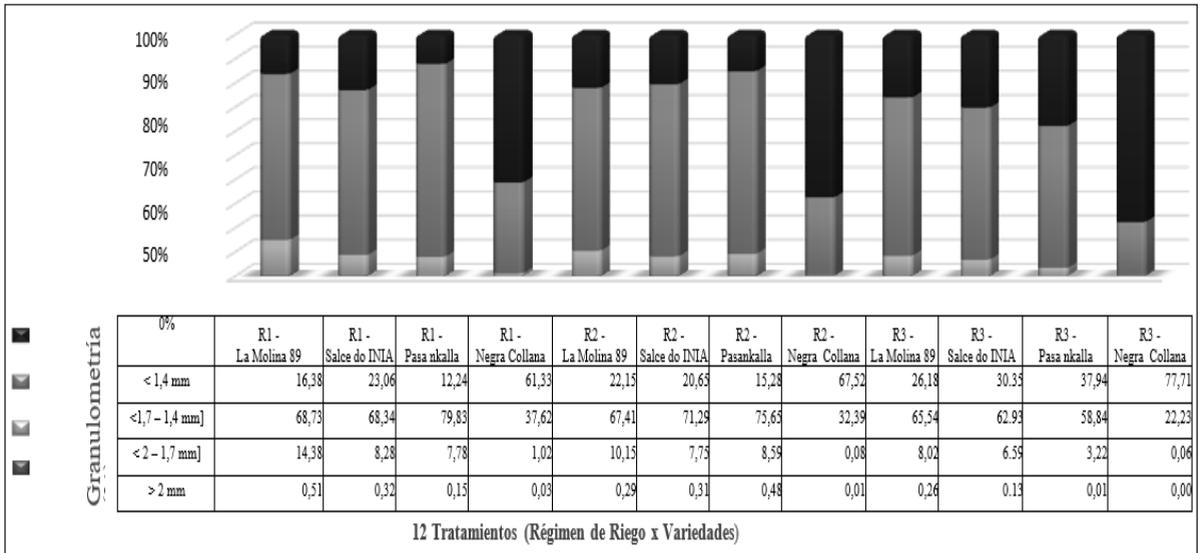


Figura 4: Granulometría (%) de los 12 tratamientos en estudio

Componentes de calidad

En relación a la granulometría, la [Figura 4](#) muestra la comparación de medias de los 12 tratamientos que se formaron a partir de la combinación de los 3 niveles del factor régimen de riego con los 4 niveles del factor variedades de quinua. Esta comparación se realizó para 4 tamaños de granos de quinua (> 2 mm, $< 2 - 1,7$ mm], $< 1,7 - 1,4$ mm] y $< 1,4$ mm). De igual manera, se muestra el promedio de cada nivel de los factores régimen de riego y variedades de quinua. La alta calidad de grano se definirá cuando los mayores porcentajes estén en los tamaños más grandes y los menores porcentaje en los tamaños pequeños ([Soto et al., 2013](#)). Este mismo autor señala que los granos con diámetro mayor o igual a 2 mm, son de tamaño extra grande; los de mayor o igual a 1,7 y menor a 2 mm, son de tamaño grande; los de mayor o igual a 1,4 y menor a 1,7 mm, son de tamaño mediano y los de menor a 1,4 mm, son de tamaño pequeño.

En base a la [Figura 4](#), se identifica lo siguiente: (1) el tratamiento R1 – *La Molina 89* es el que tiene mayor porcentaje de granos extra grandes, (2) el tratamiento R1 – *La Molina 89* también es el que tiene mayor porcentaje de granos grandes, (3) el tratamiento R1 – *Pasankalla* es el que tiene mayor porcentaje de granos medianos y (4) el tratamiento R3 – *Negra Collana* es el que tiene mayor porcentaje de granos pequeños.

En relación a las proteínas, la respuesta del régimen de riego determinó que no existe diferencia estadística entre los tres regímenes de riego ([Figura 2](#)). Al respecto, [León \(2014\)](#) tampoco obtuvo diferencias significativas de la respuesta del régimen de riego. [Fischer et al. \(2013\)](#) también concluyeron que la restricción hídrica no afecta el porcentaje de proteínas. Sin embargo, [Talebnejad y Sepaskhah \(2015\)](#) determinó que la reducción de 80% RRT (200,9 mm) a 30% RRT (125,3 mm) resultó en un aumento del 8% de concentración de proteína. Con respecto a la respuesta de las variedades, *La Molina 89* junto a *Negra Collana*, son las que poseen los mayores porcentajes de proteínas con 14,17 y 14,03%, respectivamente. Estos mismos también son similares, estadísticamente, a *Salcedo INIA*, que obtuvo un porcentaje de 11,43% y son diferentes, estadísticamente, a *Pasankalla*, que obtuvo 10,80%.

En relación a las saponinas, la respuesta del régimen de riego determinó que no existe diferencia estadística entre los tres regímenes de riego ([Figura 2](#)). Similar conclusión reportó [León \(2014\)](#) al respecto, determinando que tampoco tuvo diferencias estadísticas en sus regímenes de riego. Contradictoriamente, [Soliz-Guerrero et al. \(2002\)](#), concluyeron que el déficit hídrico afecta la producción de saponina ya que la reduce. Al respecto, [Mori \(2015\)](#) contradice a [Soliz-Guerrero et al. \(2002\)](#), ya que para ella mientras mayor sea el régimen de riego aplicado en *Salcedo INIA*, menor será el porcentaje de saponina obtenida; sus resultados fueron de 0,168% aplicando el 44,5% RRT (889 m³/ha) y 0,089 por ciento aplicando el 100% RRT (1 995 m³/ha). Con respecto a la respuesta de las variedades, se demuestra que *La Molina 89* fue la que obtuvo mayor porcentaje de saponinas con 1,52%, demostrándose que esta variedad es una quinua amarga, por estar entre 0,60 y 1,69% ([Koziol, 1990](#)). De otro lado, las otras tres variedades (*Negra Collana*, *Salcedo INIA* y *Pasankalla*) son similares estadísticamente entre sí y diferentes a *La Molina 89*. Estas obtuvieron porcentajes de saponinas de 0,13; 0,05 y 0,03%, respectivamente, catalogándose como variedades de quinua dulces, por tener menos de 0,6% ([Koziol, 1990](#)).

Parámetros agronómicos

En relación a la eficiencia de uso en agua (EUA) en *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que obtuvo el mayor valor con 1,53 kg/m³, el cual solo difiere estadísticamente al régimen de riego 3 que obtuvo 1,29 kg/m³. El régimen de riego 2 obtuvo una EUA de 1,36 kg/m³, la cual es similar, estadísticamente, a los regímenes de riego 1 y 3 ([Figura 2](#) y [Tabla 6](#)). En general, se aprecia una relación directa entre la EUA y el régimen de riego; sin embargo, esta tendencia no se asemeja a la conclusión de [León \(2014\)](#), quien menciona que, a menores regímenes de riego aplicados a esta variedad, se incrementan la EUA, obteniendo 1,21; 1,43 y 1,68 kg/m³ cuando aplicó 100% RRT, 75% RRT y 50% RRT, respectivamente. De igual manera, pero en el cv *Titicaca*, [Talebnejad y Sepaskhah \(2015\)](#) concluyeron que reducir de 80% RRT (200,9 mm) a 55% RRT (159,9 mm) y 80% RRT a 30% RRT (125,3 mm),

resultó en un aumento en la EUA de 34 y 67%, respectivamente, demostrando que el riego deficitario mejora la productividad del agua en favor de la quinua. En síntesis, estos resultados en *La Molina 89*, demostrarían que la quinua no solamente es altamente eficiente con el uso del agua en déficit hídrico, sino que también es eficiente desarrollándose en altos regímenes de riegos. A decir verdad, los tres regímenes de riego ya eran comerciales (relativamente altos); es por ello, que en el régimen 2 y 3 no hay una significativa diferencia en la EUA. Al respecto, *Geerts et al. (2008)*, avalan la veracidad de estos resultados, ya que en uno de sus campos experimentales no obtuvo diferencias significativas en la EUA de sus 3 regímenes de riego (lluvia y riego), obteniendo valores de 0,22; 0,28 y 0,25 kg/m³ en 369, 457 y 495 mm de riego, respectivamente. Las otras variedades en estudio, no presentaron respuesta al régimen de riego diferenciado.

En relación al coeficiente de transpiración (CT) en *Negra Collana*, el régimen de riego 1 fue el que obtuvo el mayor CT con 345,51 l/kg, el cual solo difiere estadísticamente con el régimen de riego 3 que obtuvo 278,23 l/kg (diferencia porcentual de 24,18%). El régimen de riego 2 obtuvo un CT de 309,91 l/kg, el cual es similar estadísticamente a los regímenes de riego 1 y 3 (Tabla 6). Las otras variedades en estudio, no presentaron respuesta al régimen de riego diferenciado.

En relación al índice de cosecha (IC) en *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que obtuvo el mayor IC con 48,03%, el cual solo difiere estadísticamente con el régimen de riego 2 que obtuvo 38,89%. El régimen de riego 3 obtuvo un IC de 43,2%, el cual es similar estadísticamente a los regímenes de riego 1 y 3 (Tabla 6). En contraste, *León (2014)* no obtuvo diferencias significativas de sus regímenes de riego aplicados, obteniendo entre 45% y 47% de IC; pero sí tuvo valores cercanos al presente experimento. De otro lado, *Huamancusi (2012)*, *Barnett (2005)* y *Apaza (1995)* obtuvieron menores IC de 35,1 (con 3 940 m³/ha), 32,7 (con 5231 m³/ha) y 31,02% como máximo, respectivamente. Las otras variedades en estudio, no presentaron respuesta al régimen de riego diferenciado.

En relación al índice de área foliar (IAF) en *Salcedo INIA*, el régimen de riego 1 fue el que presentó mayor IAF con 1,73, el cual

difiere estadísticamente de los regímenes 2 y 3, con 1,23 y 1,22 de IAF, respectivamente (diferencia porcentual de 41,90%). Estas dos últimas variedades presentan similitud estadística. Al respecto, *Burin (2016)* obtuvo menores IAF de 1,25; 0,42 y 0,57 en el régimen de 100% RRT, 80% RRT y 60% RRT, respectivamente. En *Negra Collana*, el régimen de riego 3 fue el que presentó mayor IAF con 1,45, diferenciándose estadísticamente solo del régimen 1 que obtuvo 0,90 de IAF. El régimen de riego 2 obtuvo un IAF de 1,09, el cual no presenta diferencia estadística con el régimen 3 y 1. Las otras 2 variedades (*La Molina 89* y *Pasankalla*) no presentaron respuesta al régimen de riego diferenciado.

Análisis agroeconómico

En relación al índice de rentabilidad (IR) en *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que presentó mayor IR con 176,55%, difiriendo estadísticamente del régimen de riego 2 con 113,28% y del régimen de riego 3 con 72,02%. Asimismo, el régimen de riego 2 difiere también estadísticamente del régimen de riego 3 (Figura 3, Tablas 6 y 7). Al respecto, *León (2014)* obtuvo índices de rentabilidad menores al presente ensayo de 52, 40 y 4,8%, en los tratamientos 100% RRT, 75% RRT y 50% RRT, respectivamente. La clave para esta diferencia fue los rendimientos obtenidos en los distintos regímenes de riego; aunque para ello, se tuvo que invertir fuertemente en los costos de producción, entre S/ 14 370,56 y S/ 14 570,36. De otro lado, *Huamancusi (2012)* y *Barnett (2005)* obtuvieron como máximo de IR, 72 y 26,2%, respectivamente, aplicando de riego 3940 m³/ha y 5231 m³/ha, respectivamente. La diferencia con *Barnett (2005)* se debe, principalmente, a que el precio de chacra en el 2005 estaba a S/ 1,20/kg de quinua, por consiguiente, obtuvo un valor bruto de la producción menor (S/ 8588) al presente ensayo (R1 = S/ 40 280), más aún, no realizó una clasificación de calidad de quinua por tamaño para obtener mayor rentabilidad. Las otras variedades en estudio no presentaron respuesta al régimen de riego diferenciado, y sus IR fueron en todos los casos negativos. En la Tabla 7, se puede observar el análisis agroeconómico resumido para los 9 tratamientos conformados entre regímenes de riego y variedades de quinua.

En síntesis, la tendencia observada en cada régimen de riego fue que la variedad *La Molina 89* ofrece mayor rentabilidad que *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*, principalmente, porque logró alcanzar rendimientos potenciales, a diferencia de las otras variedades. Probablemente, estas últimas variedades alcancen mejores rendimientos si se siembran en otras épocas y/o en condiciones edáficas no salina

panoja principal, materia seca de panoja, materia seca total, rendimiento en grano, peso de grano por planta y número de granos por planta; *Salcedo INIA*, lo obtuvo en área foliar, materia seca de panoja seca y materia seca total; *Pasankalla*, en longitud de panoja principal y, finalmente, *Negra Collana* no presentó diferencias significativas.

El máximo rendimiento obtenido de quinua se presentó en *La Molina 89*

Tabla 7: Análisis agroeconómico de las cuatro variedades de quinua en tres regímenes de riego

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)				Valor Bruto de la Producción (S/.)	Costo Total por hectárea (S/.)	Utilidad Neta (S/.)	Índice de Rentabilidad (%)	Índice Promedio de Rentabilidad (%)				
	>Grandes	Medianos	Pequeños	Total									
R1	La Molina 89	14,9%	1 093,45	68,7%	5047,21	16,4%	1202,87	7343,53	40 280,01	14 570,36	25 709,65	176,55	
	Salcedo INIA	8,6%	89,96	68,3%	715,70	23,1%	241,50	1047,27	5607,85	14 423,96	-8816,11	-61,32	-15,99
	Pasankalla	7,9%	18,95	79,8%	190,79	12,2%	29,25	239,00	1304,20	14 423,96	-13 119,76	-90,95	
	Negra Collana	1,1%	3,63	37,6%	130,17	61,3%	212,20	346,00	1694,43	14 423,96	-12 729,53	-88,23	
R2	La Molina 89	10,4%	597,36	67,4%	3857,11	22,2%	1267,39	5721,87	30 800,24	14 460,56	16 339,67	113,28	
	Salcedo INIA	8,1%	66,49	71,3%	588,81	20,7%	170,56	825,93	4438,11	14 332,46	-9894,35	-69,05	
	Pasankalla	9,1%	25,84	75,7%	215,55	15,3%	43,54	284,93	1549,44	14 332,46	-12 783,02	-89,17	
	Negra Collana	0,1%	0,34	32,4%	122,97	67,5%	256,35	379,67	1832,16	14 332,46	-12 500,30	-87,23	
R3	La Molina 89	8,3%	383,99	65,5%	3043,15	26,2%	1215,59	4643,20	24 703,45	14 370,56	10 332,89	72,02	-45,97
	Salcedo INIA	6,7%	49,32	62,9%	461,91	30,4%	222,77	734,00	3863,56	14 257,46	-10 393,91	-72,75	
	Pasankalla	3,2%	6,20	58,8%	113,33	37,9%	73,07	192,60	992,43	14 257,46	-13 265,03	-93,12	
	Negra Collana	0,1%	0,18	22,2%	67,00	77,7%	234,22	301,40	1423,66	14 257,46	-12 833,80	-90,02	

4. Conclusiones

En los tres regímenes de riego, la variedad *La Molina 89*, obtuvo significativamente los mayores valores en la longitud de panoja, área foliar, materia seca de panoja, materia seca total, rendimiento en grano, peso de granos por planta y número de granos por planta; en cambio, la variedad *Negra Collana* obtuvo los menores valores en dichas variables.

Para variedades, *La Molina 89* obtuvo incrementos significativos en longitud de

aplicando R1: 100% del Requerimiento de Riego Total (RRT) se obtuvo 7343 kg/ha en grano; el cual representó un incremento de 28,3% respecto al R2: 87,5% RRT, cuyo rendimiento fue de 5721 kg/ha en grano y un incremento de 58,1% respecto a R3: 75% RRT, cuyo rendimiento fue de 4643 kg/ha.

Las variedades *Salcedo INIA*, *Negra Collana* y *Pasankalla* bajo las condiciones de R1: 100% RRT, presentaron rendimientos de quinua de 1047, 379 y 285 kg/ha en grano, respectivamente; valores que no fueron

diferentes estadísticamente a los obtenidos en R2: 87,5% RRT y R3: 75% RRT.

En relación a la granulometría, grano extra grande, grande, mediano y pequeño, la interacción significativa del régimen de riego en variedades de quinua indica que *La Molina 89* en R1: 100% RRT, presenta mayor porcentaje de granos extra grandes (> 2 mm) y granos grandes (<2-1,7 mm)]. *Pasankalla* en R1: 100% RRT, obtuvo el mayor porcentaje de granos medianos (<1,7-1,4 mm)]. Finalmente, *Negra Collana* en R3: 75% RRT, obtuvo el mayor porcentaje de granos pequeños (<1,4 mm).

Los regímenes de riego en estudio no influyeron en el porcentaje de proteínas y saponinas de las variedades *La Molina 89*, *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*.

Los parámetros agronómicos presentaron alta significación en la interacción. En *La Molina 89* aumentó significativamente la eficiencia de uso del agua (EUA) e índice de cosecha (IC); en *Negra Collana*, el coeficiente de transpiración; en *Salcedo INIA*, el coeficiente de transpiración (CT) y, finalmente, en *Pasankalla*, no hubo diferencias significativas en ningún parámetro agronómico.

La variedad *La Molina 89* obtuvo un índice de rentabilidad de 176,5% en R1:100% RRT, de 113,2% en R2: 87,5% RRT y 72,0% en R3: 75% RRT, seguidos por *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*.

La Molina 89 fue la única variedad en manifestar aumentos significativos de los índices de rentabilidad conforme cambia el régimen de riego de 75% RRT, 87,5% RRT y 100% RRT. En cambio, los índices de rentabilidad de las variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana* fueron negativos y similares estadísticamente.

5. Agradecimientos

Esta investigación fue realizada exitosamente, gracias al soporte técnico y logístico de la Unidad de Investigación en Riegos, liderada por el Ing. Mg. Sc. Lorenzo Hurtado Leo, y al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, ambos pertenecientes al Departamento Académico de Suelos. De igual forma, se agradece el apoyo del equipo profesional y técnico del Programa de Cereales y Granos Nativos del

Departamento Académico de Fitotecnia, Facultad de Agronomía de la Unalm.

6. Literatura citada

- Apaza Tapia, W.E. 1995. Efectos de densidad y niveles de fertilidad en el rendimiento de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en costa central. Tesis Ing. Agr., Unalm, Lima. Perú. 112 p.
- 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 Ing. Agr., Unalm, Lima. Perú. 13-14, 59 p.
- Burin Díaz, Y. 2016. Rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo tres láminas de riego por goteo. Tesis Ing. Agr., Unalm, Lima. Perú. 55 p.
- FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT]. 2011. La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 2 p.
- FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT]/INIA [Instituto Nacional de Innovación Agraria, PE]. 2013. Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. 1ra ed. Lima, Perú. 11, 30-37, 42-44 p.
- FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT]/UNALM [Universidad Nacional Agraria La Molina, PE]. 2016. Guía de cultivo de la quinua. Gómez, L.; Castellano, E.A. (Eds.). Lima, Perú. 3-5, 9-16, 43, 47-50, 54 p.
- Fischer, S.; Wilkens, R.; Jara, J.; Aranda, M. 2013. Variation in antioxidant capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) subjected to drought stress. *Industrial Crops and Products* 46: 341-34.
- Garrido, M.; Silva, P.; Silva, H.; Muñoz, R.; Baginsky, C.; Acevedo, E. 2013. Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente

- mediterráneo. *Idesia* 31 (2): 69-76. CL.
- Geerts, S.; Raes, D.; Garcia, M.; Vacher, J.; Mamani, R.; Mendoza, J.; Huanca, R.; Morales, B.; Miranda, R.; Cusicanqui, J.; Taboada, C. 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy* 28: 427-436.
- Gómez, L. 2013. Adaptación de cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) para condiciones de costa central (diapositivas). Lima, Perú. 49 p.
- Huamancusi M., J.L. 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 Mg. Sc., Unalm, Lima. Perú. 104 p.
- Hurtado Leo, L. 2003. Manejo y Conservación del Suelo, Fundamentos y Prácticas. 2da edición. Pronamaches, Lima, Perú. 81-84, 349-355, 411-415, 476 p.
- Inca Kaya, C.; Yazar, A.; Sezen, M. 2015. Saltmed Model Performance on Simulation of Soil Moisture and Crop Yield for Quinoa Irrigated Using Different Irrigation Systems, Irrigation Strategies and Water Qualities in Turkey. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*: 108-118.
- INEI [Instituto Nacional de Estadística e Informática]/Minagri [Ministerio de Agricultura y Riego]. 2013. Resultados definitivos del IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Lima, Perú. 5 p.
- Jacobsen, S.E.; Manteros, C.; Christiansen, J.L.; Bravo, L.A.; Corcuera, L.J.; Mujica, A. 2005. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to frost at various phenological stages. *Eur. J. Agron.* 22: 131-139.
- Kozioł, M. 1990. Desarrollo del método para determinar el contenido de saponinas en la quinua. Tesis Ingeniero Agrónomo, Unalm, Lima. Perú.
- León Guzmán, R. 2014. Respuesta del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante 'La Molina 89-77' a tres regímenes de riego, en condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agr., Unalm, Lima. Perú.
- Martínez, E.A.; Veas, E.; Jorquera, C.; San Martín, R.; Jara, P. 2009. La reintroducción de *Chenopodium quinoa* Willd. en Chile árido: El cultivo de las dos carreras de tierras bajas bajo extremadamente bajo riego. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 1-10.
- Minagri [Ministerio de Agricultura y Riego]. 2013. Agro al día: base de datos Sistema de Inteligencia de Negocios. Lima, Perú. Disponible en <http://agroaldia.minag.gob.pe/sisin/clientes/hidricocadenas/Quinoa>
- Mori Rabanal, A.M. 2015. Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), mediante el riego por goteo. Tesis Ing. Agrícola, Unalm, Lima. Perú. 41 p.
- Onerm [Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales]. 1986. Información estadística: Superficie en hectáreas afectada por la salinidad en los valles de la costa 1986. Lima, Perú. Disponible en <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/superficie-hectareas-afectada-salinidad-valles-costa-1986>
- Quillatupa Astete, C.R. 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., Unalm, Lima. Perú. 1-10 p.
- Soliz-Guerrero, J.B.; Jasso de Rodríguez, D.; Rodríguez-García, R.; Angulo-Sánchez, J.L.; Méndez-Padilla, G. 2002. Quinoa saponins: concentration and composition analysis. In: Janick, J.; Whipkey, A. (Eds.). *Trends in New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, Egypt, 110-114 p.
- Soto, J.L.; Valdivia, R.; Solano, C. 2013. Normas técnicas para quinua y su contribución al comercio (diapositivas). Lima, Perú, 20 d.
- Talebnejad, R.; Sepaskhah, A.R. 2015. Effect

of deficit irrigation and different saline groundwater depths on yield and water productivity of quinoa. *Agricultural Water Management* 159: 225-238.

Zurita-Silva, A.; Jacobsen, S.E.; Razzaghi, F.; Alvarez, R.; Ruiz, K., Morales, A.; Silva, H. 2013. Respuesta a la Sequía y adaptación de la quinua. In: FAO/Cirad. Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago, Chile. 185 p.