

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“REGÍMENES DE RIEGO EN EL CRECIMIENTO Y
RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.) BAJO RIEGO POR GOTEO”**

Presentado por:

JOSÉ ANTONIO FRANCO VILLAFUERTE

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
INGENIERO AGRÓNOMO**

Lima – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“REGÍMENES DE RIEGO EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO
DE CUATRO VARIETADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*
Willd.) BAJO RIEGO POR GOTEO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
INGENIERO AGRÓNOMO**

JOSÉ ANTONIO FRANCO VILLAFUERTE

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Ing. Enrique Aguilar Castellanos
PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Lorenzo Hurtado Leo
PATROCINADOR

Ing. Mg. Sc. Luis Tomassini Vidal
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Elizabeth Heros Aguilar
MIEMBRO

Lima - Perú

2018

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza e inspiración en todos mis proyectos. Gracias a ti lo podré todo en la vida, solo muéstrame el camino por favor.

A mi familia que amo tanto. Siempre estaré agradecido con ustedes por todo el apoyo incondicional que me han mostrado. Ma, Pa, Tati y David, este logro son suyos también.

A mi Dayana Sánchez y amigos que nunca se cansaron de decirme: “Acaba de una vez esa tesis, mucho piensas... ☺”

AGRADECIMIENTOS

A mi patrocinador, el Ing. Mg. Sc. Lorenzo Hurtado Leo, por haberme dado la oportunidad de investigar este gran tema en la Unidad de Investigación en Riegos, y haberme brindado todo su apoyo y tiempo en la culminación de este trabajo.

A todo el equipo profesional técnico del Programa de Investigación de Cereales y Granos Andinos, en especial a la Dra. Luz Gómez, por donarme las semillas que se usaron en esta investigación; a la Ing. Martha Ibáñez, por darme las facilidades en el uso del Laboratorio de Calidad; a los Ing. Elizabeth Heros y Enrique Aguilar, por contribuir en la mejora de este trabajo; y la Sra. Ruth Paucar, por ayudarme en cualquier diligencia que necesitaba. Asimismo, agradezco el apoyo en general de mis amigos: Marisol Collazos, Yanina Mallqui, y los esposos Marcelina y Valentino.

Al Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes del Departamento Académico de Suelo, por colaborar con esta investigación en los análisis de caracterización de suelo y contenido de nitrógeno de los granos obtenidos. Asimismo, de este departamento académico, agradezco al Ing. Luis Tomassini, por contribuir en la mejora de este trabajo.

A los trabajadores de la sala de tesis de la Biblioteca Agrícola Nacional, el Sr. Mario Jaulis y el Sr. Delfín Huarcaya, por su amable y excelente atención.

A todos mis amigos que colaboraron con consejos, labores y evaluaciones de campo: Jhon Keller Camarena, Greta Luque, Carla Álvarez, Kathia Mejía, Patricia Mejía, Luz Huayhua, Hermes Montenegro, Gino Berrospi, Luis Marcas, Fredy Huamán, Renzo Méndez, Joao Echevarría, Rogelio León, Luigui Chumacero, Alonso Cárdenas, Katy Argumedo, Jorge Jiménez, Diego Arosi, Josue Castañeda, Karl Plaza, Nicolás Naveda, Augusto Benavides, Marlon Maldonado, Aurio Ortiz, entre otros.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. AGRONOMÍA DEL CULTIVO DE LA QUINUA	3
2.1.1. Descripción Botánica	6
2.1.2. Fenología del Cultivo	8
2.1.3. Requerimientos del cultivo.....	9
2.1.4. Fisiología de la quinua	14
2.1.5. Variedades de Quinua en estudio	16
2.2. RELACIONES HÍDRICAS EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS	17
2.2.1. Fisiología del estrés hídrico.....	20
2.2.2. Fundamentos del Riego	22
2.2.3. Regímenes de Riego en la quinua	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. MATERIALES	28
3.1.1. Ubicación del Campo experimental	28
3.1.2. Características Climatológicas	28
3.1.3. Características del Suelo	29
3.1.4. Características del Agua de Riego.....	32
3.1.5. Características de las variedades de quinua en estudio	32
3.1.6. Sistema de Riego por Goteo.....	35
3.1.7. Fertilizantes	35
3.1.8. Pesticidas	36
3.1.9. Equipos para Análisis de calidad.....	37
3.1.10. Otros	37
3.2. MÉTODOLÓGÍA	37
3.2.1. Factores en Estudio	38
3.2.2. Diseño Experimental	38
3.2.3. Características del campo experimental	39
3.2.4. Programación de los Regímenes de Riego	42
3.2.5. Conducción del Experimento	46
3.2.6. Cronología de Actividades	52

3.2.7.	Evaluaciones Experimentales.....	53
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	58
4.1.	RESULTADOS GENERALES.....	58
4.2.	VARIABLES DE CRECIMIENTO.....	61
4.2.1.	Altura de planta.....	61
4.2.2.	Longitud de panoja principal.....	65
4.2.3.	Área Foliar.....	69
4.2.4.	Número de Subpanojas.....	72
4.2.5.	Materia seca de panoja.....	73
4.2.6.	Materia seca total.....	78
4.3.	RENDIMIENTO EN GRANO.....	82
4.4.	COMPONENTES DE RENDIMIENTO.....	87
4.4.1.	Peso de granos por planta.....	87
4.4.2.	Peso de 1 000 granos.....	90
4.4.3.	Número de granos por planta.....	93
4.5.	COMPONENTES DE CALIDAD.....	96
4.5.1.	Granulometría (%).....	96
4.5.2.	Proteínas (%).....	102
4.5.3.	Saponinas (%).....	105
4.6.	PARÁMETROS AGRONÓMICOS.....	107
4.6.1.	Eficiencia de Uso de Agua (EUA- kg/m ³).....	107
4.6.2.	Coeficiente de Transpiración (CT-1/kg).....	110
4.6.3.	Índice de Cosecha (IC-%).....	112
4.6.4.	Índice de Área Foliar (IAF-cm ² /cm ²).....	115
4.7.	ANÁLISIS AGROECONÓMICO.....	118
4.7.1.	Índice de Rentabilidad (%).....	118
V.	CONCLUSIONES.....	122
VI.	RECOMENDACIONES.....	124
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	125
VIII.	ANEXOS.....	136

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Comparación del contenido de aminoácidos esenciales de la quinua con otros cereales importantes y con el patrón que se recomienda la FAO a niños entre 3-10 años.....	3
Cuadro 2: Resumen de los requerimientos de días para las fases y subfases	9
Cuadro 3: Absorción y remoción de nutrientes esenciales N, P y K por quinua	14
Cuadro 4: Huella de uso del agua (litros de agua por kilo de grano) y eficiencia hídrica de la producción de proteínas (g-proteínas en 100g de granos/1000g de agua) de granos.....	19
Cuadro 5: Principales modificaciones de la quinua para defenderse de la sequía.....	21
Cuadro 6: Eficiencia total de riego para diferentes sistemas y métodos de riego.....	23
Cuadro 7: Coeficientes de cultivo de las principales fases fenológicas de la quinua	24
Cuadro 8: Promedios mensuales de datos climáticos de La Molina.....	28
Cuadro 9: Análisis de caracterización de suelo (profundidad de 5 a 30 cm).....	31
Cuadro 10: Análisis del agua de riego	33
Cuadro 11: Comparación de las características agronómicas y calidad de las variedades	34
Cuadro 12: Fertilizantes usados en el experimento	35
Cuadro 13: Características de los pesticidas usados en el experimento	36
Cuadro 14: Modelo Aditivo Lineal del presente experimento (Parcelas divididas/Split Plot)	38
Cuadro 15: Fuentes de variación y grados de libertad de Experimento	39
Cuadro 16: Aleatorización de los tratamientos.....	40
Cuadro 17: Programación de Regímenes de Riego 1 (100% RRT), 2 (87.5% RRT) y 3 (75% RRT) en la variedad <i>La Molina 89</i>	44
Cuadro 18: Programación de Regímenes de Riego 1 (100% RRT), 2 (87.5% RRT) y 3 (75% RRT) en la variedad <i>Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana</i>	45
Cuadro 19: Cronograma de aplicación de los fertilizantes sintéticos	47
Cuadro 20: Plagas y enfermedades identificados en el experimento.....	50
Cuadro 21: Cronología de programación de labores culturales en el experimento	52
Cuadro 22: Resultados generales de la respuesta del régimen de riego, variedades	59
Cuadro 23: Resultados Generales de la respuesta de interacción Régimen de riego x Variedades	60
Cuadro 24: Altura de planta a los 90 dds y en cosecha; y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad	61
Cuadro 25: Longitud de panoja principal a los 90 dds y en cosecha; y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.....	65
Cuadro 26: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Longitud de panoja principal (en cosecha).....	66
Cuadro 27: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para la Longitud de panoja principal en cosecha, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 %	68
Cuadro 28: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Área foliar.....	69
Cuadro 29: Respuesta de la interacción Régimen de riego x Variedades de quinua para el Área foliar, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad.....	70
Cuadro 30: Número de subpanojas y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad	72

Cuadro 31: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Materia seca de panoja a los 90 dds y en cosecha	74
Cuadro 32: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Materia seca de panoja (a los 90 dds y cosecha), mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 %	76
Cuadro 33: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Materia seca total a los 90 dds y en cosecha	79
Cuadro 34: Respuesta del Régimen de riego en Variedades de quinua para Materia seca total (90 dds y en cosecha), mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 %	80
Cuadro 35: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Rendimiento en grano.....	82
Cuadro 36: Respuesta de la interacción Régimen de riego x Variedades de quinua para Rendimiento en grano, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad	83
Cuadro 37: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Peso de granos por planta.....	88
Cuadro 38: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Peso de granos por planta, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 %	89
Cuadro 39: Peso de 1000 granos y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad	91
Cuadro 40: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Número de granos por planta.....	93
Cuadro 41: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Número de granos por planta, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 %	95
Cuadro 42: Comparación de medias de Granulometría (4 tamaños) de los 12 tratamientos en estudio (formados por la interacción del régimen de riego con variedades de quinua).....	96
Cuadro 43: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Granos con diámetro de > 2 mm (extra grandes) mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 %	99
Cuadro 44: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Granos con diámetro de < 2 - 1.7 mm] (grandes) mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1%	99
Cuadro 45: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Granos con diámetro de <1.7 - 1.4 mm] (medianos) mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 5	101
Cuadro 46: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Granos con diámetro de < 1.4 mm (pequeños) mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 %	101
Cuadro 47: Porcentaje de proteínas y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad	102
Cuadro 48: Porcentaje de saponinas y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad.....	105
Cuadro 49: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Eficiencia de Uso de Agua (EUA)	107
Cuadro 50: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Eficiencia de Uso de Agua, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 %	108
Cuadro 51: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Coeficiente de Transpiración (CT).....	110
Cuadro 52: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Coeficiente de Transpiración, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1%....	111

Cuadro 53: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Índice de Cosecha (IC)	113
Cuadro 54: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Índice de Cosecha, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad.....	114
Cuadro 55: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Índice de Área Foliar (IAF)	115
Cuadro 56: Respuesta de la interacción del Régimen de riego en Variedades de quinua para Índice de Área Foliar, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad	117
Cuadro 57: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Índice de Rentabilidad.....	118
Cuadro 58: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Índice de Rentabilidad, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 %	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Uso industrial del grano de quinua (Fuente: Montoya <i>et al.</i> 2005).....	4
Figura 2: Exportación de la quinua periodo 2011 – 2017.	5
Figura 3: Hábitos de crecimiento de la quinua: 1 Simple, 2 Ramificado hasta el tercio inferior, 3 Ramificado hasta el segundo tercio y 4 Ramificado con panoja principal no diferenciada.....	6
Figura 4: Curva Característica de Humedad del Suelo de la Parcela Experimental	30
Figura 5: Esquema de aleatorización de los tratamientos en Parcelas Divididas (Split Plot)	41
Figura 6: Plagas y enfermedades más importantes encontradas en el experimento.....	49
Figura 7: Conducción del experimento (agronómica y calidad de granos)	51
Figura 8: Efectos principales de los Regímenes de riego y Variedades de quinua en Altura de planta a los 90 dds y en cosecha	63
Figura 9: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en la Longitud de panoja principal en cosecha.....	66
Figura 10: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Área foliar	69
Figura 11: Efectos principales de los Regímenes de riego y Variedades de quinua en Número de subpanojas	73
Figura 12: Efecto de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Materia seca de panoja a los 90 dds y en cosecha	75
Figura 13: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Materia seca total a los 90 dds y en cosecha	78
Figura 14: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Rendimiento	82
Figura 15: Función de Producción de las Variedades de quinua en estudio	86
Figura 16: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Peso de granos por planta	88
Figura 17: Efectos principales de los Regímenes de Riego y Variedades de quinua en Peso 1000 granos	91
Figura 18: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Número de granos por planta	94
Figura 19: Granulometría (%) de los 12 tratamientos en estudio (formados de la interacción de 3 Regímenes de riego con 4 Variedades de quinua)	97
Figura 20: Efectos principales de los regímenes de riego y variedades de quinua en Porcentaje de proteínas	103
Figura 21: Efectos principales de los Regímenes de riego y Variedades de quinua en Porcentaje de saponinas	106
Figura 22: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en EUA	107
Figura 23: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en CT .	110
Figura 24: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en IC ..	113
Figura 25: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en IAF	116
Figura 26: Efecto de la interacción en Índice de Rentabilidad	119

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Programación de régimen de riego 1 (100% RRT) en la variedad <i>La Molina 89</i>	137
ANEXO 2: Programación de régimen de riego 2 (87.5% RRT) en la variedad <i>La Molina 89</i>	138
ANEXO 3: Programación de régimen de riego 3 (75% RRT) en la variedad <i>La Molina 89</i>	139
ANEXO 4: Programación de régimen de riego 1 (100% RRT) en las variedades <i>Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana</i>	140
ANEXO 5: Programación de régimen de riego 2 (87.5% RRT) en las variedades <i>Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana</i>	141
ANEXO 6: Programación de régimen de riego 3 (75% RRT) en las variedades <i>Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana</i>	142
ANEXO 7: Estimación de la Evapotranspiración en los meses Octubre – Febrero por el Producto Tecnológico “Agro al Día”	143
ANEXO 8: ANOVA de Altura de planta (a los 90 dds).....	143
ANEXO 9: ANOVA de Altura de planta (En Cosecha).....	144
ANEXO 10: ANOVA de Longitud de Panoja principal (A los 90 dds).....	144
ANEXO 11: ANOVA y Análisis de efectos simples de Longitud de Panoja principal (cosecha)	144
ANEXO 12: ANOVA y Análisis de efectos simples de Área Foliar	145
ANEXO 13: ANOVA de Número de subpanojas	146
ANEXO 14: ANOVA y Análisis de efectos simples de Materia seca de panoja (A los 90 dds) .	146
ANEXO 15: ANOVA y Análisis de efectos simples de Materia seca de panoja (En la Cosecha)	147
ANEXO 16: ANOVA y Análisis de efectos simples de Materia seca total (A los 90 dds).....	147
ANEXO 17: ANOVA y Análisis de efectos simples de Materia seca total (En Cosecha).....	148
ANEXO 18: ANOVA y Análisis de efectos simples de Rendimiento total.....	149
ANEXO 19: ANOVA y Análisis de efectos simples de Peso de granos por planta.....	149
ANEXO 20: ANOVA de Peso de 1,000 granos	150
ANEXO 21: ANOVA y Análisis de efectos simples de Número de granos por planta	150
ANEXO 22: ANOVA y Análisis de efectos simples de Granulometría Tamiz 10	151
ANEXO 23: ANOVA y Análisis de efectos simples de Granulometría Tamiz 12	152
ANEXO 24: ANOVA y Análisis de efectos simples de Granulometría Tamiz 14	152
ANEXO 25: ANOVA y Análisis de efectos simples de Granulometría Fondo	153
ANEXO 26: ANOVA de Porcentaje de Proteínas	154
ANEXO 27: ANOVA de Porcentaje de Saponinas	154
ANEXO 28: ANOVA de Eficiencia de Uso de Agua	154
ANEXO 29: ANOVA de Coeficiente de transpiración	155
ANEXO 30: ANOVA de Índice de Cosecha.....	156
ANEXO 31: Peso de granos por planta a partir de las 5 muestras seleccionadas	156
ANEXO 32: ANOVA de Índice de Área Foliar.....	157
ANEXO 33: ANOVA de Índice de Rentabilidad.....	158
ANEXO 34: Costo de Producción de Quinoa <i>La Molina 89</i> – Régimen de Riego 1 (100%)	159
ANEXO 35: Costo de Producción de Quinoa <i>La Molina 89</i> – Régimen de Riego 2 (87.5%).....	160
ANEXO 36: Costo de Producción de Quinoa <i>La Molina 89</i> – Régimen de Riego 3 (75.0%).....	161
ANEXO 37: Análisis Agroeconómico de las cuatro variedades de quinuas en tres regímenes	162

LISTA DE ACRÓNIMOS

ABA	:	Ácido Abscísico
ADEX	:	Asociación de Exportadores
ALADI	:	Asociación Latinoamericana de Integración
ANOVA	:	Análisis de Varianzas
CELLS	:	Sistema Ecológico de Apoyo de Vida Controlado
CT	:	Coefficiente de Transpiración
EEA	:	Estación Experimental Agraria
EUA	:	Eficiencia de Uso de Agua
FAO	:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación
IAF	:	Índice de Área Foliar
IC	:	Índice de Cosecha
INEI	:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INIA	:	Instituto Nacional de Innovación Agraria
MINAGRI	:	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	:	Ministerio de Ambiente
NASA	:	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio
NGP	:	Número de Granos por Planta
ONERM	:	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
RG	:	Radiación Global
RLAF	:	Riego Localizado de Alto Frecuencia
RRN	:	Requerimiento de Riego Neto
RRT	:	Requerimiento de Riego Total
SEPA	:	Serie Estadísticas de Producción Agrícola
UNALM	:	Universidad Nacional Agraria La Molina

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue determinar la respuesta de tres regímenes de riego en el crecimiento, rendimiento y calidad de grano, 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), durante los meses de octubre del 2013 y abril del 2014. Las 4 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 = 4 800 m³/ha (100% Requerimiento de Riego Total), R2 = 4 200 m³/ha (87.5% RRT) y R3 = 3 600 m³/ha (75 % RRT). El diseño experimental empleado fue el de parcelas divididas. Los regímenes de riego se asignaron aleatoriamente a nivel de parcela y las variedades de quinua se asignaron aleatoriamente a nivel de subparcelas.

En relación a la respuesta del régimen de riego, R1 obtuvo un rendimiento de 2 243 kg/ha, siendo superior en 24.4% y 52.8% a R2 y R3; respectivamente. En la variable materia seca de panoja, R1 obtuvo 76.34 g, el cual fue superior en 12.1% y 31.4% a R2 y R3; respectivamente. En el caso de materia seca total, R1 acumuló 131.4 g/planta, siendo superior en 11.5% y 33.2% a R2 y R3; respectivamente. Respecto al peso de 1 000 granos, R1 obtuvo 1.9284 g, el cual fue superior en 5.4% y 13.9% a R2 y R3; respectivamente. Finalmente, en el parámetro agronómico eficiencia de uso de agua (EUA), R1 presentó un valor de 0.48 kg/m³, siendo superior en 6.7% y 14.2% a R2 y R3; respectivamente.

En relación a la respuesta de las variedades, *La Molina 89* obtuvo un rendimiento de 5 902 kg/ha, el cual fue superior en 579.2%, 2 371% y 1 624% a *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*; respectivamente. En la variable materia seca de panoja, *La Molina 89* obtuvo 144.6 g, siendo superior en 203.6%, 262.4% y 282.7% a *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*; respectivamente. En el caso de materia seca total, *La Molina 89* acumuló 226.6 g/planta, siendo superior en 160.1%, 172.8% y 237.1% a *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*; respectivamente. Respecto al peso de 1 000 granos, *La Molina 89* obtuvo 2.2879 g, el cual fue superior en 2%, 40.2% y 106.6% a *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*; respectivamente. Finalmente, en el más importante parámetro agronómico, eficiencia de uso de agua (EUA), *La Molina 89* obtuvo 1.39 kg/m³, superior en 456%, 1 885% y 1 290% a *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*, respectivamente.

Asimismo, 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. Precisamente, el máximo rendimiento en grano se presentó con *La Molina 89* aplicando R1, obteniéndose 7 343 kg/ha; el cual representó un incremento de 28.3 % y 58.1% en R2 y R3; respectivamente. En relación a la granulometría, *La Molina 89* en R1, presentó mayor porcentaje de granos extra grandes (> 2 mm) y granos grandes (<2-1.7 mm)]; *Pasankalla* en R1, obtuvo el mayor porcentaje de granos medianos (<1.7-1.4 mm)]; y *Negra Collana* en R3, obtuvo el mayor porcentaje de granos pequeños (<1.4 mm). En relación a los parámetros agronómicos, *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 presentó diferencias significativas. Respecto al índice de rentabilidad, *La Molina 89* obtuvo el mayor valor con 176.5 % en R1, seguido de R2 con 113.2%, y R3 con 72.0%, luego le siguen las variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*, las cuales presentaron valores negativos. Finalmente, 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*.

Palabras Claves: *Chenopodium quinoa*, *La Molina 89*, déficit hídrico, regímenes de riego, riego por goteo, rendimiento

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the response of three irrigation levels on the growth, yield and grain quality of four varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). The experimental test was carried out in the Unidad de Investigación en Riegos of the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), during the months of October 2013 and April 2014. The 4 varieties under study were: V1 = *La Molina 89*, V2 = *Salcedo INIA*, V3 = *Pasankalla* and V4 = *Negra Collana*; and the irrigation levels 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 that of Split Plot. Irrigation levels were randomly assigned at plot level and quinoa varieties were randomly assigned at the subplot level.

In relation to the response of the irrigation levels, R1 obtained a yield of 2 243 kg/ha, being superior in 24.4% and 52.8% to R2 and R3; respectively. In the variable panicle dry matter, R1 obtained 76.34 g, which was higher in 12.1% and 31.4% in R2 and R3; respectively. In the case of total dry matter, R1 accumulated 131.4 g/plant, being superior in 11.5% and 33.2% to R2 and R3; respectively. Regarding the weight of 1 000 grains, R1 obtained 1.9284 g, which was superior in 5.4% and 13.9% to R2 and R3; respectively. Finally, in the agronomic parameter irrigation water use efficiency (WUEI), R1 presented a value of 0.48 kg/m³, being superior in 6.7% and 14.2% to R2 and R3; respectively.

Regarding the response of the varieties, *La Molina 89* obtained a yield of 5 902 kg/ha, which was superior in 579.2%, 2 371% and 1 624% to *Salcedo INIA*, *Pasankalla* and *Negra Collana*; respectively. In the variable, panicle dry matter, *La Molina 89* obtained 144.6 g, being superior in 203.6%, 262.4% and 282.7% to *Salcedo INIA*, *Pasankalla* and *Negra Collana*; respectively. In the case of total dry matter, *La Molina 89* accumulated 226.6 g/plant, being superior in 160.1%, 172.8% and 237.1% to *Salcedo INIA*, *Pasankalla* and *Negra Collana*; respectively. Regarding the weight of 1 000 grains, *La Molina 89* obtained 2.2879 g, which was superior in 2%, 40.2% and 106.6% to *Salcedo INIA*, *Pasankalla* and *Negra Collana*; respectively. Finally, in the most important agronomic parameter, irrigation water use efficiency (WUEI), *La Molina 89* obtained 1.39 kg/m³, 456% higher, 1 885% and 1 290% to *Salcedo INIA*, *Pasankalla* and *Negra Collana*, respectively.

Besides, the interaction of the irrigation level in the quinoa varieties was significant in the length of the main panicle, leaf area, panicle dry matter, total dry matter, grain yield, grain weight per plant, number of grains per plant, all the sizes of the granulometry, all the agronomic parameters and profitability index. Precisely, the maximum grain yield was presented with *La Molina 89* applying R1, obtaining 7 343 kg/ha; which represented an increase of 28.3% and 58.1% in R2 and R3; respectively. In relation to the granulometry, *La Molina 89* in R1, presented a higher percentage of extra-large grains (> 2 mm) and large grains (<2-1.7 mm); *Pasankalla* in R1, obtained the highest percentage of medium grains (<1.7-1.4 mm]); and *Negra Collana* in R3, obtained the highest percentage of small grains (<1.4 mm). Regarding the agronomic parameters, *Molina 89* significantly increased the irrigation water use efficiency (WUEI) and harvest index (HI); in *Negra Collana*, the transpiration coefficient (TC); in *Salcedo INIA*, the TC; and finally, in *Pasankalla*, there were no significant differences. Regarding the profitability index, *La Molina 89* obtained the highest value with 176.5% in R1, followed by R2 with 113.2%, and R3 with 72.0%, followed by *Salcedo INIA*, *Pasankalla* and *Negra Collana*, which presented negative values. Finally, the irrigation levels under study did not influence the percentage of proteins and saponins of the varieties *La Molina 89*, *Salcedo INIA*, *Pasankalla* and *Negra Collana*.

Keywords: *Chenopodium quinoa*, *La Molina 89*, deficit irrigation, irrigation levels, drip irrigation, yield

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura mundial constantemente afronta el reto de abastecer alimentos de calidad a todos los habitantes de este planeta, siendo cada vez más difícil cumplir esta misión por el constante incremento demográfico y la disminución de los recursos naturales para la producción agrícola, entre ellas el agua y el suelo; precisamente, la sequía y la salinidad de los suelos están afectando la productividad de los sistemas agrícolas (Bosque *et al.* 2013). La costa peruana no es ajena a esta problemática mundial, ya que se estima la existencia de más de 300 000 hectáreas de suelos salinos (ONERN, 1986) debido al deficiente drenaje en muchas áreas, prácticas de riego defectuosos y uso de una mala calidad del recurso hídrico, lo que conlleva a reducir o impedir el crecimiento adecuado de los cultivos (Hurtado, 2003). Simultáneamente, esto se agrava con el proceso de calentamiento global que está generando cambios climáticos que han afectado los regímenes normales y calendarizados de las lluvias en las sierras; y han derretido los glaciares en 42.64 por ciento a nivel nacional respecto a los registrados en 1970 (MINAM, 2016); en consecuencia, la oferta hídrica a largo plazo se verá disminuida provocando estrés hídrico en diferentes zonas de la vertiente del Pacífico. Hasta el momento, según el IV Censo Nacional Agropecuario 2012, se tiene aproximadamente 207 827 hectáreas de tierras no sembradas por falta de agua en la Costa, representando el 55 por ciento a nivel nacional con ese problema INEI/MINAGRI (2013). Para lograr revertir todo lo acontecido se tiene que mitigar la sequía, aumentar la productividad del agua (Smith, 2000) y seleccionar especies y/o genotipos capaces de producir bajo estas condiciones de estrés.

Ante esta gran problemática, en los últimos años se ha revalorizado y promovido con mucha fuerza a nivel nacional e internacional la siembra del cultivo de quinua, debido a su gran importancia agronómica de adaptarse en distintos tipos de climas y en condiciones desfavorables de estrés hídrico y salino; es así, que la siembra de este cultivo en la costa peruana (tradicionalmente cultivado en el altiplano y valles interandinos) tiene un enorme potencial para su expansión y producción. De igual manera, se debe resaltar la gran importancia nutricional de la quinua en suministrar alto contenido de proteínas y

aminoácidos de calidad tales como la lisina, isoleucina y metionina, además posee una razonable concentración de almidón, fibra dietaria, aceites, vitaminas (A, B2, E) y minerales (Ca, Fe, Cu, Mg, Zn). Es por todo ello, que la FAO afirma que la quinua es uno de los cultivos destinados a ofrecer seguridad alimentaria durante este siglo (FAO, 2011); lo cual se puede confirmar en nuestro país con un progresivo aumento de la superficie cultivada a 64 223 hectáreas y con una producción total de 70 269 toneladas (SEPA, 2016).

La mejor forma de mitigar la sequía y aumentar la productividad del uso hídrico en nuestra Costa, es usando tecnología de Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF), conocidamente como riego por goteo. Este tipo de riego es altamente eficiente con valores promedio de 85 por ciento 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 de la quinua (Garrido *et al.* 2013); y las que existen, la mayoría de ellos se tratan de variedades extranjeras (no usadas en el Perú) estudiadas en condiciones agroclimáticas de otros países. Por esta razón, esta tesis pretende estudiar la respuesta del régimen de riego en variedades peruanas del altiplano, que a través de la experiencia han demostrado rendir óptimamente bajo las condiciones de Costa, sin embargo con poco enfoque en el abastecimiento hídrico. El impacto que pretende esta investigación alcanzar es conocer el mejor régimen de riego que logre obtener altos rendimientos y altos estándares de calidad de grano para cada variedad estudiada. Es importante señalar que las condiciones agroecológicas del campo experimental fueron las idóneas para representar acertadamente la problemática de nuestra agricultura costera, ya que el suelo y agua que se usaron fueron moderadamente y altamente salino; respectivamente. Finalmente, se espera que esta tesis contribuya de alguna forma al desarrollo sostenible de la quinua en la Costa; por ello, se plantea como objetivos principales:

- Determinar la respuesta de tres regímenes de riego en el crecimiento, rendimiento y calidad de cuatro variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).
- Determinar las respuestas de interacción en el potencial de producción del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).
- Determinar los parámetros agronómicos del cultivo de quinua bajo riego por goteo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. AGRONOMÍA DEL CULTIVO DE LA QUINUA

En la actualidad, existen numerosas investigaciones que demuestran que la quinua es un cultivo extraordinario por presentar múltiples cualidades, convirtiéndolo en un producto importante para la seguridad alimentaria mundial. Este cultivo andino, que fue rechazado en un comienzo por los colonizadores españoles y hasta hace pocos años por la mayoría de peruanos, es reconocido mundialmente por sus cualidades nutricionales, las cuales han sido destacadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), quien manifiesta que la quinua es el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales (Koziol 1992; González *et al.* 2012), sobresaliendo la lisina, histidina y arginina, que son los más escasos en las fuentes de origen vegetal (León, 2014).

Cuadro 1: Comparación del contenido de aminoácidos esenciales de la quinua con otros cereales importantes y con el patrón que se recomienda la FAO a niños entre 3-10 años

Aminoácido esencial	FAO ^a	Quinua ^b	Maíz ^b	Arroz ^b	Trigo ^b
Isoleucina	3.0	4.9	4.0	4.1	4.2
Leucina	6.1	6.6	12.5	8.2	6.8
Lisina	4.8	6.0	2.9	3.8	2.6
Metionina ^c	2.3	5.3	4.0	3.6	3.7
Fenilalanina ^d	4.1	6.9	8.6	10.5	8.2
Treonina	2.5	3.7	3.8	3.8	2.8
Triptófano	0.7	0.9	0.7	1.1	1.2
Valina	4.0	4.5	5.0	6.1	4.4

^a Patrones de puntuación de los aminoácidos para niños de edades comprendidas entre los 3 y 10 años, adaptados por la FAO (2013), Dietary protein quality evaluation in human nutrition, Report of an FAO Expert Consultation. Roma.

^b Koziol (1992)

^c Metionina + cisteína

^d Fenilalanina + tirosina

Fuente: FAO (2013)

En efecto, la principal *característica nutricional* de los granos de quinua es la excelente calidad de sus proteínas, que son del tipo albumina y globulina (FAO, 2011), las cuales contienen aminoácidos esenciales en cantidades cercanas al equilibrio humano necesario (Schlick, G., y Bubenheim, 1996). Lo anterior se puede apreciar claramente en el Cuadro 1, donde el contenido de aminoácidos esenciales de la quinua cumple con el patrón de puntuación que recomienda la FAO para niños entre los 3 y 10 años (FAO, 2013), asimismo se demuestra que el contenido de isoleucina, lisina y metionina en la quinua es superior a cereales importantes como el maíz, arroz y trigo. Estas cualidades le ha valido para que la NASA la incluya dentro del sistema CELLS (en español: Sistema Ecológico de Apoyo de Vida Controlado) con la finalidad de equipar sus cohetes en los viajes espaciales de larga duración (FAO, 2011; Schlick y Bubenheim, 1996).

Otra cualidad importante que se le confiere a la quinua es su *versatilidad industrial*, ya que todas las partes anatómicas de esta planta pueden industrializarse. Por ejemplo de las hojas se puede obtener harina, colorantes y ensilajes; de los tallos se puede utilizar su fibra natural como materia prima para la fabricación de papel y cartón; de los granos se obtiene las saponinas y los granos perlados (Figura 1). Las saponinas se utilizan en las industrias farmacéuticas, cosméticos, alimentos y mineras. Por ejemplo, concentraciones entre 5 y 6 por ciento son frecuentemente empleadas en formulaciones de jabones, champú, pasta dental y sales de baño. De otra parte, también se emplean en la obtención de cerveza, hormonas sintéticas, pesticidas, cremas hidratante y corporal, agente emulsionante de grasas, antibióticos, etc. (Montoya *et al.* 2005).



Figura 1: Uso industrial del grano de quinua (Fuente: Montoya *et al.* 2005)

La siguiente cualidad reconocida a la quinua es su *gran valor agronómico*, el cual se destaca su excelente capacidad de adaptación a diferentes pisos agroecológicos, tolerancia a las sequías y a diversas condiciones edáficas.

Indiscutiblemente por todo lo explicado, la quinua ha sido merecedor de ser reconocida por la FAO como uno de los cultivos promisorios de la humanidad en 1996, y denominado el año 2013 como “Año Internacional de la Quinua”, convirtiéndose en el cultivo estratégico de esta institución para lograr el Primer Objetivo de Desarrollo del Milenio: Erradicar la pobreza extrema y el hambre (FAO/ALADI, 2014)



Figura 2: Exportación de la quinua periodo 2011 – 2017. Actualizado hasta el 19 julio del 2018.
(Fuente: ADEX, Elaboración propia)

Precisamente, la Figura 2 demuestra la valoración mundial hacia la quinua mediante el precio internacional por kilogramo, apreciándose que el *boom* de este producto comenzó en el 2012 con un precio promedio anual de US\$ 2.90 por kilogramo llegando a costar 6.17 dólares en el mes de enero del 2014 (US\$ 5.37/kg promedio anual), reflejando de esta forma una creciente demanda mundial. Sin embargo, debido a la sobreoferta que se fueron presentando después de ese mes, los precios han ido cayendo significativamente hasta costar US\$ 2.32 por kilogramo el año 2016 (ADEX, 2018). Según Canaviri (2015), esta sobreoferta se debió a que este gran alimento despertó el interés de 68 países en cultivarlo. A pesar de ello, se aprecia también que el volumen exportado sigue en tendencia positiva, alcanzándose a exportar 52 090 toneladas principalmente a los países de Estados Unidos, Holanda, Canadá, Italia, Reino Unido y Francia (ADEX, 2018).

2.1.1. Descripción Botánica

La planta de quinua se caracteriza por ser de tipo anual, dicotiledónea, usualmente herbácea, que alcanza una altura de 0.2 a 3.0 m, asimismo presenta una arquitectura y colores de granos muy variables que van depender de la variedad, el medio agroecológico y el manejo agronómico. Cada órgano botánico a continuación ha sido descrito detalladamente por Tapia (1997), Gandarillas (1979), FAO/UNALM (2016) y otros investigadores.

En principio, *la raíz* es del tipo pivotante que consta de una raíz principal de la cual salen un gran número de raíces laterales muy ramificadas. La longitud de las raíces es variable, siendo entre 0.5 a 1.5 m. Su desarrollo y crecimiento está determinado por el genotipo, tipo de suelos, nutrición y humedad entre otros factores. La elongación de la raíz primaria se considera beneficioso para la adquisición de recursos hídricos más profundos y más seguros, mientras que una densa ramificación de la raíz podría conducir al rápido agotamiento de un recurso hídrico poco fiable de las capas superficiales del suelo (Padilla y Pugnaire, 2007).

El tallo al cuello de la raíz es cilíndrico y a medida que se aleja del suelo se vuelve anguloso en las zonas de nacimiento de hojas y ramas. La corteza es firme y compacta formada por tejidos fuertes y lignificados.

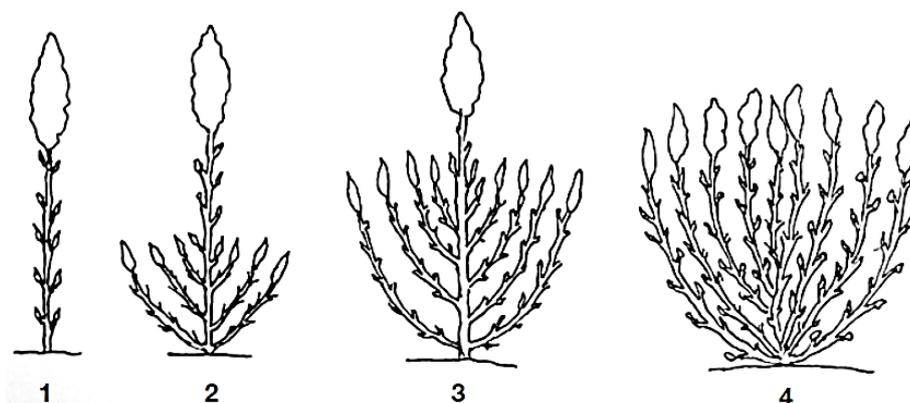


Figura 3: Hábitos de crecimiento de la quinua: 1 Simple, 2 Ramificado hasta el tercio inferior, 3 Ramificado hasta el segundo tercio y 4 Ramificado con panoja principal no diferenciada (Rojas y Pinto 2013; Bioversity International et al. 2013)

Según el desarrollo de la ramificación se pueden encontrar plantas con un solo tallo principal y ramas laterales muy cortas en los ecotipos del altiplano, o plantas con todas las ramas de igual tamaño en los ecotipos de valle, dándose todos los tipos intermedios también (Figura 3). Este desarrollo de la arquitectura de la planta está sujeto a modificación, según el manejo

agronómico (principalmente densidad de siembra) y condiciones climáticas donde crezca el cultivo (Gandarillas, 1968; Tapia, 1990; Mujica, 1992).

Las hojas son de carácter polimórfico en una sola planta; las basales son grandes y pueden ser romboidales o triangulares, mientras que las hojas superiores generalmente alrededor de la panoja son lanceoladas. El peciolo de las hojas es largo y acanalado, su longitud depende de su origen; son más largos los peciolos que se originan directamente del tallo y más cortos los que se originan en las ramas. Su color va desde el verde hasta el rojo, pasando por el amarillo y el violeta, según la naturaleza y la importancia de los pigmentos. Estos gránulos contienen células ricas en oxalato de calcio y son capaces de retener una película de agua, lo que aumenta la humedad relativa de la atmósfera que rodea a la hoja y, consecuentemente, disminuye la transpiración (Tapia, 1990; Dizes y Bonifacio, 1992; Rojas, 2003).

La inflorescencia es racimosa y se denomina panoja por tener un eje principal más desarrollado (entre 15 a 70 cm de longitud), del cual se originan los ejes secundarios y en algunos casos terciarios. Considerando la forma y posición de los glomérulos (grupos de flores) se clasifican en amarantiformes, glomerulatas e intermedias. En el grupo amarantiforme, los glomérulos están directamente insertados en el eje secundario y los glomérulos tienen una forma casi rectangular, muy semejantes a dedos. En el tipo glomerulata, los glomérulos están ubicados en el eje terciario que se origina del eje secundario y toman la apariencia redondeada como las cuentas de un rosario. En el tipo intermedio, los glomérulos tienen una forma no definida (entre rectangulares o redondeados). La longitud de los ejes secundarios y terciarios determina si la inflorescencia puede ser laxa, intermedia o compacta; esta última característica está asociada al tamaño de los granos, siendo los más pequeños, los formados en panojas compactas (FAO/UNALM, 2016).

Las flores son muy pequeñas y densas, lo cual hacen difícil la emasculación; se ubican en grupos formando glomérulos, son sésiles, de la misma coloración que los sépalos y pueden ser hermafroditas, pistiladas o androestériles; por esta última peculiaridad en la quinua, se le clasifica como planta ginomonoica. Las flores hermafroditas se encuentran en el ápice del glomérulo y son más grandes que las pistiladas, asimismo éstas se encuentran alrededor y debajo de las flores hermafroditas. La proporción de flores hermafroditas y pistiladas es variable; el rango encontrado varía de 2 a 98%; esta proporción es importante si el cultivo se siembra en forma aislada, ya que influye en la cantidad de frutos formados. Finalmente,

a la quinua se le considera autógama, con un porcentaje de cruzamiento de 17%, aproximadamente (FAO/UNALM, 2016).

El fruto es un aquenio de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, cubierto por el perigonio sepaloide o las envolturas florales que rodean el fruto y se desprenden con facilidad a la madurez; sin embargo, en algunos casos puede permanecer adherido al grano incluso después de la trilla dificultando la cosecha y el procesamiento industrial de los granos. El fruto está constituido del pericarpio (capa del fruto) y la semilla. El pericarpio está adherido a la capa de las semillas y el nivel de adherencia es variable, tiene alveolos en su superficie y la saponina que le da el sabor amargo al grano (FAO/UNALM, 2016).

Finalmente, *la semilla* presenta tres partes bien definidas que son: epispermo, embrión y perisperma. El epispermo, es la capa que cubre la semilla y está adherida al pericarpio. El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula, constituyendo aproximadamente el 30% del volumen total de la semilla; éste envuelve al perispermo como un anillo a una curvatura de 320 grados. El perispermo es el principal tejido de almacenamiento; reemplaza al endospermo y está constituido mayormente por granos de almidón, es de color blanquecino representando prácticamente el 60% de la semilla. El color de los granos depende de la capa en observación, es decir por diversos motivos se podría observar el perigonio sepaloide o el pericarpio o el episperma. Es importante resaltar que el color del pericarpio o capa del fruto y el color del epispermo o capa de las semillas puede ser diferente en la misma semilla. (FAO/UNALM, 2016).

2.1.2. Fenología del Cultivo

A partir del desarrollo fenológico de variedades de quinuas peruanas, Quillatupa (2009) y Gómez (2013) determinaron una nueva escala decimal para la quinua en base a lo observado en su investigación y a las definiciones de las fases de crecimiento y desarrollo por diferentes autores y cultivos, que es muy semejante a lo propuesta para cereales por Zadocks *et al.* (1974). Esta nueva escala (Cuadro 2) se desarrolló en base a la descripción de la fenología de la quinua de Mujica (2006), además del código decimal desarrollado por Limburg y Mastebroek (1996). En promedio, el desarrollo fenológico completo de la quinua en condiciones de La Molina (Lima) duraría 136 días.

Cuadro 2: Resumen de los requerimientos de días para las fases y subfases de las accesiones estudiadas (La Molina 2007-2008). Escala Gomez y Quillatupa

FASE Y SUBFASES	PROMEDIO DE DÍAS
0.0-0.9 GERMINACIÓN	4.63
Emergencia	3.44
Hojas cotiledonales extendidas	4.63
1.0-1.9 DESARROLLO VEGETATIVO	33.56
Dos hojas verdaderas desplegadas	10.44
Cuatro hojas verdaderas desplegadas	16.63
Seis hojas verdaderas desplegadas	22.56
Ocho hojas verdaderas desplegadas	28.25
Diez hojas verdaderas desplegadas	33.56
2.0-2.9 RAMIFICACIÓN	28.88
3.0-3.9 DESARROLLO DEL BOTON FLORAL	44.88
Botón Floral visible	33.94
Botón Floral	40.88
Botón Floral	44.88
4.0-4.9 DESARROLLO DE LA INFLORESCENCIA	59.81
Inicio de Pirimidación	49.94
Pirimidación completa	59.81
5.0-5.1 FLORACIÓN	76.88
Inicio de Floración	61.25
Plena Floración	76.88
6.0-6.1 ANTESIS	81.88
7.0-7.9 GRANO ACUOSO	100.44
8.0-8.9 GRANO LECHOSO	114.19
9.0-9.9 GRANO PASTOSO	135.94
Grano pastoso suave (madurez fisiológica)	125.31
Grano pastoso duro (grano rayable con la uña)	135.94

Fuente: Quillatupa (2009)

2.1.3. Requerimientos del cultivo

Los principales requerimientos de la quinua contempla cuatro aspectos: (1) el climático (temperatura, humedad atmosférica, radiación solar y fotoperiodo), (2) el hídrico (precipitaciones y regímenes de riego), (3) el edáfico (características físicas, químicas y biológicas) y (4) el nutricional (fórmulas de fertilización).

Dentro del *aspecto climático* para la quinua, gracias a su alta variabilidad genética se puede adaptar a diferentes climas; desde aquellos calurosos y secos en la costa desértica (0 – 500 msnm), a aquellos templados lluviosos (500 – 2500 msnm) o secos en los valles interandinos (2500 – 3500 msnm); y finalmente, a aquellos fríos y lluviosos o secos en la sierra alta y el altiplano (3500 – 4000 msnm) (FAO/UNALM, 2016).

Respecto a la temperatura, su media adecuada para su crecimiento se encuentra entre 15-20 °C, sin embargo puede crecer a temperaturas medias que varían de 10 a 25 °C. Las temperaturas extremadamente altas pueden provocar el aborto de flores (Jacobsen *et al.*, 2003). Al respecto, Apaza (1995), durante su investigación, no obtuvo granos de quinua de la variedad ‘Blanca de Junín’ por la exposición del cultivo a altas temperaturas (mayor a 30 °C) en condiciones de La Molina. Similar ocurrencia tuvo Mendoza (2013), bajo las mismas condiciones de costa central, al estudiar 25 genotipos de quinua, de las cuales 8 de ellos no produjeron granos, llegándose a la conclusión que la siembra de quinua en costa se debe realizar en la estación de invierno hasta inicios de primavera, para obtener una buena producción (Rosas, 2015). De otro lado, la quinua puede tolerar las heladas durante las fases de desarrollo vegetativo y la formación de la inflorescencia y no desde la floración hasta el estado de grano pastoso (FAO/UNALM, 2016). Al respecto, Jacobsen *et al.* (2005) estudiaron la influencia de eventos de helada de diferente duración e intensidad en diversas etapas fenológicas y para diferentes cultivares de quinua. Ellos encontraron que la quinua es más susceptible a las heladas desde la etapa de formación de los brotes florales, pero menos susceptible durante las etapas vegetativas (Bois *et al.* 2006). Los resultados de Jacobsen *et al.* (2005) mostraron que a una temperatura de -4°C durante cuatro horas en la fase de floración provocaba una reducción de semillas de hasta el 66 por ciento, mientras que la quinua en el período vegetativo resultó considerablemente dañada cuando se expuso a temperaturas de -8°C que duran de 2 a 4 horas.

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.* 2001a).

En cuanto a la radiación solar, Mujica *et al.* (2001a) sostiene que la quinua soporta radiaciones extremas en zonas altas de los Andes, las cuales tienen un efecto positivo en compensar las horas de calor necesarias que hagan cumplir con su periodo vegetativo y

reproductivo. Las zonas con mayor radiación solar en Perú como Arequipa (510 cal/cm²/día) y Puno (462 cal/cm²/día), son los más favorables para el cultivo de la quinua, ya que ello contribuye a una mayor actividad fotosintética. Al respecto, Vacher *et al.* (1998) citado por Mujica *et al.* (2001a) 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. De otro lado, se ha demostrado que la radiación es un factor importante (aunque secundario) en la duración del desarrollo y la tasa de aparición de hojas (Bertero *et al.* 1999, y Bertero, 2001); esto podría asociarse a las diferencias en la demanda de fotoasimilados por unidad de tiempo, que son necesarias para sostener el crecimiento foliar (Bertero, 2001).

Finalmente, la influencia del fotoperiodo (duración de horas luz) en el crecimiento y desarrollo de las variedades de quinua está relacionado a su lugar de origen. Por ejemplo variedades que se originan en el trópico se caracterizan por una mayor sensibilidad al fotoperiodo y por una larga fase hasta antesis; de otro lado, las variedades del Altiplano de Perú y Bolivia y las quinuas del nivel del mar (Chile) son las de menor sensibilidad al fotoperiodo y son las que tienen menor longitud del ciclo a antesis. Es importante mencionar que la duración del ciclo a antesis también está influenciada por la altitud sobre el nivel del mar y temperaturas de la zona de origen de la quinua (FAO/UNALM, 2016). De manera general, Frere *et al.* (1975), sostienen que el promedio de horas luz diaria para el cultivo a una latitud de 15° S es de 12.19 con un acumulado de 146.3 horas al año, mientras que en el hemisferio norte y zonas australes prospera adecuadamente con días de hasta 14 horas de luz, como lo que ocurre en las áreas nórdicas de Europa (Mujica *et al.* 2001a). Definitivamente, conocer el comportamiento de la variabilidad genética de la quinua frente al fotoperiodo hace posible seleccionarlos, adaptarlos y desarrollarlos para una amplia gama de condiciones ambientales; hasta el momento está demostrado que la quinua crece desde los 40° S hasta 2° N de latitud (Jacobsen, 2003), las cuales se tiene genotipos de días cortos, de días largos e incluso indiferentes al fotoperiodo; aquellos cultivares con respuesta neutra al fotoperiodo pueden crecer bajo las condiciones de días largos del norte de Europa (Christiansen *et al.* 2010). Respecto al efecto en las fases fenológicas, Bertero *et al.* (1999) menciona que todas las fases de desarrollo en quinua son sensibles a cambios en el fotoperiodo, pero particularmente la fase reproductiva. Según Christiansen *et al.* (2010), fotoperiodos de más de 12 horas ocasionan importantes efectos perjudiciales en el desarrollo de la quinua, particularmente éstos se observan después de la floración como una

interrupción de las etapas de llenado y maduración de semillas; manteniéndose un normal crecimiento vegetativo y de floración (Bertero *et al.* 1999, 2004; Christiansen *et al.* 2010).

El *aspecto hídrico* o la satisfacción de la demanda hídrica en la quinua varía en función al clima (invierno, primavera, verano), al suelo (arenosos, francos, arcillosos, etc.), al cultivo-variedad (precozes o tardías), y al sistema de riego empleado (FAO/UNALM, 2016). Dicha demanda puede ser abastecida por las precipitaciones o por los regímenes de riego aplicados.

Respecto a las precipitaciones, la quinua se cultiva dentro de un rango de 250 mm (zona de salares en Bolivia) a 1 500 mm (valles interandinos), considerándose entre 500 a 800 mm el rango más óptimo (FAO/UNALM, 2016). Generalmente, el inicio de la campaña de quinua (en sistema por secano) comienza con la aparición de las primeras lluvias, con la finalidad de asegurar un adecuado crecimiento y desarrollo a las plantas, principalmente abasteciendo las fases más sensibles al estrés hídrico que son germinación-emergencia, floración y llenado de grano (Geerts *et al.* 2008b y Bertero y Ruiz, 2008); en cambio, durante la maduración y cosecha requieren condiciones de sequedad (Mujica, 1992).

En cuanto a los regímenes de riego, en condiciones de costa se ha observado que el cultivo requiere entre 5 000 a 10 000 m³ con riego de gravedad y de 3 500 a 7 500 m³ con riego por goteo (FAO/UNALM, 2016). Experimentos recientes en quinua con riego por goteo y condiciones de costa central respaldan lo mencionado; Mori (2015) aplicó una lámina de riego de 1 995 m³/ha; Burín (2016), 2 804 m³/ha; Mercedes (2005), 2 924 m³/ha; León (2014), 3 235 m³/ha; Huamancusi (2012), 3 540 m³/ha; y Barnett (2005), 5 321 m³/ha.

En relación al *aspecto edáfico*, la quinua puede lograr el máximo potencial de rendimiento si es que crece en suelos con adecuadas características físicas, químicas y biológicas. Al respecto, las características físicas del suelo más conveniente para la quinua son de textura franco, semiprofundo, con alto contenido de materia orgánica y con pendientes moderadas (Mujica *et al.* 2001a). Según Hernández y León (1992), también se pueden obtener rendimientos aceptables en suelos arenosos como arcillosos si se le abastece adecuadamente sus requerimientos nutricionales. Un estudio conjunto de Razzagui *et al.* (2012) demuestran la importancia de un mayor porcentaje de arcilla en la textura del suelo (sin llegar ser un suelo arcilloso neto) y de materia orgánica, en la obtención de altos rendimientos; ya que con ello, se logró mayor recaptación de nitrógeno por las plantas (de los 120 kg que se habían

aplicado previamente), mayor capacidad de retención de agua y mayor evapotranspiración del cultivo, por ende mayor absorción de nitrógeno.

Respecto a las características químicas, existe ciertos ecotipos de quinua adaptables para condiciones de suelos ácidos con pH de 4.5 (por ejemplo en Cajamarca, Perú) y para suelos alcalinos de pH 9.5 (por ejemplo en Uyuni, Bolivia), sin embargo, estudios recientes demuestran que el pH ideal para la quinua son los cercanos a la neutralidad (Mujica *et al.* 2001a). De otra parte, la quinua se desarrolla satisfactoriamente en suelo con contenido medio de nutrientes, ya que es exigente en nitrógeno y calcio, moderadamente en fósforo y poco de potasio. Finalmente, la quinua crece muy bien bajo condiciones de baja salinidad, sin embargo se ha demostrado que la quinua puede germinar y desarrollarse en suelos con concentraciones salinas extremas de hasta 52 dS/m y que el periodo de germinación se puede retrasar hasta en 25 días cuando se encuentra en estas condiciones extremas de concentración salina (Jacobsen *et al.* 2001; Jacobsen *et al.* 1999). En general, la tolerancia o sensibilidad a la salinidad del suelo dependerá de la variedad (Schabes y Sigstad, 2005).

Respecto a las características biológicas del suelo, Ferrero y Alarcón (2001) mencionan que toda planta necesita crecer en un suelo donde la actividad microbiana sea favorecida y que se tenga mayor diversidad de microorganismos (es decir, mediante mayor porcentaje de materia orgánica), de tal forma que se establezcan diversas relaciones tróficas que contribuyan a la sanidad y fertilidad de los suelos manipulados en esta forma biológica (microorganismos que conforman la microflora y microfauna, además de la meso y macrofauna). Al respecto, Claro *et al.* (2013) identificó una cepa del genero *Bacillus* con mayor potencial promotora de crecimiento reflejándose en una mayor altura de planta, volumen de raíz y rendimiento. Asimismo, Bosque *et al.* (2013) concluyó que la cepa bacterial *Pseudomonas* fue la más sobresaliente en fijar nitrógeno que la cepa *Rizobial* lográndose mejores resultados si se abona con 6 toneladas de estiércol.

Finalmente; sobre el *aspecto nutricional*, la quinua responde muy bien a la alta fertilización, alcanzando rendimientos de 6 000 a 7 000 kg/ha (FAO/UNALM, 2016). Esta alta demanda de nitrógeno satisfaría la producción de alta calidad de proteínas en los granos (Wiley Blackwell, 2015). En el Cuadro 3, se presenta los resultados de investigaciones realizadas y se muestra la cantidad de nitrógeno, fosforo y potasio en el tallo – follaje y granos de quinua (FAO/UNALM, 2016); siendo esto útil como referencia de aplicación para lo que se desea obtener en rendimiento.

Cuadro 3: Absorción y remoción de nutrientes esenciales N, P y K por quinua con un rendimiento de 4 t / ha de granos

Nutrientes	Grano en estado lechoso	Madurez de Cosecha		
		Remoción en granos	Remoción en tallo- follaje	
Nitrógeno	Contenido (g/kg)	15.0	21.0	4.0
	Absorción (kg N/ha)	100.0	75.0	20.0
Fósforo	Contenido (g/kg)	5.0	5.5	1.5
	Absorción (kg P/ha)	30.0	20.0	7.0
Potasio	Contenido (g/kg)	60.0	15.0	26.0
	Absorción (kg K/ha)	400.0	55.0	130.0

Fuente: FAO/UNALM (2012)

En la Costa, los nutrientes del suelo son escasos ya que la cantidad de materia orgánica es extremadamente baja y los suelos son muy arenosos. En general, la fórmula de fertilización recomendada para estas condiciones es 240-200-80 (Mujica *et al.* 2001a) ó 300-120-300 (FAO/UNAL, 2016), fraccionando el nitrógeno en tres partes; una parte a la siembra, la otra al deshierbo y la última parte en la floración. Esto permitirá un mejor aprovechamiento del nitrógeno, evitando pérdidas por lixiviación, volatilización por las altas temperaturas; mientras que todo el fósforo y el potasio se aplicarán a la siembra. Además, se recomienda la aplicación de estiércol, compost, humus o materia orgánica en la preparación del suelo, de manera que pueda descomponerse y estar disponible para el cultivo (Mujica *et al.* 2001).

2.1.4. Fisiología de la quinua

En términos de características básicas, la planta es una especie anual de los cultivos que pertenece al grupo de las plantas C3 (Jacobsen *et al.* 2003), las cuales solamente pueden aprovechar el 30 % del CO₂ del aire, en comparación de plantas C4 que fijan 80-100 por ciento del CO₂ del aire; incluso necesitan 2 a 3 veces más agua que las plantas tipo C4 para producir la misma cantidad de masa vegetal (Barnett, 2005). Sin embargo, a pesar de que la quinua es una planta C3, es muy eficiente en el uso de agua, ya que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten no solo escapar al déficit de humedad, sino tolerar y resistir la falta de humedad del suelo. (Mujica *et al.* 2001b).

González (2011) menciona que la quinua posee altas tasas de fotosíntesis neta detectándose valores de asimilación entre 14 a 35 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para las variedades bolivianas *Samaranti* y *Kamiri*, respectivamente, las cuales fueron sembradas en Amaicha del Valle, Tucumán (Argentina). También se ha detectado una alta correlación (positiva y significativa) entre la asimilación neta y la conductancia estomática. En el caso de la quinua bajo estrés hídrico se ha encontrado que el intercambio gaseoso, fotosíntesis y conductancia de la quinua se encuentra dentro de los rangos normales de las plantas C3, mostrando una tasa fotosintética similar en promedio (22 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en la ramificación, floración y llenado de grano, sin embargo la conductancia estomatal (gH_2O) es más alta en la ramificación en 0.3-1 $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, en la floración bajó hacia 0.3-0.6, y en llenado de grano fue 0.2-0.7 $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Nuñez, 1999; Jensen *et al.*, 2000).

Un aspecto fisiológico importante para el mejoramiento genético es la polinización. La quinua es considerada una especie autógena (autofecundación) con cierto porcentaje de alogamia (polinización cruzada). Por ejemplo, la investigación de Lescano (1994) reportó 5.78% de alogamia y 94.22% de autogamia; la investigación de Silvestri y Gil (2000), conducidos en Mendoza, encontró un 17.36% de alogamia, valor que también es respaldado por la FAO/UNALM (2016).

Finalmente, una peculiaridad que está teniendo la quinua cultivada bajo condiciones de la costa, es el «efecto de tropicalización o *stay green*», el cual consiste en la manifestación de un excesivo crecimiento del follaje y de la planta en general (ramificación del tallo), como también de la modificación de la inflorescencia, resultando flores sin producción de granos. Esto evidentemente, resulta ser una importante problemática de producción de quinua en la Costa (Gomez, 2013). Existen muchos factores que están involucrados en este fenómeno como son: el comportamiento del genotipo en determinado ambiente, densidad de siembra, disponibilidad de nutrientes, abonamiento nitrogenado y/o orgánico, ataque de insectos, daños mecánicos por labores culturales, etc (Mujica *et al.* 2001b). Según Christiansen *et al.* (2010) existe un efecto del fotoperiodo sobre el llenado de granos, en consecuencia con el retraso en la senescencia. Las plantas bajo el tratamiento de extensión fotoperiódica nunca maduran, los tallos permanecen verdes y se observa crecimiento de nuevas ramificaciones a partir de la inflorescencia. Por ejemplo, Christiansen *et al.* (2010) observó que 18 horas de fotoperiodo indujo a la reacción de *stay green* en la variedad *Real*.

2.1.5. Variedades de Quinua en estudio

Para la presente investigación se experimentaron con las variedades *La Molina 89*, *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*. Las referencias bibliográficas utilizadas para la variedad *La Molina 89* fueron las siguientes: Julón (2016), León (2014), Huamancusi (2012), Barnett (2005), Echegaray (2003), Tapia (2003) y Apaza (1995); Para *Salcedo INIA*, fueron las siguientes: Burin (2016), Rosas (2015) y Mori (2015). Para *Pasankalla*, fueron: Burin (2016), Julón (2016), Rosas (2015), Quispe (2015) y Gordon (2011). Para *Negra Collana* solamente se tomó como referencia a Rosas (2015). Este último, realizó su investigación en condiciones agroecológicas de Leticia, Tarma (Junín), los demás lo realizaron en La Molina.

Julón (2016) evaluó nueve accesiones de líneas mutantes de quinua y experimentó cuatro tratamientos: dos ecológicos; el primero con enmienda de estiércol de vacuno y el segundo con guano de isla; un tercer manejo convencional con insumos sintéticos como fertilizantes y plaguicidas; y finalmente se usó un manejo sin ninguna enmienda como testigo. Las variedades usadas fueron una *Pasankalla* comercial más 3 de sus líneas mutantes y 3 líneas mutantes de '*La Molina 89*'. En los resultados se observó que el sistema convencional generó el más alto rendimiento, peso de mil granos e índice de cosecha con valores de 2 407 kg/ha, 3.21 g y 28.5 por ciento respectivamente. Los rendimientos de *Pasankalla* comercial y sus 3 líneas mutantes fueron 2 075, 2 183, 1 653 y 2 302 kg/ha, respectivamente; para las líneas mutantes de *La Molina 89* fueron 3 136, 2 865 y 2 802 kg/ha, respectivamente.

Respecto a la investigación de Burin (2016), se debe agregar, a lo ya explicado, que los efectos principales de sus variedades experimentadas en relación al rendimiento obtenido, fueron: *Altiplano INIA* rindió 2 532 kg/ha; *Salcedo INIA*, 1 458.7 kg/ha; *Kancolla*, 1 222 kg/ha y *Pasankalla*, 372.6 kg/ha. En relación al peso de 1000 granos: *Pasankalla* obtuvo 3.26 g; *Salcedo INIA*, 3.66 g; *Altiplano INIA*, 3.96 g y *Kancolla*, 2.74 g.

Rosas (2015) estudió la respuesta de los sistemas de cultivo en el crecimiento y desarrollo de 10 variedades de quinua; en la calidad de grano final y en el aspecto económico. Dentro de las variedades estudiadas están *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*. Todas las variedades fueron estudiadas en dos sistemas de cultivo, denominados tradicional y de tecnología media. Los sistemas de cultivo difirieron en la forma de preparación del suelo, nivel de fertilización y densidad de plantas. El sistema de tecnología media fue superior al sistema tradicional, obteniéndose mayores rendimientos, calidad de grano y rentabilidad.

Las variedades de quinua: *Amarilla de Marangani*, *Blanca de Hualhuas*, *INIA-Altiplano* e *Illpa-INIA* sobresalieron respecto a las demás, alcanzando mayores rendimientos, mayor tamaño de grano, mayor contenido proteico de grano y mayor rentabilidad. Los rendimientos promedios obtenidos en *Negra Collana*, *Salcedo INIA* y *Pasankalla* en el sistema tradicional fueron 2 559, 2 454 y 2 373 kg/ha, respectivamente; en el sistema de tecnología media tradicional fueron 3 471, 3 048 y 2 968 kg/ha, respectivamente.

Barnett (2005) estudió la respuesta de niveles crecientes de fertilización nitrogenada en el crecimiento y rendimiento de tres variedades de quinua: *Rosada de Huancayo*, *Blanca de Hualhuas* y *La Molina 89*. Las dosis de 0, 40, 80, 120 y 160 kg de nitrógeno por hectárea fueron aplicadas mediante fertirrigación con el sistema de riego por goteo. Se manejó una densidad 223 000 plantas por hectárea, aplicándose por igual a cada variedad el equivalente a 5 231 m³/ha. Las dosis crecientes de nitrógeno permitieron incrementar de manera gradual los rendimientos de la variedad *La Molina 89*, logrando obtenerse en promedio 6 324 kg/ha, siendo diferente estadísticamente a los bajos rendimientos promedio de las variedades *Rosada de Huancayo* y *Blanca de Hualhuas* (626 y 708 kg/ha respectivamente).

Quispe (2015) evaluó el potencial de rendimiento y la calidad de nuevas líneas mutantes de quinua; e identificó genotipos promisorios con alto valor agronómico y de calidad. Para lograr ello, experimentó 78 líneas mutantes M₅ y tres testigos de comparación: 2 accesiones de valle y la variedad *Pasankalla* o material genético del cual se originaron los mutantes de quinua. Como resultados importantes, se identificaron siete líneas que sobresalen significativamente en potencial de rendimiento, con valores superiores a 3 221 kg/ha, diferenciándose estadísticamente al testigo *Pasankalla* que alcanzó un rendimiento de 2 228 kg/ha. La línea de mayor rendimiento fue MQPas-143 con 4 134 kg/ha, superior al testigo en 185 por ciento.

2.2. RELACIONES HÍDRICAS EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

El agua es el componente mayoritario e indispensable para que las plantas puedan vivir y desarrollarse; es a su vez el vehículo mediante el cual se transportan los elementos químicos esenciales que el suelo contiene, desde las raíces hacia las hojas, y los componentes elaborados por éstas a los restantes órganos. Más aún, proporciona a los tejidos vegetales la consistencia necesaria para su mantenimiento en el suelo; entre otras funciones, es quien regula la temperatura de la planta evitando con ello en determinadas circunstancias, cambios bruscos que puedan dañar su crecimiento (Navarro, 2000). Específicamente, el agua es un

elemento esencial en la composición del protoplasma, es importante cuantitativamente como cualitativamente, ya que constituye de 80 a 90 por ciento del peso fresco en la mayoría de las plantas herbáceas y más del 50 por ciento del peso fresco en plantas leñosas. El crecimiento de las plantas es controlado por los coeficientes de división y ensanchamiento celular y por el abastecimiento de componentes orgánicos e inorgánicos necesarios para la síntesis del protoplasma y de nuevas paredes celulares. El ensanchamiento de las células depende especialmente de por lo menos un grado mínimo de turgencia (Kramer, 1989). Hillel (1980) señala, a través de las fórmulas de fotosíntesis y respiración celular, el rol importante que desempeña el agua en las funciones metabólicas de la planta, puesto que es fuente de átomos de hidrógeno para la reducción del dióxido de carbono; a su vez, es un disolvente y transportador de iones y componentes dentro y fuera de las plantas.

El manejo del agua en la agricultura moderna exige un global entendimiento de las relaciones hídricas del sistema integrado suelo-planta-atmósfera. Los modelos propuestos, similares a la ley de Ohm de circuitos eléctricos permiten establecer que el flujo de agua ocurre en equilibrio dinámico desde el suelo a la atmósfera, siendo originado por diferencias de potencial del agua y dependiente de resistencias al transporte en cada parte del sistema. En una planta en crecimiento activo, la fase de agua líquida continua se extiende desde la epidermis de la raíz hasta las paredes celulares del parénquima foliar y su movimiento se realiza por gradientes decrecientes de potencial hídrico a lo largo de la vía. Este proceso denominado transpiración es la fuerza motriz más importante para el movimiento del agua a través de la planta. El agua ingresa a las raíces en respuesta a un gradiente de potencial hídrico en el xilema establecido por la transpiración. Entrará con mayor rapidez a través de aquellas regiones de la raíz que ofrezcan menor resistencia. A medida que el suelo se seca su potencial hídrico va tomando valores cada vez más negativos, las plantas han de disminuir su potencial hídrico con el fin de mantener el gradiente de potencial necesario para la absorción de agua, lo cual puede suceder al disminuir el potencial osmótico (por acumulación de solutos) o disminuyendo la turgencia (mediante deshidratación). Cuando las tasas de transpiración son elevadas, se acentúa el gradiente de potencial hídrico en la planta y por tanto, disminuye el potencial hídrico de la raíz y finalmente la turgencia. En esta situación se presenta una reducción del tamaño de la raíz, lo cual provoca reducción del crecimiento de la misma y así la pérdida de contacto con las partículas del suelo. En estas condiciones, la absorción se hace cada vez más difícil debido a un aumento en la resistencia hidráulica del suelo. Cuando el potencial hídrico desciende por debajo de un nivel crítico,

cesa la absorción y la planta detiene su crecimiento o muere. En condiciones de campo, el déficit de presión de vapor de la atmosfera puede llegar a desempeñar un papel más importante que el contenido hídrico del suelo en la determinación del estado hídrico de la planta (Hurtado, 2003).

En el proceso de producir biomasa, los cultivos transpiran, que es el costo que la planta debe pagar para generar nueva materia vegetal y que debe ser repuesta mediante la absorción de agua del suelo por el sistema radicular. El suelo, simultáneamente a este proceso, pierde agua por evaporación. Estas dos pérdidas de agua constituyen la evapotranspiración del cultivo (ETc), cantidad que debe ser cubierto por el riego en la cantidad justa (Hsiao, 1974).

En la mayoría de cultivos se puede requerir de centenares 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). En el Cuadro 4, se puede visualizar que la quinua es un cultivo de alto rendimiento respecto de otros cultivos productores de granos, en función del uso eficiente del agua. Éste aumentaría aún más al considerar no sólo el rendimiento en kilos de grano por hectárea sino el rendimiento de proteínas por kilo. En este sentido la eficiencia de uso del agua de la quinua se transforma también en una alta eficiencia nutricional del cultivo que supera en 10 veces la eficiencia hídrica de producción de proteínas del arroz blanco (Martínez, 2013).

Cuadro 4: Huella de uso del agua (litros de agua por kilo de grano) y eficiencia hídrica de la producción de proteínas (g-proteínas en 100g de granos/1000/huella de agua) de granos

Tipos de Grano	Huella de agua (l·k ⁻¹)	Eficiencia hídrica de la producción de proteínas por cada 1000 kg de grano (% proteínas/1000 l-agua)
Arroz	2497	2.7
Maíz	1222	7.7
Trigo	1227	10.3
Quinua	500*	27.8

* Estimada a partir de un estudio de riego deficitario en Chile árido (Martínez *et al.* 2009), asumiendo un rendimiento promedio bajo, de 1000 K/ha, usando como abono sólo humus de lombrices. Para el resto de los cultivos se usa valores de huella hídrica obtenidos de Novo *et al.* (2008) y del sitio web: www.waterfootprint.org. **Fuente: Martínez (2013)**

2.2.1. Fisiología del estrés hídrico

Existe dos escenarios de estrés hídrico que perjudicaría a la fisiología de la quinua: *estrés por exceso hídrico* o *estrés por déficit hídrico*. En el primer caso, Mujica *et al.* (2001b) señala que las inundaciones y excesos de humedad en el suelo, principalmente en años lluviosos y zonas planas o mal niveladas, produce pudriciones de la raíz de la quinua afectando fuertemente la producción, no solo por la asfixia de raíces sino también por el tumbado de las mismas. Se han identificado a las variedades *Cheweca* y *Amarilla de Maranganí* como las más tolerantes al exceso de humedad del suelo. En el caso del déficit hídrico, la quinua se caracteriza por ser muy resistente bajo esas condiciones (Jensen *et al.* 2000; Geerts *et al.* 2008a). Sin embargo, esta alta resistencia a la sequía a menudo se traduce en bajos rendimientos, ya que la quinua sacrifica el rendimiento para la supervivencia y la adaptación (Wiley Blackwell, 2016).

La quinua presenta diferentes estrategias de adaptación al estrés por sequía, desde adaptaciones fisiológicas a morfológicas que sirven a una variedad de respuestas al déficit hídrico, que incluyen la evitación y la tolerancia (Zurita-Silva *et al.* 2013). Estos diversos mecanismos (Cuadro 5) le permiten obtener producciones económicamente aceptables en condiciones drásticas de escasa precipitación de solo 150 a 250 mm (Mujica *et al.* 2001b).

En general, Claeys e Inze (2013) señala que las respuestas y los mecanismos de las plantas para hacer frente a la escasez de agua se pueden dividir en dos grandes categorías: la *evitación del estrés* y la *tolerancia al estrés*. El objetivo de los mecanismos de *evitación del estrés* es equilibrar la absorción y la pérdida de agua. La absorción de agua se ve mejorada por la acumulación de solutos para reducir el potencial de agua de los tejidos y por el aumento de crecimiento de las raíces, mientras que la pérdida de agua por evaporación es limitada por el cierre de los estomas, lo que a la vez restringe el crecimiento de brotes y acelera la senescencia foliar. Los mecanismos de *tolerancia al estrés* tienen por objeto proteger contra el daño celular cuando el estrés se vuelve más severo y los mecanismos de evitación del estrés ya no son suficientes (Claeys e Inze, 2013).

Cuadro 5: Principales modificaciones de la quinua para defenderse de la sequía

Fisiológicas	<p>Reemplazo de la fotosíntesis laminar por una no laminar.</p> <p>Presencia de resistencia filogenética a la sequía.</p> <p>Cierre estomático prematuro.</p> <p>Mayor retención de humedad atmosférica en las hojas por la presencia de los cristales de oxalato de calcio.</p> <p>Hipersensibilidad estomática a los primeros síntomas de déficit de humedad.</p> <p>Plasticidad en el desarrollo.</p> <p>Pronta recuperación después de un período de sequía.</p> <p>Mayor tolerancia a la deshidratación de los tejidos durante la sequía.</p> <p>Mayor tolerancia al calor, evitando quemaduras de las hojas.</p> <p>Asincronía en la floración de la panoja.</p> <p>Germinación de semillas a altas presiones osmótica.</p>	Morfológicas	<p>Menor tamaño de planta y hojas más pequeñas</p> <p>Menor número de hojas en la planta.</p> <p>Reducción de área foliar mediante eliminación de hojas.</p> <p>Mayor concentración de cristales de oxalato de calcio alrededor de las estomas.</p> <p>Cristales de oxalato de calcio sobre las hojas refleja la radiación.</p> <p>Hojas con menor ángulo de inserción al tallo</p> <p>Doblado de la planta protegiendo la panoja</p>
	<p>Baja tasa transpiratoria.</p> <p>Pronta recuperación de tejidos y clorofila al rehidratarse la planta.</p> <p>Mayor resistencia estomática.</p> <p>Mayor tiempo de sobrevivencia en el punto de marchitez permanente (PMP).</p> <p>Mayor elasticidad de la membrana celular.</p>	Anatómicas	<p>Mayor desarrollo radicular, aumentando la densidad y profundidad de raíces.</p> <p>Menor tamaño de las estomas.</p> <p>Mayor número de estomas en el envés de las hojas.</p> <p>Mayor desarrollo del parénquima de empalizada y menor del esponjoso en las hojas.</p>
	<p>Ajuste osmótico.</p> <p>Mayor tasa de absorción de agua.</p> <p>Mayor resistencia cuando ha tenido un pre-acondicionamiento.</p> <p>Mayor tolerancia a la sal.</p>	Fenológicas	<p>Pronto desarrollo radicular en las primeras etapas del crecimiento.</p> <p>Madurez prematura, aumentando su precocidad.</p> <p>Desarrollo fenológico rápido.</p> <p>Acortamiento del período de floración.</p> <p>Presencia de resistencia ontogénica.</p>
	<p>Movimiento nictinásticos de las hojas, produciendo protección del ápice vegetativo (arrepollamiento).</p>	Bioquímicas	<p>Presencia de cristales de oxalatos de calcio en hojas tallos y panojas.</p> <p>Mayor termoestabilidad de la clorofila.</p> <p>Mayor estabilidad de proteínas y ácidos nucleicos en condiciones de calor.</p> <p>Mayor producción de ácido abscísico (ABA).</p> <p>Mayor liberación de prolina.</p> <p>Producción de betaínas.</p> <p>Movilización de iones K^+ y Ca^{+2} de las células subsidiarias hacia las células guarda de los estomas.</p>

Fuente: Mujica *et al.* (2001b)

Tanto las respuestas de evitación como las de tolerancia son orquestadas principalmente por el ácido abscísico (ABA), aunque los mecanismos ABA-independientes como los relacionados con proteínas del tipo Drought- Responsive Element-Binding (DREB) también juegan un rol (Nakashima *et al.* 2009). Finalmente, el mecanismo del *escape* por sequía aparece como un alargamiento del ciclo de crecimiento en respuesta a las sequías durante las etapas vegetativas tempranas y como un proceso de maduración temprana en respuesta al estrés por sequía durante las etapas posteriores de crecimiento (Jacobsen *et al.* 2003; Geerts *et al.* 2008b).

2.2.2. Fundamentos del Riego

Según Hurtado (2003), la evapotranspiración o necesidad (consumo) de agua por los cultivos (ETc) se refiere al agua usada por las plantas en la transpiración más el agua evaporada directamente desde la superficie del suelo en un área cultivada. Constituye el uso consuntivo de agua por las plantas y es el factor básico para determinar el requerimiento de agua del cultivo y es el principal factor limitante de la producción agrícola. Se expresa normalmente en forma de lámina en *mm/día* o *por mes* o *por campaña* o en volumen en $m^3/ha/día$, por mes o por campaña. En un período de 24 horas la evapotranspiración varía de acuerdo a como se comportan estos factores. La evapotranspiración es baja en los primeros estadios de la etapa de crecimiento de la planta, posteriormente se incrementa a medida que la planta crece en altura y en área foliar hasta alcanzar un punto máximo en la etapa de fructificación y finalmente disminuye progresivamente hasta la etapa de cosecha.

La forma práctica de estimar las demandas de agua es a través del tanque de evaporación tipo A (recomendada por el US Bureau of Reclamation). De esta forma la ETc será igual a:

$$ETc = Eo \times Kp \times Kc \left(\frac{mm}{día} \right)$$

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/d)

Eo: Evaporación del tanque clase A (mm/d)

Kp: Coeficiente de tanque, depende de las condiciones donde esté instalado.

Kc: Coeficiente del cultivo, factor que varía según el tipo de cultivo y según las distintas etapas de su desarrollo. Para efectos de diseño se utiliza el mayor valor de Kc del cultivo.

Según Hurtado (2003), el *Requerimiento de Riego Neto* (RRN) se refiere a la cantidad de agua que debe reponerse al suelo en cada riego y corresponde al volumen de agua que dicho suelo puede almacenar, entre su capacidad máxima de retención y el nivel de humedad establecido como adecuado para el riego (criterio de riego). El criterio de riego en un sistema localizado de alta frecuencia como el goteo, está por encima del 90 por ciento de la humedad aprovechable (tensiones de humedad por debajo de 0.6 bares).

De otra parte, la *Necesidad Real de Riego o Requerimiento Bruto o Requerimiento de Riego Total* (RRT), es la cantidad de agua que debe aplicarse en cada riego para asegurar una cantidad de agua en la zona de raíces que permita satisfacer las necesidades de riego. Es preciso señalar que existen diversas pérdidas inevitables causadas por: la desuniformidad en la aplicación del agua en el campo, la percolación más debajo de la zona radicular, el escurrimiento al final del campo y la evaporación directa de la superficie del suelo y la planta. Todas estas causas determinan una *eficiencia de riego* (ER), el cual está conformada por la eficiencia de conducción (EC) y la eficiencia agronómica o de utilización (EU). Ésta última contempla a la eficiencia de: aplicación (Eap), almacenamiento (Eal) y distribución (Ed). El Cuadro 6 muestra los valores promedios de la eficiencia de riego en los distintos sistemas de riego. Precisamente, se aprecia que el sistema de riego por goteo tiene una alta ER de 85.5 por ciento aproximadamente. Finalmente, el RRT es calculada a partir de la división entre el RRN sobre la ER.

$$ER = EC \times EU$$

$$EU = Eap \times Eal \times Ed$$

Cuadro 6: Eficiencia total de riego para diferentes sistemas y métodos de riego

Sistema de Riego	Eficiencia de Conducción (%)	Eficiencia Agronómica (%)			Eficiencia Total (%)	
		E. de Aplicación	E. de Almacenamiento	E. de Distribución		
Gravedad	Melgas	50.0	40.0	90.0	60.0	10.8
	Surcos	50.0	65.0	85.0	75.0	20.7
Aspersión	100.0	90.0	100.0	80.0	72.0	
Goteo	100.0	95.0	100.0	90.0	85.5	
Exudación	100.0	100.0	100.0	98.0	98.0	

Fuente: Hurtado (2003)

El coeficiente o factor de cultivo (Kc) es un coeficiente adimensional que relaciona la evapotranspiración del cultivo (ETc) con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo). El Kc trata de reflejar aquellas características del cultivo que la diferencian del cultivo

de referencia (alfalfa o gramínea). El valor del Kc depende de las características de la planta y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su periodo vegetativo (Mori, 2015). 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).

Choquecallata *et al.* (1991); Barnett y Hurtado (2005) determinaron en sus respectivas investigaciones los Kc para las principales fases fenológicas de la quinua (Cuadro 7).

Cuadro 7: Coeficientes de cultivo de las principales fases fenológicas de la quinua

Fase Fenológica		Cuatro hojas	Inicio de panojamiento	Panojamiento	Inicio de floración	Floración o antesis (50%)	Floración o antesis (Fin)	Inicio grano lechoso	Fin de grano lechoso	Grano pastoso
Determinación de Kc	Choquecallata <i>et al.</i> (1991)	0.58	0.63	0.73	0.90	1.01	1.08	1.14	1.00	0.78
	Barnett y Hurtado (2005)	0.47	0.94	0.94	1.01	1.01	1.08	0.89	0.89	0.89

Fuente: Choquecallata *et al.* (1991); Barnett y Hurtado (2005)

El Kc está influenciado directamente con el área foliar (capacidad de evapotranspiración). Por ello, al inicio del período de mediciones (desde la emergencia hasta cuatro hojas verdaderas), el valor de Kc es de alrededor de 0.5. Posteriormente el desarrollo del cultivo muestra una fase dinámica en la que el Kc incrementa su valor casi hasta 1.2. Durante la fase de maduración, el Kc permanece aproximadamente constante hasta que se inicia el periodo de senescencia en el que el valor de Kc alcanza valores de 0.8 a la cosecha.

2.2.3. Regímenes de Riego en la quinua

Las principales investigaciones consideradas en regímenes de riego a nivel nacional fueron: Burin (2016), Mori (2015), Porras (2015), León (2014) y Mercedes (2005). Todas estas investigaciones se realizaron bajo condiciones agroecológicas de La Molina (Lima). A nivel internacional se consideraron las investigaciones de Talebnejad *et al.* (2015), Garrido *et al.* (2013), Fischer *et al.* (2013) y Geerts *et al.* (2008b).

Burin (2016) estudió la respuesta del régimen de riego en el crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua, bajo condiciones de riego localizado por goteo. El ensayo comparó cuatro variedades de quinua: *415-Pasankalla*, *Altiplano-INIA*, *Salcedo-INIA*, y *Kancolla*, bajo tres láminas de riego programadas; L1: ETc = 420 mm, L2: ETc = 336 mm y L3: ETc = 252 mm por campaña. El mayor rendimiento se presenta a nivel de la lámina de riego L1: 420 mm

con la variedad *Altiplano-INIA*, el cual fue similar a la lámina L2: 336 mm, con rendimientos de 2 857 kg/ha y 2 659 kg/ha de grano-quinua respectivamente. De otra parte, la variedad *Pasankalla* presentó el menor rendimiento con 372 kg/ha quinua-grano.

Mori (2015) evaluó la respuesta de la aplicación de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (variedad *INIA Salcedo*), utilizando un sistema de riego por goteo “modelo INIA”. La aplicación de los riegos se realizó en base a la calibración local de la bandeja de evaporación para estimar la ETo y los niveles de coeficientes de cultivo para los diferentes períodos fenológicos de la quinua. Las cinco láminas de riego fueron: L1=88.9 mm, L2=114.1 mm, L3=139.4 mm, L4=165.7 mm y L5=199.5 mm. Se concluyó que el incremento de lámina de riego permite mejorar de manera gradual los rendimientos de la quinua obteniéndose como máximo 4.53 t/ha con la aplicación del tratamiento L5 y como mínimo 3.32 t/ha con el tratamiento L1, asimismo se obtiene un incremento en la altura de la planta, diámetro de tallo, longitud y diámetro de panoja, pero no hay diferencia significativa en el caso de longitud de raíces y grado de saponina. La función de producción muestra que el rendimiento total es incrementado gradualmente con la dosis del tratamiento.

Porras (2015), evaluó dos sistemas de riego localizado (riego por goteo y riego por exudación) sobre el crecimiento y producción del cultivo de la quinua (variedad *INIA 431-Altiplano*). Las variables en estudio alcanzaron los siguientes resultados: volumen total de agua aplicada bajo el sistema de riego por exudación fue 1 571.6 m³/ha y por goteo fue 1 708.5 m³/ha; la eficiencia de aplicación obtenida fue de 81 por ciento para goteo y 78 por ciento para exudación; el sistema de riego por exudación tuvo el mayor rendimiento con 3 519 kg/ha seguido por goteo con 1 588 kg/ha. Finalmente, la mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) fue bajo riego por exudación con 2.2 kg/m³ y la menor fue en goteo con 0.9 kg/m³.

León (2014) estudió 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. Para ello, aplicó tres regímenes de riego distribuidos en cuatro tratamientos: 100% (3 235 m³/ha), 75% (2 470 m³/ha) y 50% (1 623 m³/ha) 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). Los resultados indican que la disminución de los regímenes de riego no tiene efectos significativos en la calidad del grano; pero sí 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, obteniéndose en éste último un máximo de 3 333 kg/ha en T1 (100%, con plástico) y un mínimo de 2 324 kg/ha (50%, con plástico) 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.

Mercedes (2005) estudió la respuesta del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de 4 variedades de quinua, el cual el requerimiento de agua bajo condiciones de estrés hídrico fue 1 539.5 m³/ha, obteniéndose un rendimiento de económico 1.34 t/ha; en cambio, para el régimen normalmente irrigado el requerimiento de agua fue 2 924.1 m³/ha (89.9 % de incremento respecto de régimen bajo estrés) obteniéndose un rendimiento de 2.03 t/ha (51.5 % de incremento respecto del régimen bajo estrés). Asimismo, la eficiencia del uso de agua (EUA) bajo estrés fue de 0.87 kg de grano de quinua por m³ de agua aplicada, en comparación a 0.69 kg /m³ para la zona normalmente irrigada.

Talebnejad *et al.* (2015) estudiaron los efectos de interacción del riego deficiente y las aguas subterráneas poco profundas en el crecimiento, rendimiento y productividad del agua en el cultivo de quinua (*cv. Titicaca*, N° 5206, Chile), con la finalidad de aumentar la productividad del agua en las zonas áridas y semiáridas. Para ello, las profundidades salinas de aguas subterráneas (AS) fueron 0.3, 0.55 y 0.80 m y el déficit de riego (DR) fueron 80, 55 y 30% de *full irrigation* (FR). Los resultados indicaron que la reducción del 70 por ciento en el agua de riego completo produjo solamente una reducción del 36 por ciento en el rendimiento de granos en comparación con el máximo (2.1 t.ha⁻¹ a 0.80 m AS con 0.80 FR), mientras que la eficiencia de uso del agua (EUA) aumentó un 12 por ciento. Otros resultados indicaron que se requiere 210 mm de ET para iniciar la producción de quinua en condiciones de invernadero.

Garrido *et al.* (2013) evaluó el rendimiento de nueve genotipos de quinua de diferentes procedencias en cuatro condiciones de disponibilidad hídrica y analizó su interacción con el ambiente. Los nueve genotipos de quinua se sometieron a dos disponibilidades hídricas (riego y seco) durante dos temporadas en la zona central de Chile, generándose cuatro ambientes diferenciados principalmente por el monto de agua recibida y su distribución durante la temporada, E1 (487,8 mm), E2 (245,9 mm), E3 (660 mm), E4 (567,1 mm). El rendimiento obtenido de los genotipos de quinua se redujo a menos del 50 por ciento cuando se regó al 44% y 80% de agua de ETo. De otra parte, el análisis de componentes principales

indicó una asociación fuerte y significativa del rendimiento con el índice de cosecha y los granos por metro cuadrado, una escasa variabilidad en el rendimiento de los genotipos en ambientes con estrés hídrico severo y una mayor variabilidad cuando no hubo estrés.

Fischer *et al.* (2013) tuvo como objetivo determinar el efecto de la restricción controlada de agua sobre el rendimiento potencial, la composición química (proteína, contenido de grasa y fibra cruda) y la capacidad antioxidante en semillas de tres genotipos de quinua. El estudio se realizó en la zona centro sur de Chile bajo condiciones de campo y controladas en un invernadero. El tratamiento principal fue la disponibilidad de agua y las subparcelas incluyeron tres genotipos de quinua. Se observó en los resultados un incremento en la capacidad antioxidante de un 88 por ciento entre genotipos y un 70 por ciento en semillas expuestas desde 95 a 20 por ciento de la capacidad de campo. De otra parte el potencial de rendimiento se redujo en diferentes magnitudes entre genotipos. Finalmente, 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.

Geerts *et al.* (2008b) investigó el impacto del riego deficitario (DR) en la quinua con la finalidad de aumentar la eficiencia de uso de agua (EUA) para su producción. Se realizaron experimentos de campo en dos localidades del Altiplano boliviano central (Patacamaya y Condoriri); y experimentos bajo condiciones controladas (haciendo uso de mini-lisímetros) en Viacha. A partir del experimento controlado, fue demostrado el efecto negativo de la sequía; observándose que la fase de grano lechoso fue la más sensible, seguida de la fase de floración. La sequía después de emergencia hasta el estadio de 6 hojas y desde 6 hojas hasta el estadio de 12 hojas no produjo rendimientos más bajos, resultando un EUA igual o mayor al *full irrigation* (FR). En Condoriri, no se encontraron diferencias significativas entre el DR y el tratamiento de secano como resultado de la buena distribución de la lluvia durante las etapas fenológicas críticas. La estrategia de RD en Patacamaya en 2005-2006 dio como resultado rendimientos y peso de 1 000 granos significativamente mayores (2 t/ha y 5.5 g, respectivamente) en comparación con el tratamiento de secano (1.7 t/ha y 4.2 g, respectivamente). El experimento de campo de 2006-2007 indicó que el riego durante la etapa vegetativa tardía es redundante y que una estrategia de DR es insuficiente durante el establecimiento de la planta. Se cree que los rendimientos de quinua se pueden estabilizar en 1.2 hasta 2 t/ha con la ayuda de DR, aplicando solo la mitad del agua de riego requerido.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Ubicación del Campo experimental

El presente ensayo agronómico 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 en coordenadas es la siguiente:

- Latitud : 12°05'0.5''S
- Longitud : 76°56'55.3''O
- Altitud : 243.7 m.s.n.m.

3.1.2. Características Climatológicas

En el Cuadro 8, muestra los registros climáticos del observatorio Alexander Von Humboldt de la Universidad Nacional Agraria La Molina correspondientes al campo experimental durante el periodo de desarrollo del cultivo de la quinua, el cual se realizó a partir de Octubre del 2013 hasta Marzo del 2014.

Cuadro 8: Promedios mensuales de datos climáticos de La Molina (Octubre 2013 – Marzo 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	10501.6
Noviembre	18.7	22.0	15.3	0.02	72.95	2.49	4.73	10413.8
Diciembre	21.8	26.0	17.5	0.01	70.47	3.44	5.82	11749.1
Enero	24.0	28.1	19.7	0.06	70.41	3.52	4.10	11312.2
Febrero	23.2	28.8	18.8	0.14	71.18	4.57	6.06	11640.1
Marzo	23.5	29.0	19.4	0.03	70.53	3.66	5.32	11722.0

Fuente: Estación Meteorológica Von Humbolt (2015)

3.1.3. Características del Suelo

Desde el punto de vista fisiográfico, los suelos de La Molina, se encuentran situados en una terraza media de origen aluvial. Además se caracterizan por presentar un buen drenaje, permeabilidad moderada, textura media a ligeramente gruesa, estructura granular fina y consistencia en húmedo desde friable a muy friable.

En el presente estudio se realizó un análisis de caracterización de suelo en el Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes con el objetivo de conocer las condiciones físico-químicas del suelo. Para ello se tomó el muestreo al azar de forma uniforme.

En el Cuadro 9, se muestra los resultados del análisis de caracterización donde se determina que el suelo del campo experimental posee una clase textural franco arenosa, el cual 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 4) que se realizó determinándose los porcentajes de humedad a Capacidad de Campo (0.3 bares de succión mátrica) en 23.6% y a Punto de marchitez en 13.3 % (15 bares a succión mátrica). La diferencia de estos valores resulta 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 a 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.

Por lo que se refiere al pH del suelo, este presentó un valor ligeramente básico (7.61), lo cual estuvo relacionado directamente con el porcentaje de carbonatos cuyo nivel también fue bajo (3.8%). Asimismo el valor de la conductividad eléctrica indicó que existe una moderada salinidad, por tanto fue un factor limitante para el desarrollo de la quinua.

Respecto a la materia orgánica se tuvo un nivel bajo con 0.7 por ciento, por consiguiente el abastecimiento natural del elemento nitrógeno fue bajo. De otra parte, el nivel de fósforo y potasio fue medio. Definitivamente ante tales condiciones de N-P-K, se requirió una adecuada fertilización.

En relación a los cationes intercambiables se puede apreciar una distribución catiónica de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y Na^+ en 54.3%, 35.4%, 4.2%, 6.1% respectivamente, descubriéndose un exceso de Mg^{+2} , el cual crea un desequilibrio en las bases. Lo anterior se corrobora con las relaciones catiónicas de $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ y $\text{K}^+/\text{Mg}^{+2}$ que son de 1.53 y 0.12 respectivamente, los cuales reflejan dicho exceso. El CIC total que en este caso es la suma netamente de las bases (debido a que no existe ningún miliequivalente de aluminio ni hidrógeno) determina una baja fertilidad potencial en el suelo.

En síntesis el suelo del campo experimental no presentó ningún inconveniente para el cultivo de la quinua a pesar que presenta como principal limitante una moderada salinidad. Más bien, se tuvo la oportunidad de evaluar el potencial de este cultivo bajo esta condición estresante.

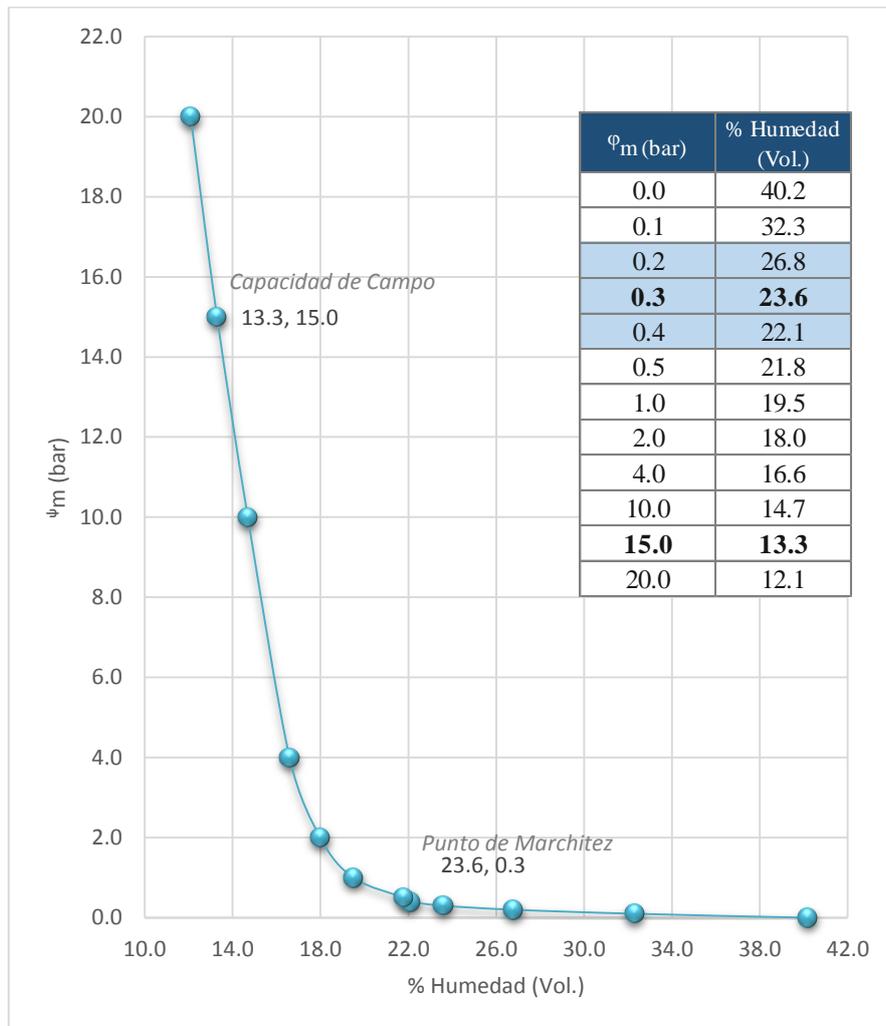


Figura 4: Curva Característica de Humedad del Suelo de la Parcela Experimental

Cuadro 9: Análisis de caracterización de suelo (profundidad de 5 a 30 cm)

Determinación	Unidad de medida	Valor	Interpretación	Método del Análisis	
pH	-	7.6	Ligeramente alcalino	Medida del potenciómetro de la suspensión suelo:agua relación 1:1	
C.E.	dS/m	5.9	Moderadamente Salino	Medida de la Conductividad Eléctrica (C.E.) del extracto acuoso en el extracto de la pasta de saturación (es)	
CaCO ₃	%	3.8	Ligeramente calcáreo	Método gaso-volumétrico utilizando calcímetro	
M.O.	%	0.7	Nivel Bajo	Método de Walkley y Black	
P	ppm	10.4	Nivel Medio	Método de Olsen modificado, extracción con NaHCO ₃ =0.5 M, pH 8.5	
K	ppm	109	Nivel Medio	Extracción con acetato de amonio 1N, pH 7.0	
Análisis Mecánico	Arena	%	61	Franco Arenoso	Método del hidrómetro
	Limo	%	21		
	Arcilla	%	18		
Clase Textural	-	Fr.A.		Triángulo textural	
CIC total	meq/100 g	6.72	Nivel Bajo		
Cationes Cambiables	Ca ⁺²	meq/100 g	3.65	Deficit de Ca ⁺²	Método de espectrofotometría de absorción atómica
	Mg ⁺²	meq/100 g	2.38	Exceso de Mg ⁺²	
	K ⁺	meq/100 g	0.28	Nivel Normal	
	Na ⁺	meq/100 g	0.41	Nivel Normal	
	Al ⁺³ + H ⁺	meq/100 g	0.00	Inexistente	Método de Yuan
Suma de cationes	meq/100 g	6.72	Nivel Bajo		
Suma de Bases	meq/100 g	6.72	Nivel Bajo	Cálculos aritméticos	
% Saturación de Bases	%	100.0	Muy Saturado con bases		

Fuente: Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la UNALM.

3.1.4. Características del Agua de Riego

Según el análisis del agua de riego presentado en el Cuadro 10, se puede apreciar que esta agua fue altamente salina con: baja alcalinidad, bajo concentración del ion boro, alta concentración de sodio y muy alta concentración del ion cloruro. Todo esto se traduce a que existieron elevados riesgos de problemas de toxicidad para al cultivo. De otro lado, esta agua presentó un nivel elevado de nitratos, lo cual fue un aporte adicional de nitrógeno para las plantas de quinua. Finalmente, esta agua fue muy dura, por consiguiente obturó químicamente algunos emisores del sistema de riego por goteo.

3.1.5. Características de las variedades de quinua en estudio

- **La Molina 89**

Es una variedad seleccionada por el programa de cereales de la UNALM, la cual posee una buena capacidad de adaptación para las condiciones de la costa peruana. Está caracterizada por ser precoz teniendo un periodo vegetativo entre 130 – 140 días hasta la maduración total, no presenta ramificación, tiene una sola panoja por planta y es de tipo amarantiforme. Se sabe que presenta tolerancia al mildiu (Tapia 2003 y Apaza, 1995) y también resistencia a esta enfermedad. Está variedad es proveniente del Altiplano donde las condiciones agroclimáticas son muy adversas, lo cual posee características de rusticidad y adaptabilidad (Apaza, 1995). Estudios realizados por Apaza (1995), Barnett (2005) y Leon (2014) sirvieron para definir algunas medidas en las características agronómicas y de calidad de grano de la variedad *La Molina 89*. (Véase en el Cuadro 11).

- **Salcedo INIA**

Es una variedad obtenida del cruce de las variedades *Real Boliviana* con *Sajama*, por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en la Estación Experimental Agraria (EEA) Illpa Puno en 1983 y liberada en 1995. Esta variedad está adaptada para desarrollarse bajo condiciones de altiplano entre los 3 800 y 3 950 msnm con un clima semiseco frío, precipitación pluvial de 400 a 560 mm, temperaturas de 6° a 17°C, y para suelos de textura franco y franco arenoso con pH de 5.5 a 7.8. De igual modo, se desarrolla bien en la costa entre los 640 a 1314 msnm y valles interandinos, a una temperatura máxima de 24 a 25°C, y en suelos de textura arenosa (FAO, 2013). En el Cuadro 11, se mencionan las características agronómicas de esta variedad y las características de calidad de grano.

Cuadro 10: Análisis del agua de riego

Variable	Unidad de medida	Valores	Interpretación
pH	-	7.1	Normal
C.E.	dS/m	3.3	Muy elevada (C4)
Calcio (Ca ⁺²)	meq/litro	19.3	
Magnesio (Mg ⁺²)	meq/litro	5.9	
Potasio (K ⁺)	meq/litro	0.29	
Sodio (Na ⁺)	meq/litro	13.5	Toxicidad severa
Suma de Cationes	meq/litro	38.99	
Nitratos (NO ⁻³)	meq/litro	0.16	11 kg de N/ha por campaña
Carbonatos (CO ₃ ⁻)	meq/litro	0	No hay
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	meq/litro	1.9	Bajo
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	meq/litro	11.2	Elevado
Cloruros (Cl ⁻)	meq/litro	22.5	Toxicidad severa
Suma de Aniones	meq/litro	35.76	
Sodio (Na ⁺)	%	34.6	
SAR		3.8	Bajo
Boro soluble	ppm	0.7	No hay problemas
Clasificación	C4-S1		Altamente salina y no existe problema de alcalinización

Fuente: Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la UNALM.

- **INIA 415-Pasankalla**

Esta variedad fue obtenida por el INIA en base a una selección de ecotipos procedentes de la localidad de Caritamaya, distrito de Ácora, provincia de Puno en 1978, y fue liberado comercialmente en el 2006. Esta variedad está adaptada para desarrollarse bajo condiciones de zona agroecológica Suni del altiplano entre los 3 800 y 3 900 msnm, con clima frío seco, precipitación pluvial de 400 a 550 mm, con temperaturas de 4° a 15°C, en suelos de textura franco y franco arenoso con pH de 5.5 a 8.0. También se adapta a valles interandinos entre los 2750 a 3750 msnm y en costa entre los 640 y 1 314 msnm, a una temperatura máxima de 24 a 25°C y en suelos de textura franco arenoso. Posee un alto valor nutricional y excelente calidad de grano para la transformación agroindustrial (FAO, 2013).

- **INIA 420 – Negra Collana**

Esta quinua es un compuesto de 13 accesiones de 12 localidades (Caritamaya, distrito de Ácora, provincia de Puno), comúnmente conocidos como “Quytujiwras”. Se desarrolla en las mismas condiciones agroclimáticas que las otras variedades en estudio produciéndose en el altiplano, valles interandinos y en la costa. Tiene buen potencial de rendimiento, precocidad, tolerancia a bajas temperaturas y a enfermedades. Fue liberada por el INIA en el 2008. Sus características agronómicas y de calidad de grano se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Comparación de las características agronómicas y calidad de las variedades en estudio

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) y; (*) Apaza (1996), Barnett (2005), Huamancusi (2012) y León (2014)

3.1.6. Sistema de Riego por Goteo

El sistema de riego por goteo estuvo constituido básicamente por un cabezal de control y una red de distribución, cuyos componentes son los siguientes:

- **Cabezal de Control**
 - 2 válvulas de 1 pulg. (llaves de control e ingreso de fertilizante)
 - 1 filtro de anillos de ¾ pulg.
 - 1 contómetro de agua tipo reloj.
 - Presión del sistema de riego : 5 –8 metros de columna de agua (m.c.a.)
 - 1 inyector de fertilizantes tipo venturi

- **Red de distribución**
 - 22 m de tubería principal PVC de 1 pulg
 - 165 m de laterales de goteo de 16 mm (PE)
 - 12 micro-válvulas de 16 mm de diámetro
 - 480 goteros autocompensados Katiff de 2.1 l/h
 - 12 conectores de salida
 - 12 terminales de línea en ocho

3.1.7. Fertilizantes

El Cuadro 12 presenta los fertilizantes primarios que se emplearon.

Cuadro 12: Fertilizantes usados en el experimento

Elemento	Fuente	Ley (%)
Nitrógeno (N)	Nitrato de amonio	33.5 - 0 - 0
Fósforo (P)	Fosfato monoamónico	10.5 - 61 - 0
Potasio (K)	Nitrato de Potasio	13.5 - 0 - 44

Fuente: Elaboración Propia.

También se usó una enmienda orgánica llamada GalaHumic 15 (ácidos húmicos) para complementar la fertilización.

3.1.8. Pesticidas

En la presente investigación se usaron en total 6 productos de control fitosanitario: 2 fungicidas, 3 insecticidas y un bioinsecticida con efecto repelente a aves. Todos ellos poseyeron distintos modos de acción con la finalidad de prevenir la resistencia genética de estos productos. Asimismo para maximizar la efectividad y eficiencia de los productos se aplicaron 2 tipos de coadyuvantes (Cuadro 13).

Cuadro 13: Características de los pesticidas usados en el experimento

Tipo de Pesticida	Producto Comercial	Ingrediente Activo (i.a.)	Concentración del i.a.	Modo de Acción del Pesticida	Titular del Registro
Fungicida	Ridomil Gold MZ 68 WP	Mancozeb Metalaxyl	640 g/kg 40g/kg	Actividad de contacto en multisitios/Síntesis de ácidos nucleicos	Syngenta Crop Protection S.A.
Fungicida	Positron 69 PM	Iprovalicarb Propineb	90 g/kg 600 g/kg	Biosíntesis de pared celular/Actividad de contacto en multisitios	Bayer S.A.
Insecticida	Lannate 90	Methomyl	900 g/kg	Inhibidor del acetilcolinesterasa	Dupont Peru S.A.C.
Insecticida	Cipermex Super 10 CE	Alpha-cypermethrin	100 g/kg	Modulador de canales de sodio	Farmex S.A.
Insecticida	Verzus	Emamectin Benzoato	50 g/kg	Activador del canal de cloruro	Interoc S.A.
Bioinsecticida y repelente de aves	Capsialil	Extracto de Aji Extracto de Ajo	43.4% 54.2%	Repelente	Farmex S.A.
Coadyuvante	Silwet L-77 Ag	Copolimero de polieter y silicona	35%	Mejorador de efectividad	Farmex S.A.
Coadyuvante	Triple A	Acidificante	940 g/L	Mejorador de efectividad	TQC S.A.

Fuente: Elaboración Propia

3.1.9. Equipos para Análisis de calidad

Para el análisis de la calidad de los granos de quinua en los tratamientos estudiados se usaron los siguientes equipos pertenecientes al Programa de Investigación de Cereales y Granos Nativos:

- INFRATEC (Medición de proteínas y humedad)
- Medidor de Saponinas
- Juego de tamices
- Digestor para realización de Método Kjeldahl.
- Balanza electrónica analítica

3.1.10. Otros

Mochila de fumigación, Cámara fotográfica, Balanza electrónica, Estufa, Libreta de campo, Bolsas plásticas, Cartulina, Tijeras, Palas, Pico, Rastrillo, Cinta métrica, Wincha, Vernier, Pinzas, Cintas de video, explosivos caseros.

3.2. MÉTODOLÓGÍA

El experimento consistió en la evaluación de tres regímenes de riegos comerciales crecientes en cuatro variedades de quinua empleando sistema de riego por goteo. 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 de 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 una densidad de 152 000 plantas/ha. 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) y control fitosanitario.

3.2.1. Factores en Estudio

- Régimen de riegos

Régimen de Riego (m ³ /ha)	Clave
100.0% RRT	R1
87.5% RRT	R2
75.0% RRT	R3

RRT: Requerimiento de Riego Total

- Variedades

Variedad de quinua	Clave
La Molina 89	V1
Salcedo INIA	V2
Pasankalla	V3
Negra Collana	V4

3.2.2. Diseño Experimental

Cuadro 14: Modelo Aditivo Lineal del presente experimento (Parcelas divididas/Split Plot)

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \rho_k + (\tau\rho)_{ik} + \varepsilon_{ijk} \quad i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2, 3, 4$$

Donde:

Y_{ijk} : Es el valor observado de la variable respuesta en i-ésimo nivel de régimen de riego, j-ésimo nivel de variedad en el k-ésimo bloque.

μ : Es el efecto de la media general de la variable respuesta.

τ_i : Es el efecto del i-ésimo nivel de régimen de riego.

β_j : Es el efecto del j-ésimo bloque

$(\tau\beta)_{ij}$: Es el efecto del error experimental del i-ésimo nivel de régimen de riego en el j-ésimo bloque, Error (a)

ρ_k : Es el efecto del k-ésimo nivel de variedad de quinua.

$(\tau\rho)_{ik}$: Es el efecto de la interacción bajo el i-ésimo nivel de régimen de riego, k-ésimo nivel de variedad de quinua.

ε_{ijk} : Es el efecto del error experimental bajo el i-ésimo nivel de régimen de riego, k-ésimo nivel de variedad de quinua en el j-ésimo bloque, Error (b).

Fuente: Elaboración propia.

El diseño experimental empleado en esta investigación fue el de parcelas divididas (Split Plot), asignándose aleatoriamente a los regímenes de riegos como las parcelas dentro de cada bloque, y en el caso de las variedades se le asignó el nivel de subparcela dentro de cada parcela completa. Se empleó 4 bloques, lo cual se tuvo 4 repeticiones por tratamiento.

En el Cuadro 14, se muestra el modelo aditivo lineal que representa matemáticamente las relaciones existentes entre los factores considerados en este experimento.

Los grados de libertad para cada componente de la fuente de variación del Análisis de Varianzas (ANOVA) son los siguientes (Cuadro 15):

Cuadro 15: Fuentes de variación y grados de libertad de Experimento

Fuentes de Variación	Grados de libertad
Bloques	3
Régimen de Riego (A)	2
Error (a)	6
Variedad (B)	3
Interacción Régimen de Riego x Variedad (AB)	6
Error (b)	27
Total	47

Fuente: Elaboración Propia.

El 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.

3.2.3. Características del campo experimental

- **Del Campo Experimental**

Largo Total	: 14.0 m	Largo efectivo	: 12.0 m
Ancho Total	: 16.0 m	Ancho efectivo	: 15.0 m
Área Total	: 224.0 m ²	Área efectiva	: 180.0 m ²

- **Del bloque**
 - Largo efectivo : 12.0 m
 - Ancho efectivo : 3.75 m
 - Área efectiva : 45.0 m²
 - Numero de bloques : 4

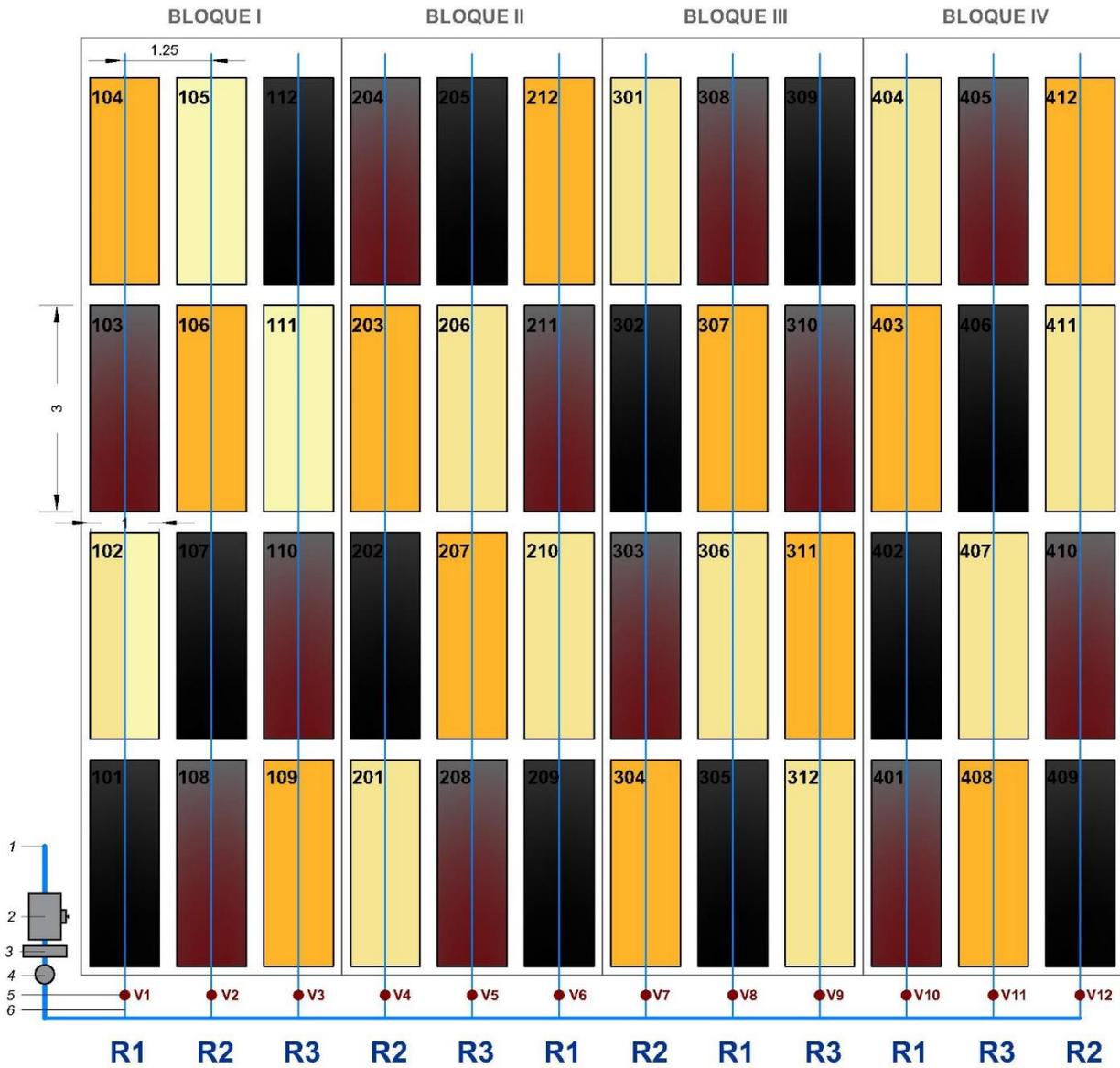
- **De la parcela (cama)**
 - Largo efectivo : 12.0 m
 - Ancho efectivo : 1.25 m
 - Área efectiva : 15 m²
 - Numero de parcela : 12

- **De la subparcela**
 - Largo efectivo : 3.0 m
 - Ancho efectivo : 1.25 m
 - Área efectiva : 3.75 m²
 - Numero de subparcela : 48

La conformación de los 12 tratamientos a partir de los 2 factores (regímenes de riego y variedades de quinua) se aprecia en el Cuadro 16, donde se encuentran aleatorizados en cada uno de los 4 bloques. El esquema de esta aleatorización se muestra en la Figura 5.

Cuadro 16: Aleatorización de los tratamientos

N°	Tratamiento	Aleatorización			
		I	II	III	IV
1	R1V1	104	212	307	403
2	R1V2	102	210	306	404
3	R1V3	103	211	308	401
4	R1V4	101	209	305	402
5	R2V1	106	203	304	412
6	R2V2	105	201	301	411
7	R2V3	108	204	303	410
8	R2V4	107	202	302	409
9	R3V1	109	207	311	408
10	R3V2	111	206	312	407
11	R3V3	110	208	310	405
12	R3V4	112	205	309	406



VARIEDADES:		RÉGIMEN DE RIEGOS:	SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO:
V1	'La Molina 89'	R1: 100.0 % RRT	1. Tubería
V2	'Salcedo INIA'	R2: 87.5 % RRT	2. Válvula General
V3	'Pasankalla'	R3: 75.0 % RRT	3. Filtro de anillos
V4	'Negra Collana'		4. Contómetro
			5. Micro-válvula
			6. Lateral de riego

Figura 5: Esquema de aleatorización de los tratamientos en Parcelas Divididas (Split Plot)

3.2.4. Programación de los Regímenes de Riego

El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta de tres regímenes de riegos en el crecimiento y rendimiento de cuatro variedades de quinua, dentro los cuales el primer régimen de riego consistió en aplicar el 100% del Requerimiento de Riego Total (RRT), el segundo régimen de riego fue la aplicación del 87.5 % del RRT y el tercer régimen de riego fue el 75 % del RRT.

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%. En tanto para el cálculo del RRN fue indispensable contar con la evapotranspiración del cultivo (ET_c, mm/día) en sus distintas fases fenológicas para multiplicarse luego con la duración (en días) que tuvieron cada fase. La suma de cada RRN por estado fenológico resulta el RRN del cultivo. Las fases fenológicas que se tomaron como referencia para la programación de los regímenes de riego fueron en base a la investigación de Quillatupa (2009), quien desarrolló la escala fenológica Gomez y Quillatupa (Cuadro 2) conformado por 10 fases: germinación, desarrollo vegetativo, ramificación, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso.

Es importante señalar que el periodo vegetativo de las variedades en estudio difieren variablemente (Cuadro 11), 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* (Cuadro 17) y la segunda para las variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana* (Cuadro 18).

Los cálculos para la obtención de cada RRN por estado fenológico de las 4 variedades se pueden apreciar en el Anexo 1, 2, 3, 4, 5 y 6. La determinación del ET_c (mm/día) resultó de la multiplicación del Coeficiente del cultivo (K_c) con la Evaporación del Tanque A (E_o), en donde los valores de E_o mensual se definieron 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. Estos E_o fueron estimados por el producto tecnológico del MINAGRI (2013) llamado “Agro al Día”, que dentro de sus funciones calcula los requerimientos hídricos de los cultivos más importante del país (Anexo 7). Respecto a la

estimación de los Kc por estado fenológico, algunos de éstos se basaron de la investigación de Choquecallata *et al.* (1991) y otros de la experiencias de Barnett (2005). Estos Kc variaron conforme se redujo el RRT en 87.5% y 75%.

En relación al RRT de la variedad *La Molina 89*, el Régimen de Riego 1 que fue el 100% del RRT (4 800.8 m³/ha) los Kc de los siguientes estados fenológicos: 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 fisiológica) y en grano pastoso (rayable con la uña en 50% de la panoja) fueron de 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 (Anexo 1). Para el Régimen de Riego 2 que fue 87.5% del RRT (4 200.7 m³/ha) los Kc 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 (Anexo 2). Finalmente para el Régimen de Riego 3 que fue 75% del RRT (3 600.6 m³/ha) los Kc 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 (Anexo 3).

Respecto al RRT de las variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana* que fueron los mismos requerimientos en los tres, el Régimen de Riego 1 que fue 100% del RRT (4 000.8 m³/ha) tuvieron los Kc de 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 en los mismos estados fenológicos mencionados anteriormente (Anexo 4). Para el Régimen de Riego 2 que fue de 87.5% del RRT (3 500 m³/ha), los Kc fueron de 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 (Anexo 5). Finalmente, el Régimen de Riego 3 que fue 75% RRT (3 000.6 m³/ha), los Kc fueron de 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 (Anexo 6).

Finalmente, se debe mencionar que la suma de las áreas de 4 subparcelas que conformaron una variedad fue de 15 m². Este dato fue importante para calcular los volúmenes reales (en litros) que se aplicaron por cada variedad en estudio, tal como se muestran en el Anexo 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Estos volúmenes de riego representaron correctamente los regímenes de riegos en estudio.

Cuadro 17: Programación 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
Desarrollo vegetativo y Ramificación	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	6.063	67.367	5.305	58.946	4.547	50.525
	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
Llenado de granos	Grano acuoso	11/01/2014	20	100	73.440	816.000	64.260	714.000	55.080	612.000
	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 en estado frágil bajo el diente (+14% de hd) en toda la panoja	01/04/2014	38	180						
TOTALES Y PROMEDIOS					432.076	4,800.846	378.067	4,200.740	324.057	3,600.635

Eficiencia de riego: 90%

Cuadro 18: Programación 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
Desarrollo vegetativo y Ramificación	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	6.063	67.367	5.305	58.946	4.547	50.525
	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	07/11/2013	5	35	11.869	131.878	10.385	115.393	8.902	98.908
	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
Llenado de granos	Grano acuoso	01/01/2014	15	90	55.080	612.000	48.195	535.500	41.310	459.000
	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 en estado frágil bajo el diente (+14% de hd) en toda la panoja	01/04/2014	38	155						
TOTALES Y PROMEDIOS					360.073	4,000.813	315.064	3,500.711	270.055	3,000.610

Eficiencia de riego: 90%

3.2.5. Conducción del Experimento

Antes de comenzar la instalación del experimento, primero se realizó un *mantenimiento de todos los componentes del sistema de riego*, es decir se limpió mediante presión los laterales de riego y los emisores de posibles partículas que obstruyeran el caudal normal de cada emisor.

Acto seguido, dos semanas antes de la siembra se realizó la *preparación del terreno* comenzando por el humedecimiento del suelo; luego de una semana, se efectuó la remoción de las 12 camas de suelo a una profundidad de 30 centímetros usándose una pala recta. Cabe señalar que cada cama tuvo 1 metro de ancho con 12 metros de largo. Posteriormente se realizó el mullido de los terrones con el uso de un pico y un rastrillo y luego con éste mismo se hizo el nivelado al terreno. Finalmente con el uso de un azadón se formó un pequeño surco en cada cama a lo largo del lateral de riego.

La siembra se realizó el 03 de octubre del 2013, correspondiéndose como el día 0 de este experimento. Esto se efectuó de forma manual al fondo de cada surco de la cama, a un distanciamiento exacto de 5.26 centímetros entre golpe. Cada golpe contenía entre 5-7 semillas, lo cual se usó un aproximado de 100 gramos de semillas (25 gramos por variedad) en el campo experimental. Esto equivalió a 5 kg de semillas por hectárea, sin embargo a nivel comercial recomendando sembrarse 10 kg de semillas a chorro continuo porque es más práctico y económico. Posteriormente estas semillas fueron tapadas ligeramente para lograr una germinación uniforme.

Los riegos se realizaron a través de un sistema de riego por goteo, lo cual proporcionó un alto y constante nivel de humedad a la zona radicular de las cuatro variedades de quinuas. Para ello se regó a una frecuencia máxima de cada dos días en los tres regímenes de riego en estudio. Es importante señalar que al ser este sistema altamente preciso con una eficiencia de riego al 90% se pudo cumplir eficazmente con los tratamientos de regímenes de riego. La programación de estos regímenes de riego se aprecia en el Cuadro 17 y 18, en donde la diferenciación de los riegos se realizó desde el primer día.

La fertilización se realizó por el sistema de riego (fertirrigación) mediante el inyector de fertilizantes tipo venturi, distribuyéndose de forma uniforme los 160 kg de N, 80 kg de P₂O₅ y 120 kg de K₂O por hectárea, usándose para ello 326.6 kg de nitrato de amonio, 131.15 kg de fosfato monoamónico y 272.73 kg de nitrato de potasio cristalizado respectivamente. La

fuente nitrogenada y potásica se fraccionó en ocho partes y la fuente fosfórica en cuatro partes habiéndose aplicado a una frecuencia de cada 7 días (Cuadro 19). Simultáneamente, a fin complementar una eficaz fertilización, se aplicó 50 litros por hectárea de una enmienda orgánica a base ácidos húmicos (GalaHumic 15) debido a que el suelo poseía un bajo contenido de materia orgánica.

Cuadro 19: Cronograma de aplicación de los fertilizantes sintéticos

Fecha	Días después de la Siembra (Dds)	Nitrato de Amonio (1/8 = 40.83 kg)	Fosfato Monoamónico (1/4 = 32.79 kg)	Nitrato de Potasio (1/8 = 34.09 kg)
22/10/2013	19		x	
29/10/2013	26		x	
05/11/2013	33	x	x	
12/11/2013	40	x	x	
19/11/2013	47	x		x
26/11/2013	54	x		x
03/12/2013	61	x		x
10/12/2013	68	x		x
17/12/2013	75	x		x
24/12/2013	82	x		x
31/12/2013	89			x
07/01/2014	96			x

Fuente: Elaboración propia.

El desahije se realizó en dos oportunidades, el primero fue a los 23 dds cuando las plantas presentaron unos 20 cm de altura aproximadamente, asimismo se avanzó en un 80% de desahije para el establecimiento de la densidad final de plantas. Finalmente a los 50 dds se realizó el último desahije estableciéndose una densidad de 152 000 plantas/ha a 5.26 cm entre plantas (Figura 7.a). Esta labor fue realizada junto al deshierbo, necesitándose aproximadamente 15 jornaleros por hectárea.

El control de malezas se realizó manualmente junto al desahije, el cual se sacaron todas las malezas de raíz, en algunos casos se hizo uso de la pala. El primer desmalezado se realizó a los 23 dds cuando las plantas tenían seis hojas verdaderas desplegadas y el segundo se realizó a los 55 dds cuando las plantas se encontraban en el desarrollo de su inflorescencia. En ese estado se realizó también el *segundo aporque*.

Durante el *primer desahíje* a los 23 dds, se realizó un *pequeño aporque* con la pala para ayudar a que las plantas se levanten más rápido ante el efecto estresante de esa labor. Posteriormente a los 55 dds se realizó el *segundo y último aporque* (Figura 7.b), el cual tuvo efectos muy favorables en el crecimiento de las cuatros variedades de quinuas, principalmente en *La Molina 89* que resultó la más alta. Sin embargo, el principal objetivo de esta labor fue evitar el acame o tumbado de plantas debido al gran tamaño que presentaron.

Una de las dificultades que más se presentaron en el cultivo de quinua bajo condiciones de Costa Central (La Molina) fue la constante *presencia de plagas y enfermedades*, las cuales se puede apreciar su identificación en el Cuadro 22, como también el *daño causado y el manejo integrado* que se utilizó. Mientras tanto; en la Figura 6, se pueden observar las fotografías que se tomaron de las principales plagas enfermedades y plagas encontradas en el experimento. Cabe señalar que la identificación de las especies se pudo lograr gracias a una Guía de Identificación de la FAO (2016).

Por lo que se refiere al *manejo integrado de plagas y enfermedades*, el control químico fue la estrategia más efectiva para controlar las plagas y enfermedades de mayor importancia económica, como por ejemplo: el Mildiu (*Peronospora farinosa fsp chenopodii*), el gusano ejército (*Spodoptera eridania*) y el chinche de la quinua (*Nysius simulans*). Habría que señalar también, que la plaga más importante no fueron los insectos, sino las aves, ya que éstos consumían directamente el producto comercial que son los granos, reduciendo de esta manera los rendimientos potenciales. Para contrarrestar sus constantes daños en el periodo de llenado y maduración de granos, se usaron los métodos etológicos como: espantapájaros, cintas de videos brillantes y bombardas pirotécnicas. También se usó un producto biológico a base de extractos de *Capsicum* y ajos llamado “Capsialil”. Se debe agregar también que todos los productos químicos y biológicos que se aprecian en el Cuadro 20, fueron acompañados por un coadyuvante siliconado (Silwet L-77 Ag) y un agente acidificante (Triple A). Entre tanto, las características de los ingredientes químicos usados se pueden apreciar en el Cuadro 13. Finalmente, las cantidades de pesticidas que se usaron expresadas para una hectárea fueron: 2.750 kg de Ridomil Gold MZ 68 WP, 4.750 kg de Positron 69 PM, 0.300 kg de Lannate 90, 0.750 l de Cipermax Super 10 CE, 0.550 kg de Verzus, 2 l de Capsialil 0.8 l de Silwet L-77 Ag y 0.8 l de Triple A.



6a. Presencia de síntomas del Mildiu



6b. Loros devorando los granos



6c. *Spodoptera eridania* dañando inflorescencia



6d. Daños de *Spoladea recurvalis*



6e. Presencia de *Liorhyssus hyalinus*



6f. Presencia de *Nysius simulans*

Figura 6: Plagas y enfermedades más importantes encontradas en el experimento

Cuadro 20: Plagas y enfermedades identificados en el experimento

Plaga o enfermedad	Daños causados	Manejo Integrado
<i>Spodoptera eridania</i>	Las larvas al emerger rasparon la epidermis de la hoja. Las larvas más desarrolladas consumieron vorazmente el follaje, algunas flores y granos en desarrollo.	- Se aplicó en rotación Cipermax Super (Alpha-cypermethrin) con Verzus (Emamectin benzoato)
<i>Spoladea recurvalis</i>	Las larvas destruyeron hojas e inflorescencia. Las hojas y ramillas estuvieron plegadas con su telaraña.	- Se aplicó en rotación Lannate (Methomyl) con Verzus (Emamectin benzoato)
<i>Liriomyza spp.</i>	Las larvas realizaron minaduras serpenteantes en las hojas que hicieron perder su capacidad fotosintética, para luego secarse y caerse.	- Se usaron trampas pegantes amarillas. - Se aplicó Cipermax Super (Alpha-cypermethrin) para controlar adultos principalmente.
<i>Nysius simulans</i>	Succionan la savia de la planta en proceso de crecimiento y los granos de la panoja en proceso de formación.	- Se aplicó un bioinsecticida Capsialil (extracto de capsicum y ajos)
<i>Liorhysus hyalinus</i>	Succionaron la savia de la planta en proceso de crecimiento y también los granos de la panoja en proceso de formación.	- Se aplicó Lannate (Methomyl)
Mildiu (<i>Peronospora farinosa fsp chenopodii</i>)	Al principio se formaron manchas pequeñas irregulares de coloración amarilla, rojiza o parda (dependiendo de la variedad). Posteriormente algunas hojas se torcieron cloróticas para más tarde caerse.	- Se aplicó Ridomil Gold (Mancozeb y Metalaxyl) y Positron (Iprovalicarb y Propineb)
Aves (Cuculí y loros)	Al principio devoraban las semillas en germinación y dañaban las hojas cotiledonales. En la fase reproductiva, quebraban las ramillas de las inflorescencias, y finalmente consumieron vorazmente los granos en estado lechoso, pastoso y rayable con la uña.	- Se usaron cintas de videos y espantapájaros. - Se usaron pirotécnicos para espantar a las aves. - Se aplicó un producto natural a base de Capsicum y ajos llamado Capsialil.

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 frágil bajo el diente, es decir poseían menos de 14 por ciento de humedad (Figura 7.c). Las variedades precoces como *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra 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. La cosecha se realizó en cada subparcela consistiendo primeramente en cortar de las panojas con una tijera de podar, reuniéndolas en una manta de tela para su último secado natural, luego se procedió a la trilla mediante pisoteo y golpes, posteriormente el venteo se realizó con una

maquina venteadora del Programa de Cereales y Granos Nativos en la UNALM, y finalmente se procedió a pesar los granos para los cálculos de rendimiento.

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. Las evaluaciones que se hicieron fueron de: Porcentaje de Granulometría (Figura 7.d), Porcentaje de Proteínas, Porcentaje de Saponinas y Peso de 1 000 granos. En total esta actividad duró lo restante del año 2014 ya que se analizaron 240 muestras de quinua provenientes de las 48 subparcelas.



Figura 7: Conducción del experimento (agronómica y calidad de granos)

3.2.6. Cronología de Actividades

Cuadro 21: Cronología de programación de labores culturales en el experimento

Fecha	Días después de la Siembra	Actividad
19/09/2013	-14	Preparación del terreno
26/09/2013	-7	Mantenimiento del Sistema de riego
30/09/2013	-3	Muestreo del suelo para análisis de caracterización
02/10/2013	-1	Apertura del Sistema de riego, riego de ensaño
03/10/2013	0	Siembra
08/10/2013	5	Emergencia total de las semillas en todas las variedades
18/10/2013	15	Aplicación de 0.75 kg/ha de Ridomil Gold + 0.250 l de Cipermax Super + 100 ml/ha de Silwet L + 100 ml/ha Triple A de forma preventiva contra Mildiu, y para controlar <i>S. eridania</i> y <i>Liriomyza spp</i>
20/10/2013	17	Primera evaluación de observaciones fenológicas
22/10/2013	19	Fertilización de 1° 1/4 de Fósforo
26/10/2013	23	Primer desahije con deshierbo y realización de un pequeño aporque.
28/10/2013	25	Aplicación de 0.75 kg/ha de Ridomil Gold + 0.5 l/ha de Cipermax Super + 100 ml/ha de Silwet L + 100 ml/ha Triple A contra Mildiu y <i>Liriomyza spp</i>
29/10/2013	26	Fertilización de 2° 1/4 de Fósforo
30/10/2013	27	Segunda evaluación de observaciones fenológicas
05/11/2013	33	Fertilización 3° 1/4 de Fósforo y 1° 1/8 de Nitrógeno
07/11/2013	35	Aplicación de 1 kg/ha de Positron + 100 ml/ha de Silwet L + 100 ml/ha Triple A contra Mildiu.
09/11/2013	37	Tercera evaluación de observaciones fenológicas
12/11/2013	40	Fertilización de 4° 1/4 de Fósforo y 2° 1/8 de Nitrógeno
17/11/2013	45	Aplicación de 1.25 kg/ha de Ridomil Gold + 0.25 kg/ha de Verzus + 100 ml/ha de Silwet L + 100 ml/ha Triple A contra Mildiu y <i>S. eridania</i>
18/11/2013	46	Aplicación de 25 l/ha de Ácidos húmicos GalaHumic
19/11/2013	47	Cuarta evaluación de observaciones fenológicas
19/11/2013	47	Fertilización de 3° 1/8 de Nitrógeno y 1° 1/8 de Potasio
22/11/2013	50	Segundo y último desahije estableciéndose 152 000 plantas/ha
26/11/2013	54	Fertilización de 4° 1/8 de Nitrógeno y 2° 1/8 de Potasio
27/11/2013	55	Segundo deshierbo y segundo (último) aporque
28/11/2013	56	Aplicación de 2 kg/ha de Positron + 0.3 kg Lannate + 100 ml/ha de Silwet L + 100 ml/ha Triple A contra Mildiu, <i>L. hyalinus</i> y <i>S.recurvalis</i> .
29/11/2013	57	Quinta evaluación de observaciones fenológicas
30/11/2013	58	Aplicación de 25 l/ha de Ácidos húmicos GalaHumic
03/12/2013	61	Fertilización de 5° 1/8 de Nitrógeno y 3° 1/8 de Potasio
09/12/2013	67	Sexta evaluación de observaciones fenológicas
10/12/2013	68	Fertilización de 6° 1/8 de Nitrógeno y 4° 1/8 de Potasio
17/12/2013	75	Fertilización de 7° 1/8 de Nitrógeno y 5° 1/8 de Potasio
19/12/2013	77	Septima evaluación de observaciones fenológicas
24/12/2013	82	Fertilización de 8° 1/8 de Nitrógeno y 6° 1/8 de Potasio
29/12/2013	87	Octava evaluación de observaciones fenológicas
31/12/2013	89	Fertilización de 7° 1/8 de Potasio
31/12/2013	89	Aplicación de 1.75 kg/ha de Positron + 0.3 kg de Verzus +100 ml/ha de Silwet L + 100 ml/ha Triple A contra Mildiu y <i>S. eridania</i> y <i>S.recurvalis</i>
07/01/2014	96	Fertilización de 8° 1/8 de Potasio
08/01/2014	97	Novena evaluación de observaciones fenológicas
18/01/2014	107	Décima evaluación de observaciones fenológicas
26/01/2014	115	Aplicación de 1 l/ha de Capsialil + 100 ml/ha de Silwet L + 100 ml/ha Triple A contra pájaros y <i>Nysius simulans</i>
28/01/2014	117	Décima evaluación de observaciones fenológicas
02/02/2014	122	Aplicación de 1 l/ha de Capsialil + 100 ml/ha de Silwet L + 100 ml/ha Triple A contra pájaros y <i>Nysius simulans</i>
05/02/2014	125	Cierre del sistema de riego para las variedades 'Salcedo INIA', 'Pasankalla' y 'Negra Collana'
07/02/2014	127	Undécima evaluación de observaciones fenológicas
15/02/2014	135	Corte de plantas para cosecha de las variedades 'Salcedo INIA', 'Pasankalla' y 'Negra Collana'
17/02/2014	137	Duodécima evaluación de observaciones fenológicas
22/02/2014	142	Cierre del sistema de riego para la variedad 'La Molina 89'
07/03/2014	155	Cosecha de las variedades 'Salcedo INIA', 'Pasankalla' y 'Negra Collana'
01/04/2014	180	Cosecha de la variedad 'La Molina 89'

3.2.7. Evaluaciones Experimentales

3.2.7.1. Variables de Crecimiento

- **Altura de planta (m)**

Se midió esta variable con una regla graduada desde la base de la planta hasta el punto apical de la panoja en dos oportunidades: a los 90 dds y a la cosecha. En la primera evaluación se tomó una planta representativa por subparcela y para la segunda evaluación se tomaron 5 plantas al azar por cada subparcela.

- **Longitud de panoja principal (m)**

La medición de la panoja principal consistió en medir el comienzo de las ramificaciones de la inflorescencia que se encuentra en el tallo principal hasta el extremo apical del mismo. Es importante diferenciar este tipo de panoja de las “subpanojas” (término no común) que se presentaron en este experimento por diversos factores. Estas “subpanojas” nacen de los tallos secundarios (ramas) y son panojas muy pequeñas a comparación de la panoja principal (central). Esta variable se midió en dos fechas: a los 90 dds y en la cosecha. Para la primera evaluación se tomó una planta representativa por subparcela y la segunda evaluación se tomaron 5 plantas al azar por cada subparcela.

- **Área foliar (cm²/unid)**

Para la medición del área foliar se usó una metodología práctica en base a la relación (comprobada científicamente) que existe entre el peso fresco de la planta con su área foliar (Garcés y Forcelini, 2011). Es por ello que se tomaron muestras al azar de hojas jóvenes para colocarlo cuidadosamente a un área conocida de 100 cm², acto seguido se determinó el peso fresco de dichas hojas para establecer la relación entre estas dos variables. Una vez obtenido el peso total de hojas de las plantas y el factor de relación entre peso fresco y área foliar se pudo calcular el área foliar de la planta. Esta evaluación se realizó a los 90 dds.

- **Número de subpanojas**

Como ya se explicó anteriormente, lo normal es que la planta forme una panoja bien conformada en la punta de la planta, sin embargo las cuatro variedades de quinua desarrollaron “subpanojas” debido al “efecto del tropicalización” causado principalmente

por el clima. Esta evaluación se realizó en la cosecha y se contó el número de subpanojas desarrolladas en 5 plantas seleccionadas al azar por cada subparcela.

- **Materia seca de panoja (g/unid)**

Esta evaluación se realizó a los 90 dds y en la cosecha. En la primera evaluación se tomó una planta representativa por subparcela y en la segunda 5 plantas al azar por cada subparcela. Esta variable se efectuó cortando la panoja desde el inicio de las primeras ramificaciones de la inflorescencia (panoja principal y subpanojas). Finalmente, las panojas de la primera evaluación y de cosecha se llevaron a secar en una estufa “Memmert” a 70°C por 72 horas para su posterior pesado.

- **Materia seca total (g/unid)**

La evaluación de materia seca total estuvo conformada por los pesos de los siguientes órganos secos: hojas, tallos y panojas con granos. Esto se realizó a partir de las plantas seleccionadas anteriormente en las fechas: a los 90 dds y a la cosecha. Todas las muestras se secaron en una estufa a 70° C por 72 horas para su pesado posterior. Los valores obtenidos conforman el peso de materia seca total por planta, las cuales servirán para el posterior cálculo del índice de cosecha.

3.1.1.1. Rendimiento en grano (kg/ha)

El Rendimiento total de cada subparcela (tratamiento con su respectiva repetición) se determinó en la cosecha, efectuándose en primer lugar el corte de panojas y subpanojas por subparcela, luego se juntaron éstos en una manta de tela para después procederse a la trilla y venteo. Al final de todo se obtuvieron solo los granos por subparcela de 3.75 m², las cuales fueron pesadas para equivalerlas al peso de granos por hectárea (10 000 m²).

3.2.7.2. Componentes de Rendimiento

- **Peso de granos por planta (g)**

Con la finalidad de que esta variable sea realmente un componente de rendimiento, su cálculo consistió en dividir el rendimiento por subparcela (área de 3.75 m²) entre el número de plantas cosechadas, las cuales fueron 57 en todos los tratamientos. De otra parte, se obtuvo también el peso de los granos de las panojas y subpanojas de cada planta de las cinco que se

seleccionaron anteriormente por subparcela (Anexo 31), con la finalidad de usarse en el cálculo del índice de cosecha. Es importante mencionar que estos dos métodos de obtención de esta variable difieren significativamente ya que el primero considera la totalidad de las plantas (grandes, medianas y pequeñas); y el segundo, solo toma 5 muestras (de 57 plantas) medianas y al azar.

- **Peso de 1 000 granos (g)**

En base a la evaluación anterior en donde se obtuvieron los granos de las 5 plantas (5 muestras) por subparcela, se procedió a contar manualmente 1 000 granos por muestra para ser pesados posteriormente en una balanza analítica (4 dígitos decimales).

- **Número de granos por planta (NGP)**

Este componente de rendimiento se determinó en base a un simple cálculo aritmético en el que participan las 2 variables evaluadas (PGP = Peso de granos por plantas, P1000G = Peso de 1000 granos) en la siguiente fórmula:

$$NGP = \frac{1000 \times PGP}{P1000G}$$

- **Número de plantas por m²**

Para este componente de rendimiento se trabajó con una densidad de 15.2 plantas/m² por subparcela desde el inicio hasta el final del experimento.

3.2.7.3. Componentes de calidad

- **Granulometría (%)**

Esta evaluación consistió en determinar la composición granulométrica por panoja en las cinco plantas seleccionadas por subparcela, es decir se evaluó el porcentaje de 4 tamaños de granos en relación a su diámetro: ≥ 2 mm, $< 2 - 1.7$ mm], $< 1.7 - 1.4$ mm] y < 1.4 mm. Para lograr ello se emplearon los tamices N° 10, 12, 14 y 16 respectivamente.

- **Proteínas (%)**

El porcentaje de proteínas de las muestras obtenidas por subparcela se determinaron con el equipo “Infratec 1241 – Grain analyzer” del Programa de Cereales y Granos Nativos del UNALM. Sin embargo, solo se usó para las variedades claras como *La Molina 89* y *Salcedo INIA* ya que este equipo no es muy preciso con las variedades de color. Por ello las variedades *Pasankalla* y *Negra Collana* se evaluaron con el “método Kjeldahl” que determina el porcentaje de nitrógeno de los granos, los cuales al multiplicarse con el factor 6.25 se obtuvieron los porcentajes de proteínas restantes.

- **Saponinas (%)**

Esta evaluación se realizó a través del método Afrosimétrico Mecánico para lo cual hace uso de la máquina “Sap-on”. Para empezar, el procedimiento consistió en pesar cada muestra 0.5 g de granos de tamaño de <2 – 1.7 mm]; luego se los colocó en tubos de ensayos y se agregó 5 ml de agua destilada, acto seguido se colocaron los tubos de ensayos al “Sap-on” (que tiene la función de agitar como máximo 12 muestras preparadas) para agitarse por 30 segundos, luego se esperó 30 minutos y se agitó nuevamente por 20 segundos más, al final se dejó en reposo por cinco minutos. Esta serie de agitaciones generaron una espuma, cuya altura alcanzada está relacionada con el contenido de saponinas en el grano (Bálsamo, 2002) a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Saponinas} = \frac{\text{Altura de espuma} - 0.29}{3.74}$$

Según Koziol (1990), valores menores a 0.11 por ciento se le considera *quinua dulce*; entre 0.11 y 0.60 por ciento, *quinua semidulce*; entre 0.60 a 1.69 por ciento, *quinuas amargas*; y mayores a 1.69 por ciento se le consideran *quinuas muy amargas*.

- **Peso 1 000 granos**

Aunque esta variable ya se evaluó dentro de los componentes de rendimientos, es importante señalar que también es considerado como un componente de calidad de granos, debido a que granos grandes significará mayor porcentaje de endospermo, lo cual se encuentra concentrado de proteínas. A nivel industrial, sirve mucho para determinar el potencial de rendimiento de harina; y a nivel económico, el mercado cotiza mejor los granos con mayores tamaños (grandes y extra grandes).

3.2.7.4. Parámetros Agronómicos

- **Eficiencia de uso de agua (EUA- kg/m³)**

Este parámetro se define como la relación existente entre el rendimiento comercial (kg/ha) del cultivo y el agua suministrado con los riegos (m³/ha). Para el caso de la quinua, el rendimiento comercial fue el peso de granos por hectárea, calculándose de esta manera la EUA para cada tratamiento.

- **Coefficiente de transpiración (CT-l/kg)**

Este parámetro se obtiene dividiendo el requerimiento neto de riego sobre la materia seca total producida por el cultivo, midiendo de esta manera la capacidad de transpiración del cultivo. Esto se realizó para las 4 variedades de quinua bajo 3 distintos regímenes de riego.

- **Índice de cosecha (IC-%)**

Este parámetro mide la relación que existe entre el peso seco de granos (rendimiento económico) y la biomasa aérea seca de la planta (rendimiento biológico). Esta biomasa aérea están incluido las hojas, tallos, panoja y granos. Para este cálculo se usaron los valores obtenidos de peso por planta (Anexo 31) y peso de materia seca total de las 5 plantas seleccionadas por subparcela.

- **Índice de área foliar (IAF-cm²/cm²)**

Este parámetro expresa la relación entre la superficie foliar y la superficie de suelo ocupada por la planta. Su cálculo consiste en dividir el área foliar verde de una planta entre el área de la superficie que ocupe ésta. Para este experimento todas las plantas ocupan individualmente un área de superficie de 657.89 cm².

3.2.7.5. Análisis Agroeconómico

- **Índice de Rentabilidad (%)**

En base a los costos de producción por hectárea que se realizó para cada subparcela se determinó el índice de rentabilidad, el cual mide la relación entre las utilidades y la inversión o recursos que se utilizaron para obtenerlos. Para este experimento se calculó este índice mediante la división de las utilidades entre el costo total de la inversión.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados y discusiones que se presentarán a continuación estarán en función a los objetivos del presente estudio, empezándose previamente con los resultados generales. Asimismo, estos resultados (cuadros y figuras) representan los valores promedios de las variables de crecimiento, rendimiento, componentes de rendimiento y calidad; y parámetros agronómicos. Toda esta base de datos y resultados de los análisis estadísticos se pueden apreciar en los Anexos 8 al 32.

4.1. RESULTADOS GENERALES

El presente ensayo evaluó la respuesta de tres regímenes (100% RRT, 87.5% RRT y 75% RRT) de riego en el crecimiento y rendimiento de cuatro variedades de quinua (*La Molina 89*, *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*). En el Cuadro 22, se puede apreciar los promedios generales del cultivo de la quinua bajo el efecto de estos dos factores, de los cuáles se obtuvieron en variables de crecimiento: una altura de planta de 1.65 m, una longitud de panoja principal de 0.71 m, un área foliar de 1 211.99 cm², un desarrollo de 9.63 subpanojas, un peso de materia seca de panoja de 67.50 g y un peso de materia seca total de 115.99 g. El rendimiento en grano fue de 1 838 kg/ha. Los componentes de rendimiento fueron de: 12.09 g de peso de granos por planta, 1.8170 g de peso de 1 000 granos, 5 603.04 granos por planta y 15.2 plantas por metro cuadrado. Respecto a los componentes de calidad, el porcentaje de granulometría de los 4 tamaños de granos fueron: 0.21 por ciento de granos mayores y/o iguales a 2 mm, 6.33 por ciento de granos entre 1.7 a 2 mm, 59.23 por ciento de granos entre 1.4 a 1.7 mm y 34.23 por ciento de granos menores a 1.4 mm. El porcentaje de proteínas y saponinas fueron 12.61 y 0.43 por ciento, respectivamente. En relación a los parámetros agronómicos, la eficiencia de uso de agua fue 0.45 kg/m³, el coeficiente de transpiración fue 228.99 l/kg, el índice de cosecha fue 20.28 por ciento y el índice de área foliar fue 1.84. Finalmente, el índice de rentabilidad general fue negativo con un -31.67 por ciento. En el Cuadro 23, se puede observar los resultados de la interacción del régimen de riego con variedades de quinua.

Cuadro 22: Resultados generales de la respuesta del régimen de riego, variedades de quinua y promedio general

Características	Régimen de Riego			Variedades de Quinua				Promedio General
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT	La Molina 89	Salcedo INIA	Pasankalla	Negra Collana	
1. Variables de Crecimiento								
Altura de planta (m)	1.68	1.68	1.60	2.04	1.51	1.62	1.44	1.65
Longitud de panoja principal (m)	0.74	0.71	0.68	0.78	0.72	0.70	0.64	0.71
Área foliar (cm ²)	1 250.73	1 180.85	1 204.39	2 157.97	914.49	1 022.06	753.43	1 211.99
Número de subpanojas	9.78	10.12	8.98	15.65	6.64	8.14	8.08	9.63
Materia seca de panoja (g)	76.34	68.07	58.09	144.66	47.64	39.91	37.80	67.50
Materia seca total (g)	131.44	117.90	98.64	226.61	87.12	83.04	67.20	115.99
2. Rendimiento total (kg/ha)	2 243.95	1 803.10	1 467.80	5 902.87	869.07	238.84	342.36	1 838.28
3. Componentes de Rendimiento								
Peso de granos por planta (g)	14.76	11.86	9.66	38.83	5.72	1.57	2.25	12.09
Peso de 1000 granos (g)	1.9284	1.8297	1.6929	2.2879	2.2411	1.6316	1.1073	1.8170
Número de granos por planta	6 400.94	5 537.92	4 870.26	16 862.15	2 534.12	959.99	2 055.91	5 603.04
Número de plantas por m ²	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 (%)	0.25	0.27	0.10	0.35	0.25	0.21	0.01	0.21
Porcentaje de granos < 2 - 1.7 mm] (%)	7.86	6.64	4.47	10.85	7.54	6.53	0.39	6.33
Porcentaje de granos < 1.7 - 1.4 mm] (%)	63.63	61.69	52.38	67.23	67.52	71.44	30.74	59.23
Porcentaje de granos < 1.4 mm (%)	28.25	31.40	43.04	21.57	24.68	21.82	68.86	34.23
Porcentaje de Proteínas (%)	13.28	12.38	12.17	14.17	11.43	10.80	14.03	12.61
Porcentaje de Saponinas (%)	0.43	0.42	0.45	1.52	0.05	0.03	0.13	0.43
5. Parámetros Agronómicos								
Eficiencia del uso del agua (kg/m ³)	0.48	0.45	0.42	1.39	0.25	0.07	0.10	0.45
Coefficiente de transpiración (l/kg)	235.71	225.70	225.57	110.49	242.06	252.21	311.22	228.99
Índice de cosecha (%)	22.39	19.75	18.70	43.39	24.23	5.85	7.65	20.28
Índice de área foliar (cm ² /cm ²)	1.90	1.79	1.83	3.28	1.39	1.55	1.15	1.84
6. Análisis Agroeconómico								
Índice de Rentabilidad (%)	-15.99	-33.04	-45.97	120.62	-67.71	-91.08	-88.50	-31.67

Cuadro 23: Resultados Generales de la respuesta de interacción Régimen de riego x Variedades de quinua

Características	Régimen de Riego 1 - 100% RRT				Régimen de Riego 2 - 87.5% RRT				Régimen de Riego 3 - 75% RRT			
	La Molina 89	Salcedo INIA	Pasankalla	Negra Collana	La Molina 89	Salcedo INIA	Pasankalla	Negra Collana	La Molina 89	Salcedo INIA	Pasankalla	Negra Collana
1. Variables de Crecimiento												
Altura de planta (m)	2.08	1.54	1.65	1.45	2.07	1.50	1.68	1.45	1.98	1.49	1.52	1.41
Longitud de panoja principal (m)	0.86	0.73	0.74	0.63	0.75	0.73	0.70	0.67	0.73	0.71	0.66	0.63
Área foliar (cm ²)	2 253.25	1 135.43	1 022.36	591.86	2 113.09	807.86	1 087.22	715.21	2 107.59	800.17	956.59	953.23
Número de subpanojas	15.19	7.41	7.98	8.55	16.91	6.38	8.90	8.28	14.85	6.13	7.55	7.40
Materia seca de panoja (g)	167.02	59.66	39.62	39.07	146.32	45.09	41.91	38.98	120.63	38.16	38.22	35.35
Materia seca total (g)	259.42	109.50	87.92	68.90	230.43	80.91	91.67	68.58	189.97	70.94	69.54	64.10
2. Rendimiento total (kg/ha)	7 343.53	1 047.27	239.00	346.00	5 721.87	825.93	284.93	379.67	4 643.20	734.00	192.60	301.40
3. Componentes de Rendimiento												
Peso de granos por planta (g)	48.31	6.89	1.57	2.28	37.64	5.43	1.87	2.50	30.55	4.83	1.27	1.98
Peso de 1000 granos (g)	2.4361	2.3902	1.7192	1.1679	2.3095	2.2013	1.7074	1.1005	2.1181	2.1319	1.4681	1.0535
Número de granos por planta	19 837.54	2 842.27	910.84	2 013.12	16 296.59	2 482.32	1 101.49	2 271.30	14 452.34	2 277.78	867.65	1 883.30
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 \geq 2 mm (%)	0.51	0.32	0.15	0.03	0.29	0.31	0.48	0.01	0.26	0.13	0.01	0.00
Porcentaje de granos < 2 - 1.7 mm] (%)	14.38	8.28	7.78	1.02	10.15	7.75	8.59	0.08	8.02	6.59	3.22	0.06
Porcentaje de granos < 1.7 - 1.4 mm] (%)	68.73	68.34	79.83	37.62	67.41	71.29	75.65	32.39	65.54	62.93	58.84	22.23
Porcentaje de granos < 1.4 mm (%)	16.38	23.06	12.24	61.33	22.15	20.65	15.28	67.52	26.18	30.35	37.94	77.71
Porcentaje de Proteínas (%)	14.60	12.33	10.65	15.52	15.04	9.91	11.24	13.31	12.86	12.05	10.50	13.27
Porcentaje de Saponinas (%)	1.57	0.03	0.00	0.11	1.50	0.03	0.00	0.13	1.47	0.09	0.09	0.14
5. Parámetros Agronómicos												
Eficiencia del uso del agua (kg/m ³)	1.53	0.26	0.06	0.09	1.36	0.24	0.08	0.11	1.29	0.24	0.06	0.10
Coefficiente de transpiración (l/kg)	109.98	217.18	270.16	345.51	108.31	256.81	227.78	309.91	113.19	252.18	258.68	278.23
Índice de cosecha (%)	48.03	25.78	7.42	8.33	38.89	24.77	6.66	8.68	43.26	22.13	3.48	5.95
Índice de área foliar (cm ² /cm ²)	3.42	1.73	1.55	0.90	3.21	1.23	1.65	1.09	3.20	1.22	1.45	1.45
6. Análisis Agroeconómico												
Índice de Rentabilidad (%)	176.55	-61.32	-90.95	-88.23	113.28	-69.05	-89.17	-87.23	72.02	-72.75	-93.12	-90.02

4.2. VARIABLES DE CRECIMIENTO

4.2.1. Altura de planta

El ANOVA de Altura de planta, correspondiente a los 90 dds (Anexo 8), manifiesta que sólo existe una alta significación estadística en el factor *variedades*. Al no presentarse significación estadística en la *interacción régimen de riego por variedades* se procedió a analizar solo el efecto principal de las variedades (Cuadro 24). El coeficiente de variabilidad de los datos analizados fue 2.42 por ciento, con un promedio general de 1.59 m de altura de planta a los 90 dds. De otra parte el análisis de varianza de esta variable en la cosecha (Anexo 9), manifiesta que solamente existe una alta significación estadística en los factores *régimen de riego* y *variedades*, por lo cual, se procedió a analizar solo los efectos principales (Cuadro 24). El coeficiente de variabilidad para esta evaluación fue 2.72 por ciento, con un promedio general de 1.65 m. En el Cuadro 24 y Figura 8, se pueden apreciar la respuesta del régimen de riego y las variedades de quinua en la altura de planta a los 90 dds y en cosecha.

Cuadro 24: Altura de planta a los 90 dds y en cosecha; y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad

Factores	Días después de la siembra					
	90			Cosecha		
	\bar{x}	Tukey	I.P. (%)	\bar{x}	Tukey	I.P. (%)
Régimen de riego						
1- 100% RRT	1.61	A	102.57	1.68	A	104.99
2- 87.5% RRT	1.57	A	100.00	1.68	A	104.78
3- 75% RRT	1.58	A	100.52	1.60	B	100.00
Variedades	\bar{x}	Tukey	I.P. (%)	\bar{x}	Tukey	I.P. (%)
La Molina 89	1.83	A	132.19	2.04	A	142.01
Pasankalla	1.62	B	116.43	1.62	B	112.77
Salcedo INIA	1.50	C	108.22	1.51	C	104.93
Negra Collana	1.39	D	100.00	1.44	D	100.00
Promedio General	1.59			1.65		

- **Respuesta del Régimen de riego**

En la primera evaluación (90 dds) se aprecia que no existen diferencias estadísticas entre los 3 regímenes de riego a pesar que el régimen 1 (100% RRT) tuvo la mayor altura con 1.61 m y el régimen 2 (87.5% RRT) tuvo la menor altura con 1.58 m, siendo la diferencia porcentual

entre ellos de 2.57 por ciento. Caso contrario ocurre con las alturas de planta al momento de la cosecha, en donde se aprecia diferencias estadísticas del régimen 1 y 2 (ambos con 1.68 m) con el régimen 3 de 1.60 m. Los primeros dos regímenes de riego evidentemente no presenta diferencias estadística. Otro detalle importante en análisis es el porcentaje de variación de crecimiento en cosecha respecto a la primera evaluación (a los 90 dds), siendo éstos de 4.35, 7.0 y 1.27 por ciento en los regímenes de riego 1, 2 y 3, respectivamente.

León (2014) investigó la respuesta de 3 láminas de riego (100% LR, 75% LR y 50% LR) usando plástico como membrana de retención de humedad, obteniendo alturas de 1.09, 0.91 y 0.78 m. Estas alturas son menores a lo que se obtuvo en el presente ensayo de tres regímenes de riego. Esto se podría deber a que León (2014) trabajó su 100% de lámina de riego (LR) con 3 235 m³/ha, en cambio en este ensayo se trabajó en base a una lámina de mayor volumen que fue 4 800 m³/ha para la variedad *La Molina 89* y 4 000 m³/ha para las otras variedades. De otra parte, la investigación de Burin (2016) en regímenes de 100%, 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%, 83%, 70%, 57%, y 45% RRT, obteniendo alturas de 1.01, 1.09, 1.17, 1.25 y 1.21 m, respectivamente. Estas diferencias de alturas también se debe a que aplicaron un menor volumen de agua en el 100% RRT respecto al presente ensayo, siendo en el primer caso 4 670 m³/ha y en el segundo 1 995 m³/ha; aunque para el caso de Burin (2016), sus resultados se acerca a lo que se obtuvo en este experimento dado que usó parecido régimen de riego. De otra parte, se está demostrando en este experimento que regímenes de riego entre 3 600 a 4 800 m³/ha no influyen significativamente en las alturas de las plantas. Quizás a menores regímenes de riego existan diferencias entre las alturas, tal como ocurrió en la investigación de Talebnejad y Sepaskhah (2015), cuando redujo el volumen de irrigación de 80% RRT (200.9 mm) a 55% RRT (159.9 mm) y 55% RRT a 30% RRT (125.3 mm), dando como resultado una reducción de la altura del 11 y 14 por ciento, respectivamente.

- **Respuesta de las Variedades de quinua**

En las dos evaluaciones (90 dds y en cosecha) se aprecia que existen diferencias estadísticas entre las 4 variedades, teniendo el mismo orden de tamaños de mayor a menor: (1) *La Molina 89*, (2) *Pasankalla*, (3) *Salcedo INIA* y (4) *Negra Collana*. A los 90 dds estas alturas son 1.83, 1.62, 1.50 y 1.39 m, respectivamente; y en cosecha estas alturas son 2.04, 1.62, 1.51 y 1.44 m, respectivamente. Por lo que se refiere al porcentaje de variación de la altura en

cosecha respecto a la primera evaluación (a los 90 dds), éstos fueron 11.48, 0.0, 0.06 y 3.6 por ciento para las variedades *La Molina 89*, *Pasankalla*, *Salcedo INIA* y *Negra Collana*, respectivamente. Esto refleja que las variedades *Pasankalla* y *Salcedo INIA* cesan de crecer aproximadamente a los 90 dds.

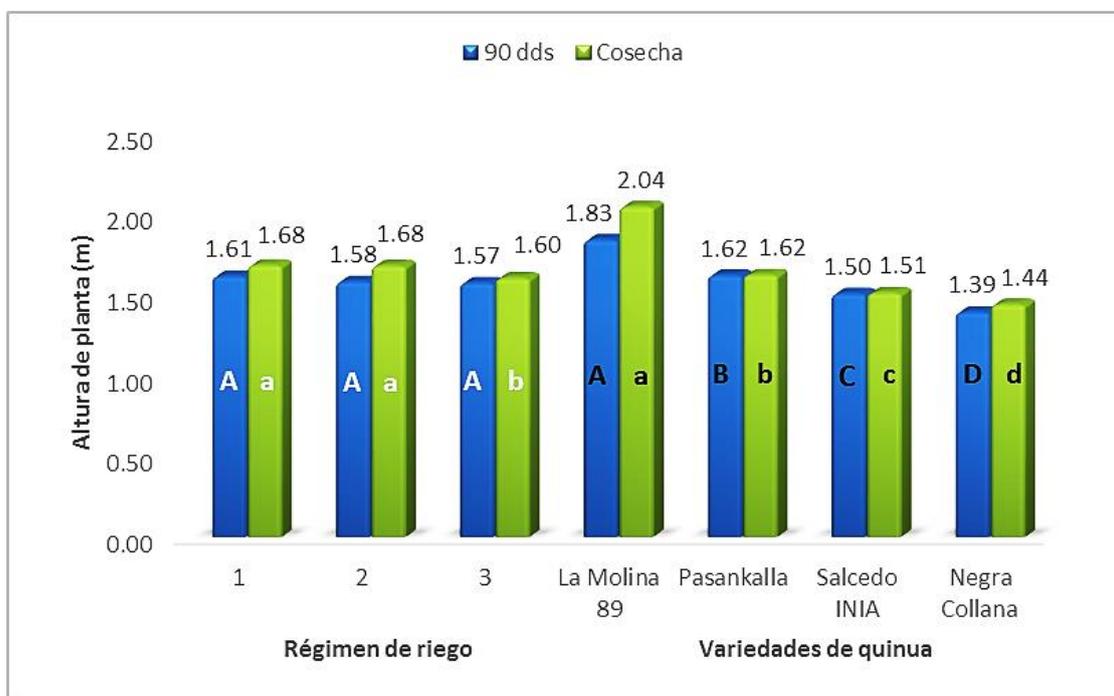


Figura 8: Efectos principales de los Regímenes de riego y Variedades de quinua en Altura de planta a los 90 dds y en cosecha

En este experimento, la variedad *La Molina 89* terminó con una altura promedio de 2.04 m, el cual es un valor muy grande comparativamente a lo que obtuvieron como máximo Huamancusi (2012), Barnett (2005), Julón (2016), Apaza (1995), Tapia (2003), Echegaray (2003) y León (2014), siendo éstos, 1.73, 1.65, 1.60, 1.58, 1.37, 1.09 y 1.00, respectivamente. Las razones de estos resultados comparativos estarían en la respuesta de la fertilización nitrogenada y orgánica combinado con la respuesta de la densidad de plantas. Precisamente, Apaza (1995) menciona que a mayores dosis de fertilización influyen directamente en la altura de planta, en contraste con la densidad donde a mayor número de plantas en la variedad *La Molina 89* reducen su tamaño. En efecto, las dos últimas alturas mostradas (las cuales son las de menor tamaño) se aplicaron baja dosis nitrogenada de 80 y 40 kg/ha. En la presente investigación, las plantas de *La Molina 89* recibieron una dosis de 160 kg/ha de nitrógeno (más 50 litros de una enmienda orgánica a base de ácidos húmicos) al igual que en uno de los tratamiento de Barnett (2005); sin embargo, el factor diferencial

para la obtención de distintas alturas fue la densidad de plantas, sembrándose 152 000 plantas/ha en este experimento, y 223 000 plantas/ha en el ensayo de Barnett (2005).

En relación a la variedad *Pasankalla*, se logró una altura máxima de 1.62 m con el mismo manejo agronómico ya descrito en *La Molina* 89. Este valor dista mucho a la altura normal que contempla el FAO/INIA (2013, Cuadro 13) de 105 cm en la Costa; sin embargo, tampoco se menciona el manejo agronómico con el que se logra esa altura. De otra parte, los investigadores Rosas (2015), Gordon (2011), Quispe (2015) y Burin (2016) obtuvieron alturas máximas en esta variedad de 1.09, 1.26, 1.30 y 1.47 m, respectivamente. Estas diferencias también se puede explicar mediante la respuesta individual y combinado del factor fertilización (nitrogenada principalmente) y densidad de plantas. En el caso de Rosas (2010), el factor más resaltante para su resultado fue la gran densidad de plantas establecido que fue de 430 000 plantas/ha y a una dosis de nitrógeno menor al presente ensayo de 100 kg/ha, mencionando además que su ensayo lo realizó en condiciones climáticas de la sierra de Tarma. La diferencia con Burin (2016), podría deberse a factores como la época de siembra (sembró un mes adelantado respecto al presente ensayo), densidad de plantas a 120 000 por hectárea y la alta fertilización nitrogenada y en general (160 – 80 – 120).

Respecto a la variedad *Salcedo INIA* en el presente ensayo, se alcanzó una altura promedio de 1.51 m, el cual se encuentra dentro de los valores normales de 1.48 a 1.70 m, según el FAO/INIA (2013). En las investigación de Rosas (2014), Mori (2015) y Burin (2016) obtuvieron alturas máximas de 1.13, 1.38 y 1.25 m, respectivamente. La diferencia con Rosas (2014) se debe igualmente al factor de alta densidad de planta y una baja dosis de fertilización nitrogenada comparativamente y a las condiciones climáticas de desarrollo.

Finalmente, las plantas de la variedad *Negra Collana* de este ensayo crecieron en promedio 1.44 m, lo cual sobrepasa a los valores normales que señala el INIA (2013) que son entre 1.00 – 1.30 m. Asimismo también sobrepasa los 0.99 m que Rosas (2014) obtuvo como altura de planta. De la misma forma que las anteriores variedades, esto se explica a un conjunto de factores entre ellas: la fertilización nitrogenada, la alta densidad, el clima y el manejo agronómico. En general, se ha apreciado que todas las variedades han crecido más de lo normal, y esto también se le atribuye al “efecto de tropicalización”, que se caracteriza por el excesivo incremento en follaje, crecimiento de planta y modificación de la inflorescencia (Gómez, 2013).

4.2.2. Longitud de panoja principal

El ANOVA de esta variable a los 90 dds (Anexo 10), manifiesta que solamente existe significación estadística en el factor *variedades*. Al no existir esta significación en la *interacción régimen de riego por variedades* se procedió a realizar el análisis del efecto principal de variedades (Cuadro 25). El coeficiente de variabilidad de los datos analizados fue 9.40 por ciento, con un promedio general de 0.66 m de longitud de panoja principal.

Cuadro 25: Longitud de panoja principal a los 90 dds y en cosecha; y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad

Factores	Días después de la siembra					
	90			Cosecha		
Régimen de riego	\bar{x}	Tukey	I.P. (%)	\bar{x}	Tukey	I.P. (%)
1 - 100% RRT	0.67	A	104.78	0.74	A	107.74
2 - 87.5% RRT	0.67	A	103.76	0.71	AB	104.33
3 - 75% RRT	0.64	A	100.00	0.68	B	100.00
Variedades	\bar{x}	Tukey	I.P. (%)	\bar{x}	Tukey	I.P. (%)
La Molina 89	0.65	AB	103.64	0.78	A	121.03
Salcedo INIA	0.70	A	111.91	0.72	B	112.32
Pasankalla	0.66	AB	105.69	0.70	B	109.07
Negra Collana	0.63	B	100.00	0.64	C	100.00
Promedio General	0.66			0.71		

Entre tanto, el Anexo 11 muestra el análisis de varianza de esta variable realizado en cosecha, donde se aprecia significación estadística en el factor *régimen de riego* y alta significación estadística en el factor *variedades* y en la *interacción régimen de riego por variedades*, lo cual significa que el efecto de un factor dependerá de los niveles del otro, siendo necesario realizar el análisis de efectos simples de la interacción de los factores. El coeficiente de variabilidad para esta evaluación (en cosecha) fue 4.48 por ciento, con un promedio general de 0.71 m. El análisis de efectos simples determina que a un nivel de significación de 0.05 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene longitudes promedio de panojas diferentes en las variedades *La Molina 89* y *Pasankalla*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de las variedades de quinua se obtienen longitudes promedios de panojas diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3.

En el Cuadro 26, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para esta variable; y en la Figura 9, se puede apreciar la respuesta de dicha interacción.

Cuadro 26: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Longitud de panoja principal (en cosecha)

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	0.86	0.75	0.73	0.78	121.03
Salcedo INIA	0.73	0.73	0.71	0.72	112.32
Pasankalla	0.74	0.70	0.66	0.70	109.07
Negra Collana	0.63	0.67	0.63	0.64	100.00
Promedio	0.74	0.71	0.68	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	107.74	104.33	100.00	0.71	

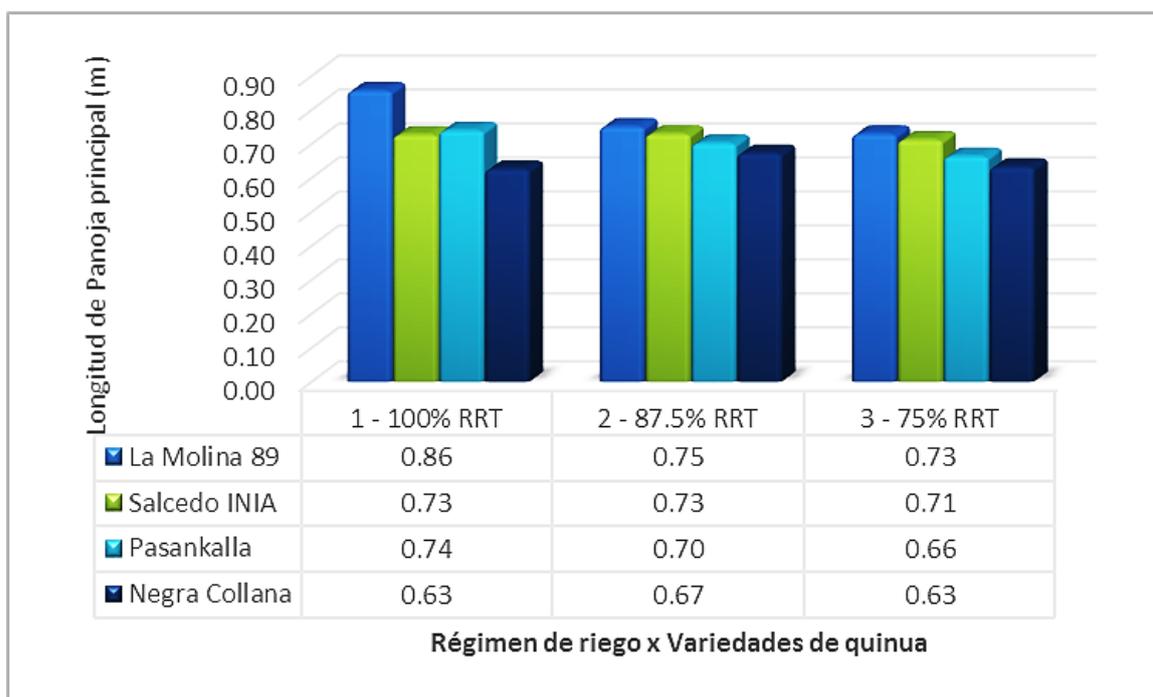


Figura 9: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en la Longitud de panoja principal en cosecha

- **Respuesta de las Variedades de quinua**

De manera general se aprecia que en la primera evaluación no existe mucha diferencia en longitud entre las 4 variedades como si existe al momento de la cosecha, lo cual se infiere que a los 90 dds las panojas no terminan de crecer completamente. En la primera evaluación (90 dds) se aprecia que solo existe diferencia estadística entre las variedades *Salcedo INIA* y *Negra Collana* con 0.70 y 0.63 m, respectivamente (11.91 por ciento de diferencia porcentual). Los grupos de variedades compuesto por *La Molina 89* (0.65 m), *Salcedo INIA* (0.70 m) y *Pasankalla* (0.66 m); y *La Molina 89*, *Pasankalla* y *Negra Collana* (0.63 m) no posee diferencias estadísticas entre sí. Por lo que se refiere al porcentaje de variación de crecimiento de panoja en cosecha respecto a la primera evaluación (a los 90 dds), éstos fueron 11.48, 0.0, 0.06 y 3.6 por ciento para las variedades *La Molina 89*, *Pasankalla*, *Salcedo INIA* y *Negra Collana*, respectivamente.

- **Respuesta de la Interacción Régimen de riego x Variedades de quinua**

Para la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que desarrolló mayor longitud de panoja principal con 0.86 m (véase en el Cuadro 27), el cual es diferente estadísticamente al régimen de riego 2 y 3 cuyos longitudes fueron 0.75 y 0.73 m, respectivamente (estos dos últimos no difieren estadísticamente). En términos porcentuales, esta diferencia fue de 14.67 y 17.46 por ciento, respectivamente. En contraste a estos resultados, León (2014) obtuvo una longitud máxima de 0.27 m aplicando 3 235 m³/ha (100% RRT), bajo condiciones de una fertilización nitrogenada baja y densidad de plantas alta (450 000 plantas/ha). De otra parte, la máxima longitud de panoja obtenida por Barnett (2005) fue 62.7 cm (cercano a lo mostrado) manejado con 5 231 m³/ha de riego, 120 kg/ha de N y 223 000 plantas/ha.

Para la variedad *Salcedo INIA*, los tres regímenes de riego aplicados no tuvieron diferencias estadísticas, a pesar que el régimen de riego 2 manifestó mayor longitud de panoja principal con 0.73 m, seguido del régimen 1 y 3 con 0.73 y 0.71 m, respectivamente. Estos valores difieren a los obtenidos por Mori (2015) en esta variedad, registrando 0.41 m como máximo en los regímenes de riego de 1 657 m³/ha (83% RRT) y 1 995 m³/ha (100 % RRT). Esta diferencia de 30 cm aproximadamente, se debería a la interacción del régimen de riego con la fertilización nitrogenada y densidad de plantas. En el caso de Mori (2015), manejó una densidad de 300 000 plantas/ha aproximadamente.

Cuadro 27: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para la Longitud de panoja principal en cosecha, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	0.86	A	117.46	La Molina 89	1	0.86	A	136.89
2	La Molina 89	0.75	B	102.98	Pasankalla	1	0.74	B	118.31
3	La Molina 89	0.73	B	100.00	Salcedo INIA	1	0.73	B	116.19
1	Salcedo INIA	0.73	A	102.09	Negra Collana	1	0.63	C	100.00
2	Salcedo INIA	0.73	A	102.42	La Molina 89	2	0.75	A	111.61
3	Salcedo INIA	0.71	A	100.00	Salcedo INIA	2	0.73	AB	108.39
1	Pasankalla	0.74	A	111.44	Pasankalla	2	0.70	AB	104.39
2	Pasankalla	0.70	AB	105.83	Negra Collana	2	0.67	B	100.00
3	Pasankalla	0.66	B	100.00	La Molina 89	3	0.73	A	115.37
2	Negra Collana	0.67	A	106.35	Salcedo INIA	3	0.71	AB	112.66
1	Negra Collana	0.63	A	100.00	Pasankalla	3	0.66	BC	105.00
3	Negra Collana	0.63	A	100.00	Negra Collana	3	0.63	C	100.00

Para la variedad *Pasankalla*, el régimen de riego 1 fue el que obtuvo mayor longitud de panoja principal con 0.74 m, difiriendo únicamente con el régimen de riego 3 que desarrolló una longitud de 0.66 m. Esta diferencia en porcentajes sería de 11.44 por ciento. De otro lado, el régimen de riego 2 que manifestó una longitud de 0.70 m, y no tuvo diferencias estadísticas con el régimen 1 ni con el régimen 3. Caso contrario a estos resultados, fue la investigación de Rosas (2015), quien obtuvo una longitud promedio más pequeño con 0.34 m bajo un manejo de tecnología media, lo cual es un valor normal según FAO/INIA (2013).

Finalmente, para la variedad *Negra Collana*, los tres regímenes de riego aplicados no manifestaron diferencias estadísticas, a pesar que el régimen 1 haya obtenido la mayor longitud de panoja principal con 0.67 m y los otros dos régimen de riego hayan obtenido longitudes menores e iguales con 0.63 m. Para esta variedad, Rosas (2010) también obtuvo una longitud más pequeño de 0.32 m, bajo condiciones hídricas de secano de 279.7 mm.

El denominador común en todas las variedades fue una longitud de panoja mucho mayor a lo registrado por otros autores, lo cual se debe a lo concluido por Apaza (1995) de que existe influencia de la densidad de plantas y la dosis de fertilización en la longitud de panoja. Éstos también interactúan con el régimen de riego para lograr longitudes potenciales.

4.2.3. Área Foliar

El ANOVA de Área foliar, mostrado en el Anexo12, manifiesta que solamente existe alta significación estadística en los factores *variedades e interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 11.12 por ciento, con un promedio general de 1 212.0 cm² de área foliar por planta.

En el Cuadro 28, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para el área foliar; y en la Figura 10, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

Cuadro 28: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Área foliar

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	2 253.2	2 113.1	2 107.6	2 158.0	286.42
Salcedo INIA	1 135.4	807.9	800.2	914.5	121.38
Pasankalla	1 022.4	1 087.2	956.6	1 022.1	135.65
Negra Collana	591.9	715.2	953.2	753.4	100.00
Promedio	1 250.7	1 180.8	1 204.4	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	105.92	100.00	101.99		1 212.0

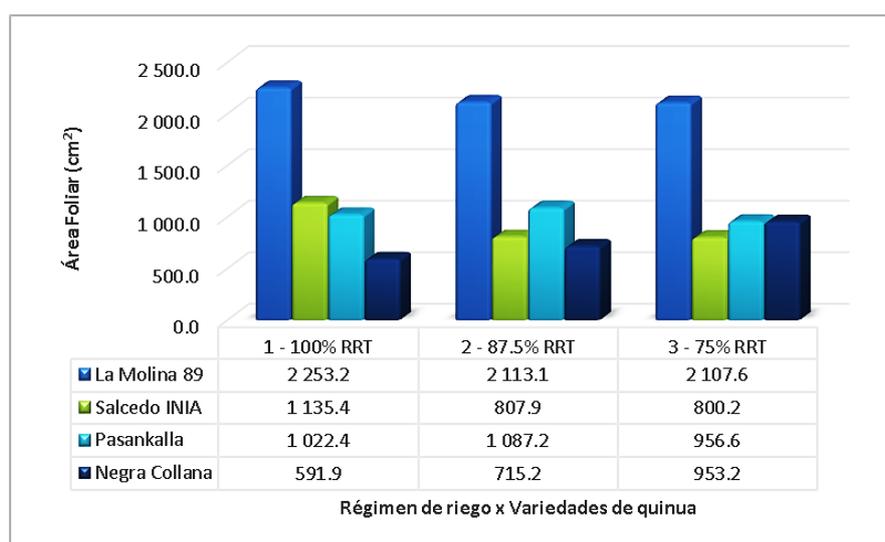


Figura 10: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Área foliar

- **Respuesta de la Interacción Régimen de Riego x Variedades de quinua**

El análisis de efectos simples, mostrado en el Anexo 12, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene áreas foliares promedio diferentes en las variedades *Salcedo INIA* y *Negra Collana*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen áreas foliares promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3.

Cuadro 29: Respuesta de la interacción Régimen de riego x Variedades de quinua para el Área foliar, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	2 253.25	A	106.91	La Molina 89	1	2 253.25	A	380.71
2	La Molina 89	2 113.09	A	100.26	Salcedo INIA	1	1 135.43	B	191.84
3	La Molina 89	2 107.59	A	100.00	Pasankalla	1	1 022.36	B	172.74
1	Salcedo INIA	1 135.43	A	141.90	Negra Collana	1	591.86	C	100.00
2	Salcedo INIA	807.86	B	100.96	La Molina 89	2	2 113.09	A	295.45
3	Salcedo INIA	800.17	B	100.00	Pasankalla	2	1 087.22	B	152.01
2	Pasankalla	1 087.22	A	113.66	Salcedo INIA	2	807.86	BC	112.95
1	Pasankalla	1 022.36	A	106.88	Negra Collana	2	715.21	C	100.00
3	Pasankalla	956.59	A	100.00	La Molina 89	3	2 107.59	A	263.39
3	Negra Collana	953.23	A	161.06	Pasankalla	3	956.59	B	119.55
2	Negra Collana	715.21	AB	120.84	Negra Collana	3	953.23	B	119.13
1	Negra Collana	591.86	B	100.00	Salcedo INIA	3	800.17	B	100.00

Para la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 (100% RRT = 4 800 m³/ha) a pesar que fue el que desarrolló mayor área foliar con 2 253.3 cm² no difiere estadísticamente al régimen de riego 2 (87.5% RRT = 4 200 m³/ha) y 3 (75% RRT = 3 600 m³/ha) que manifestaron valores de 2 113.1 y 2 107.6 cm² respectivamente (véase en el Cuadro 29). En términos porcentuales, esta diferencia fue de 6.63 y 10.76 por ciento, respectivamente. Se tiene referencia de que Barnett (2005) obtuvo una máxima área foliar de 1 564.1 cm² aplicando 5 231 m³/ha y 120 kg/ha de N, asimismo Huamancusi (2012) obtuvo 1 287.9 cm² aplicando 3 949 m³/ha con 80 kg/ha de N y micronutrientes (vía foliar). Estas diferencias comparativas se deberían en primer lugar, al factor de fertilización ya que en esta tesis se

aplicó 160 kg/ha de N (los otros aplicaron 120 kg/ha); en segundo lugar a la densidad de plantas de esta tesis de 152 000 plantas (los otros 223 000 aproximadamente); y en tercer lugar a la metodología aplicada para esta evaluación, en el cual se suma su cuota de error.

Para la variedad *Salcedo INIA*, el régimen de riego 1 (100% RRT = 4 000 m³/ha) fue el que manifestó mayor área foliar con 1 135.4 cm², el cual difiere estadísticamente al régimen 2 (87.5% RRT = 3 500 m³/ha) y 3 (75% RRT = 3 000 m³/ha) que obtuvieron valor de 807.9 cm² y 800.2 cm², respectivamente, siendo las diferencias porcentuales en 40.54 y 41.90 por ciento, respectivamente. Estos últimos regímenes no presentan diferencias estadísticas. Parecido resultado obtuvo Burin (2016) en esta variedad aplicando 100% RRT (4 670 m³/ha), el cual manifestó un área foliar de 1 212.3 cm²; sin embargo regímenes inferiores, al 80 y 60% RRT (3 737 y 2 804 m³/ha, respectivamente) produjo 478.9 y 430.9 cm², respectivamente. Estas diferencias se deberían a la metodología aplicada en esta evaluación.

Para la variedad *Pasankalla*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor valor con 1 087.2 cm², seguidos del régimen 1 con 1 022.4 cm² y régimen 3 con 956.6 cm². En términos porcentuales, esta diferencia fue de 6.34 y 13.66 por ciento, respectivamente. De otra parte, Burin (2016) también obtuvo resultados en esta variedad de 830.50 cm² para el 100% RRT, 695.26 cm² para 80% RRT y 571.86 cm² para 60% RRT.

Finalmente, para la variedad *Negra Collana*, el régimen de riego 3 manifestó mayor área foliar con 953.2 cm², el cual no presentó diferencia estadística con el régimen 2 que resultó con 715.2 cm² (33.28 por ciento de diferencia porcentual). En cambio, estos dos regímenes sí presentaron diferencias estadísticas con el régimen 1, el cual obtuvo un área de 591.9 cm². Cabe señalar que para esta variedad no se encontraron datos de mediciones de área foliar.

En general, se demuestra que con el menor régimen de riego aplicado (75% RRT) se alcanza áreas foliares aceptables, las cuales algunos de éstos no presenta diferencias significativas con el régimen de riego al 100% RRT. Esto respalda a 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 producir óptimamente en regiones áridas. Ellos 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 y durante la floración y el llenado de semillas, a pesar de que la sequía ocurra durante el crecimiento vegetativo.

4.2.4. Número de Subpanojas

El ANOVA de Número de subpanojas, mostrado en el Anexo 13, demuestra que existe alta significación en el factor *variedades*. Al existir *interacción entre los dos factores* de estudio, se procedió a realizar el análisis de efectos principales (específicamente *variedades*), tal como se aprecia también en el Cuadro 30 y Figura 11. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 12.84 por ciento, con un promedio general de 9.63 subpanojas por planta.

Cuadro 30: Número de subpanojas y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad

Factores	Media	Prueba de Tukey	Índice de Promedios (%)
Régimen de riego			
2- 87.5% RRT	10.12	A	112.66
1- 100% RRT	9.78	A	108.94
3- 75% RRT	8.98	A	100.00
Variedades			
La Molina 89	15.65	A	235.78
Pasankalla	8.14	B	122.68
Negra Collana	8.08	B	121.68
Salcedo INIA	6.64	B	100.00
Promedio General	9.63		

- **Respuesta del Régimen de riego**

La comparación de medias de Tukey al 1 por ciento de probabilidad, manifiesta que no existe diferencias estadística en los 3 regímenes de riego a pesar que el régimen 2 (87.5% RRT) obtuvo el mayor número de subpanojas con 10.12, seguido del régimen 1 y 3 con 9.78 y 8.98 subpanojas, respectivamente, siendo la diferencia porcentual de 3.48 y 12.66 por ciento, respectivamente. Al respecto, la investigación de Talebnejad y Sepaskhah (2015) manifiesta que la reducción del volumen de irrigación de 80% RRT (200.9 mm) a 30% RRT (125.3 mm) dio como resultado una reducción del 26 por ciento en el número de subpanojas o panículas (exactamente de 16.53 a 12) en el cultivar de origen danés cv. *Titicaca*.

- **Respuesta de las Variedades de quinua**

La prueba de comparación de medias de Tukey, al 1 por ciento de probabilidad, demuestra que la variedad *La Molina 89* posee el mayor número de subpanojas (15.65), diferenciándose estadísticamente de las variedades *Pasankalla* (8.14), *Negra Collana* (8.08) y *Salcedo INIA* (6.64), las cuales son similares estadísticamente. El índice de superioridad de *La Molina 89* respecto a la variedad con menor número de subpanojas (*Negra Collana*) es 235.78 por ciento. Es importante señalar nuevamente, que normalmente estas variedades no desarrollan subpanojas (en sus condiciones agroecológicas de origen); sin embargo, para la presente investigación fueron afectados por “el efecto de tropicalización” (Gómez, 2013; Christiansen *et al.* 2010).

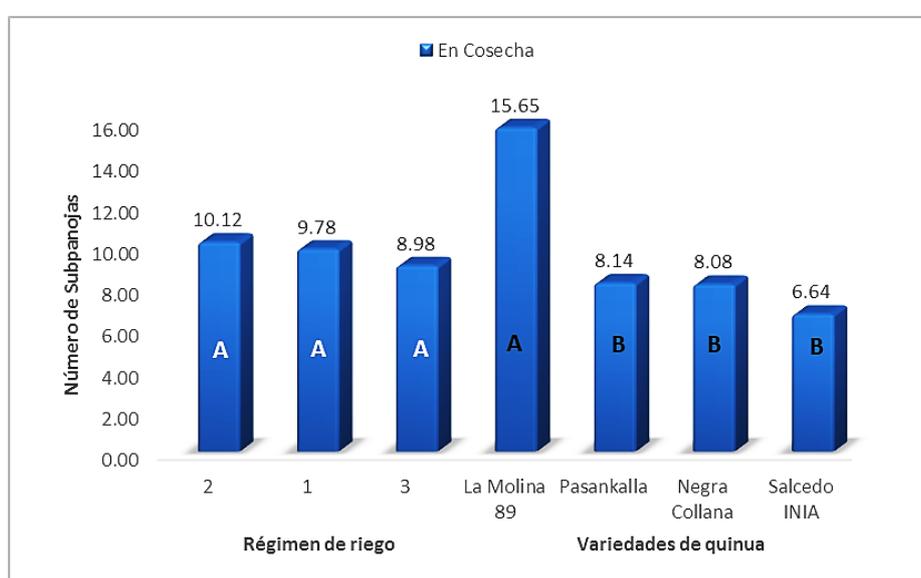


Figura 11: Efectos principales de los Regímenes de riego y Variedades de quinua en Número de subpanojas

4.2.5. Materia seca de panoja

El ANOVA correspondiente a la primera evaluación, realizado a los 90 dds (Anexo 14), manifiesta que solamente existe alta significación estadística en los factores *variedades e interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de estos datos fue 13.21 por ciento, con un promedio general de 16.17 g de peso de materia seca de panoja. El análisis de efectos simples, manifiesta que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego

se obtiene pesos de materia seca de panoja promedio diferentes en la variedad *La Molina 89*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen pesos de materia seca de panoja diferentes en el régimen de riego 1 (100% RRT), 2 (87.5% RRT) y 3 (75% RRT).

Cuadro 31: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Materia seca de panoja a los 90 dds y en cosecha

Evaluación a los 90 dds					
Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	29.09	25.40	21.70	25.39	255.66
Salcedo INIA	17.00	16.66	13.53	15.73	158.37
Pasankalla	12.91	13.56	14.39	13.62	137.13
Negra Collana	8.90	9.31	11.60	9.93	100.00
Promedio	16.97	16.23	15.31	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	110.89	106.04	100.00	16.17	

Evaluación en la cosecha					
Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	167.02	146.32	120.63	144.66	382.70
Salcedo INIA	59.66	45.09	38.16	47.64	126.03
Pasankalla	39.62	41.91	38.22	39.91	105.59
Negra Collana	39.07	38.98	35.35	37.80	100.00
Promedio	76.34	68.07	58.09	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	131.42	117.18	100.00	67.50	

De otra parte el Anexo 15 muestra el ANOVA correspondiente a la evaluación en cosecha, en donde se aprecia que existe alta significación estadística en los factores *regímenes de riego, variedades y en la interacción de régimen de riego con variedades*. Siendo este último significativo, se procedió a realizar solamente el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de estos datos fue 8.61 por ciento, con un promedio general de 67.50 g. El análisis de efectos simples, manifiesta que a un nivel de significación de 0.01, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego

se obtiene pesos de materia seca de panoja promedio diferentes en las variedades *La Molina 89* y *Salcedo INIA*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen pesos de materia seca de panojas diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3.

En el Cuadro 31, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para el peso de materia seca de panoja; y en la Figura 12, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

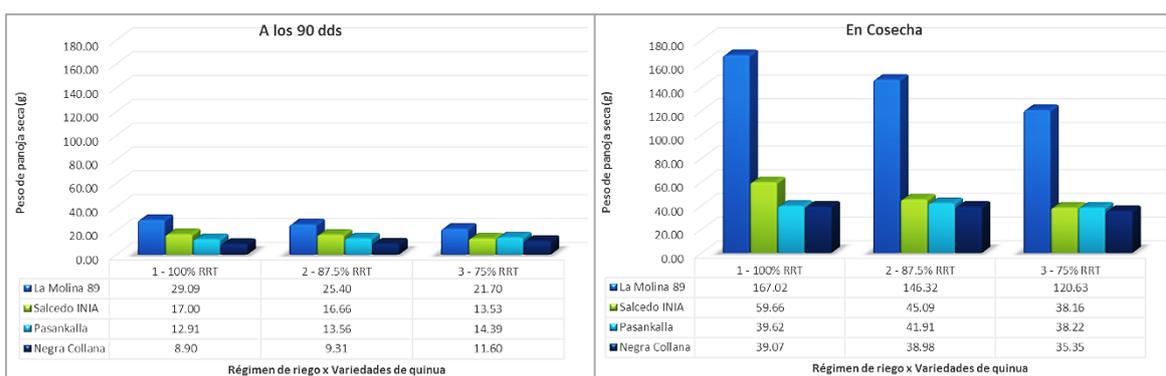


Figura 12: Efecto de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Materia seca de panoja a los 90 dds y en cosecha

- **Respuesta de la Interacción Régimen de riego x Variedades de quinua**

Para la variedad *La Molina 89*, a los 90 dds, el régimen de riego 1 fue el que desarrolló mayor peso de panoja seca con 29.09 g (véase en el Cuadro 32), diferenciándose estadísticamente solo del régimen 3 que obtuvo 21.70 g (diferencia porcentual de 34.02 por ciento). El régimen 2 obtuvo 25.40 g, y no difiere estadísticamente del régimen 1 y 3. En cosecha, el régimen de riego 1 siguió desarrollando el mayor peso de panoja seca con 167.02 g, el cual es diferente estadísticamente al régimen de riego 2 y 3 que manifestaron pesos de 146.32 y 120.63 g, respectivamente (14.76 y 38.45 por ciento de diferencia porcentual, respectivamente). Asimismo, el régimen 2 también difiere estadísticamente del régimen 3 en 21.30 por ciento. En comparación con los resultados de Barnett (2005), su máximo peso de materia seca de panoja fue 58.75 g aplicando 5 231 m³/ha y 80 kg/ha de N, lo cual es mucho menor a lo obtenido en el presente ensayo (167.02 g) aplicando 4 800 m³/ha (100% RRT) y 160 kg/ha de N.

Cuadro 32: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Materia seca de panoja (a los 90 dds y cosecha), mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego (m ³)	Variedad	N	A los 90 dds			En Cosecha		
			Media	Tukey	Índice (%)	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	4	29.09	A	134.02	167.02	A	138.45
2	La Molina 89	4	25.40	AB	117.02	146.32	B	121.30
3	La Molina 89	4	21.70	B	100.00	120.63	C	100.00
1	Salcedo INIA	4	17.00	A	125.64	59.66	A	156.34
2	Salcedo INIA	4	16.66	A	123.09	45.09	B	118.13
3	Salcedo INIA	4	13.53	A	100.00	38.16	B	100.00
2	Pasankalla	4	13.56	A	111.50	41.91	A	109.65
1	Pasankalla	4	12.91	A	105.07	39.62	A	103.66
3	Pasankalla	4	14.39	A	100.00	38.22	A	100.00
1	Negra Collana	4	8.90	A	130.37	39.07	A	110.51
2	Negra Collana	4	9.31	A	104.60	38.98	A	110.27
3	Negra Collana	4	11.60	A	100.00	35.35	A	100.00

Variedad	Régimen de Riego (m ³)	N	A los 90 dds			En Cosecha		
			Media	Tukey	Índice (%)	Media	Tukey	Índice (%)
La Molina 89	1	4	29.09	A	326.96	167.02	A	427.52
Salcedo INIA	1	4	17.00	B	191.13	59.66	B	152.73
Pasankalla	1	4	12.91	BC	145.10	39.62	C	101.41
Negra Collana	1	4	8.90	C	100.00	39.07	C	100.00
La Molina 89	2	4	25.40	A	272.92	146.32	A	375.36
Salcedo INIA	2	4	16.66	B	179.02	45.09	B	115.66
Pasankalla	2	4	13.56	BC	145.75	41.91	B	107.51
Negra Collana	2	4	9.31	C	100.00	38.98	B	100.00
La Molina 89	3	4	21.70	A	187.12	120.63	A	341.25
Pasankalla	3	4	14.39	B	124.10	38.22	B	108.11
Salcedo INIA	3	4	13.53	B	116.68	38.16	B	107.96
Negra Collana	3	4	11.60	B	100.00	35.35	B	100.00

Para la variedad *Salcedo INIA*, a los 90 dds, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 1 obtuvo el mayor peso de panoja seca con 17 g, seguidos del régimen 2 con 16.66 g y régimen 3 con 13.53 g. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 2.04 y 13.66 por ciento, respectivamente. En cosecha, el régimen 1 (100% RRT = 4 000 m³/ha) siguió desarrollando el mayor peso de

panoja seca con 59.66 g, diferenciándose estadísticamente del régimen 2 (87.5% RRT = 3 500 m³/ha) que obtuvo 45.09 g y el régimen 3 (75% RRT = 3 000 m³/ha) que obtuvo 38.16 g. Estos dos últimos no presentan diferencias estadísticas. En contraste, Burin (2016) obtuvo un peso de panoja seca de 94.68 g aplicando 4 670 m³/ha (100% RRT), 56.52 g aplicando 3 737 m³/ha (80% RRT) y 35.09 g aplicando 2 804 m³/ha (60% RRT). En base a estos resultados existe una relación directa en que a mayor régimen de riego se aplique, mayor peso de materia seca se obtendrá.

Para la variedad *Pasankalla*, a los 90 dds, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 3 presentó el mayor valor con 14.39 g, seguidos del régimen 2 con 13.56 g y régimen 1 con 12.91 g. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 6.12 y 11.50 por ciento, respectivamente. Igualmente, en cosecha no presentaron diferencias estadísticas los tres regímenes de riego, a pesar el régimen 2 obtuvo de peso 41.91 g, seguido del régimen 1 con 39.62 g y del régimen 3 con 35.35 g. (diferencia porcentual de 5.78 y 9.65 por ciento, respectivamente). En comparación a los resultados de Burin (2016), éstos fueron parecidos al presente ensayo, obteniendo un peso de materia seca de panoja de 37.2 g aplicando 100% RRT, 35.46 g aplicando 80% RRT y 30.9 g aplicando 60% RRT. Los resultados de Burin (2016) tampoco presentaron diferencias significativas en los regímenes de riego probados en esta variedad.

Finalmente, para la variedad *Negra Collana*, a los 90 dds, los tres regímenes de riego tampoco presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 3 obtuvo el mayor valor con 11.60 g, seguidos del régimen 2 con 9.31 g y régimen 1 con 8.90 g. En términos porcentuales, esta diferencia sería 24.60 y 30.37 por ciento, respectivamente. En cosecha, tampoco hubo diferencias estadísticas entre los tres regímenes de riego, a pesar de que el régimen 1 obtuvo el mayor valor con 39.07 g, seguidos del régimen 2 con 38.98 g y régimen 3 con 35.35 g. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 0.02 y 10.27 por ciento, respectivamente.

En síntesis, se aprecia que el régimen de riego solamente tuvo efecto significativo en el peso de materia seca de panoja en la variedad *La Molina 89*; y en menor medida, en *Salcedo INIA*. Las otras dos variedades no presentaron diferencias significativas; probablemente en regímenes de riego menores a 3 000 m³/ha presenten respuesta diferenciadas en esta variable.

4.2.6. Materia seca total

El ANOVA correspondiente a la primera evaluación, realizado a los 90 dds (Anexo 16), manifiesta que solamente existe alta significación estadística en los factores *variedades e interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de estos datos fue 9.64 por ciento, con un promedio general de 50.54 g de peso de materia seca total. El análisis de efectos simples, manifiesta que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene pesos de materia seca total promedio diferentes en las variedades *La Molina 89* y *Negra Collana*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen pesos de materia seca total promedio diferentes en el régimen de riego 1 (100% RRT), 2 (87.5% RRT) y 3 (75% RRT).

De otra parte el Anexo 17 muestra el ANOVA correspondiente a la evaluación en cosecha, en donde se aprecia que existe alta significación estadística en los factores *regímenes de riego, variedades y en la interacción de régimen de riego con variedades*. Siendo este último significativo, se procedió a realizar solamente el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de estos datos fue 9.04 por ciento, con un promedio general de 115.99 g. El análisis de efectos simples, manifiesta que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene pesos de materia seca total promedio diferentes en las variedades *La Molina 89* y *Salcedo INIA*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen pesos de materia seca total promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3.

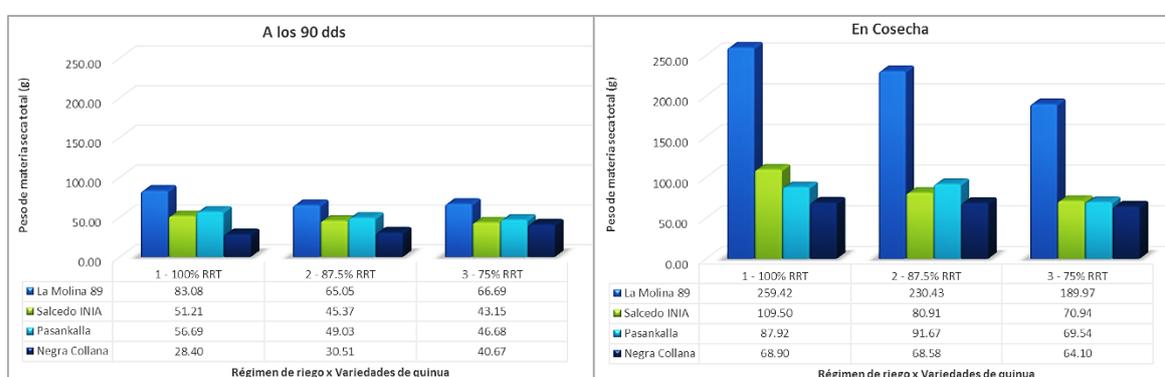


Figura 13: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Materia seca total a los 90 dds y en cosecha

En el Cuadro 33, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para la materia seca total; y en la Figura 13, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

Cuadro 33: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Materia seca total a los 90 dds y en cosecha

Evaluación a los 90 dds					
Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	83.08	65.05	66.69	71.61	215.72
Salcedo INIA	51.21	45.37	43.15	46.58	140.31
Pasankalla	56.69	49.03	46.68	50.80	153.03
Negra Collana	28.40	30.51	40.67	33.19	100.00
Promedio	54.84	47.49	49.30	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	115.49	100.00	103.81	50.54	

Evaluación en la cosecha					
Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	259.42	230.43	189.97	226.61	337.23
Salcedo INIA	109.50	80.91	70.94	87.12	129.65
Pasankalla	87.92	91.67	69.54	83.04	123.58
Negra Collana	68.90	68.58	64.10	67.20	100.00
Promedio	131.44	117.90	98.64	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	133.25	119.53	100.00	115.99	

- **Respuesta de la Interacción Régimen de Riego x Variedades de quinua**

Para la variedad *La Molina 89*, a los 90 dds, el régimen de riego 1 (100% RRT = 4 800 m³/ha) fue que el desarrolló mayor peso de materia seca total con 83.08 g (véase en el Cuadro 34), el cual se diferencia estadísticamente del régimen 3 (75% RRT = 3 600 m³/ha) con 66.69 g y régimen 2 (87.5% RRT = 4 200 m³/ha) con 65.05 g (diferencia porcentual de 24.58 y 27.73 por ciento, respectivamente). Estas dos últimas variedades no presentaron diferencias estadísticas entre sí. En cosecha, el régimen de riego 1 fue que el desarrolló mayor peso de materia seca total con 259.42 g, el cual se diferencia estadísticamente del régimen 2 que

obtuvo 230.43 g (diferencia porcentual de 12.58 por ciento). Ésta a su vez es diferente estadísticamente al régimen 3, el cual obtuvo el menor peso con 189.97 g. Al respecto, se tiene referencias de pesos de materia seca total evaluados a los 100 dds que avalan lo obtenido en este ensayo; por ejemplo, Barnett (2005) obtuvo el máximo peso de 102 g/planta aplicando 5 231 m³/ha y 80 kg/ha de N.

Cuadro 34: Respuesta del Régimen de riego en Variedades de quinua para Materia seca total (90 dds y en cosecha), mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego (m ³)	Variedad	N	A los 90 dds			En Cosecha		
			Media	Tukey	Índice (%)	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	4	83.08	A	127.73	259.42	A	136.56
2	La Molina 89	4	65.05	B	100.00	230.43	B	121.30
3	La Molina 89	4	66.69	B	102.53	189.97	C	100.00
1	Salcedo INIA	4	51.21	A	118.67	109.50	A	154.35
2	Salcedo INIA	4	45.37	A	105.14	80.91	B	114.06
3	Salcedo INIA	4	43.15	A	100.00	70.94	B	100.00
1	Pasankalla	4	56.69	A	121.45	87.92	A	126.43
2	Pasankalla	4	49.03	A	105.05	91.67	A	131.82
3	Pasankalla	4	46.68	A	100.00	69.54	A	100.00
1	Negra Collana	4	28.40	B	100.00	68.90	A	107.49
2	Negra Collana	4	30.51	AB	107.42	68.58	A	106.99
3	Negra Collana	4	40.67	A	143.18	64.10	A	100.00

Variedad	Régimen de Riego (m ³)	N	A los 90 dds			En Cosecha		
			Media	Tukey	Índice (%)	Media	Tukey	Índice (%)
La Molina 89	1	4	83.08	A	292.51	259.42	A	376.50
Salcedo INIA	1	4	51.21	B	180.29	109.50	B	158.92
Pasankalla	1	4	56.69	B	199.58	87.92	BC	127.60
Negra Collana	1	4	28.40	C	100.00	68.90	C	100.00
La Molina 89	2	4	65.05	A	213.19	230.43	A	336.00
Pasankalla	2	4	49.03	B	160.70	91.67	B	133.66
Salcedo INIA	2	4	45.37	B	148.70	80.91	B	117.98
Negra Collana	2	4	30.51	C	100.00	68.58	B	100.00
La Molina 89	3	4	66.69	A	163.99	189.97	A	296.35
Salcedo INIA	3	4	43.15	B	106.10	70.94	B	110.67
Pasankalla	3	4	46.68	B	114.77	69.54	B	108.48
Negra Collana	3	4	40.67	B	100.00	64.10	B	100.00

Para la variedad *Salcedo INIA*, a los 90 dds, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 1 obtuvo el mayor peso de materia seca total con 51.21 g, seguidos del régimen 2 con 45.37 g y régimen 3 con 43.15 g. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 12.87 y 18.67 por ciento, respectivamente. En cosecha, el régimen 1 siguió desarrollando el mayor peso de materia seca total con 109.5 g, diferenciándose estadísticamente del régimen 2 y 3, las cuales obtuvieron peso de 80.91 y 70.94 g, respectivamente (35.34 y 14.06 por ciento de diferencia porcentual). Estos dos regímenes de riego no difieren estadísticamente. En contraste, Burin (2016) obtuvo 128.46 g de peso de materia seca total aplicando 4 670 m³/ha (100% RRT), 80.33 g aplicando 3 737 m³/ha (80% RRT) y 45.95 g aplicando 2 804 m³/ha (60% RRT).

Para la variedad *Pasankalla*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 1 obtuvo el mayor valor con 56.69 g, seguidos del régimen 2 con 49.03 g y régimen 3 con 46.68 g. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 15.62 y 21.45 por ciento, respectivamente. En cosecha, igualmente, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor valor con 91.67 g, seguidos del régimen 1 con 87.92 g y régimen 3 con 69.54 g. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 4.27 y 31.82 por ciento, respectivamente. Parecidos resultados obtuvo Burin (2016), quien obtuvo un peso de materia seca total de 64.78 g aplicando el 100% RRT, 59.64 g aplicando el 80% RRT y 51 g aplicando el 60% RRT.

Finalmente, para la variedad *Negra Collana*, el régimen de riego 3 fue el que presentó mayor peso de materia seca total con 40.67 g, siendo solo diferente estadísticamente del régimen de riego 1 con 28.40 g, que fue el que obtuvo el menor peso. El régimen de riego 2 obtuvo un peso de 30.51 g, el cual no presentó diferencias estadísticas con el régimen 1 y 3. En cosecha, régimen de riego 1 fue el que presentó mayor peso de materia seca total con 68.90 g, seguido del régimen 2 con 68.58 g y régimen 3 con 64.10 g.

En síntesis, al igual que el peso de materia seca de panoja, se aprecia que el régimen de riego solamente tuvo respuesta significativa en el peso de materia seca total en la variedad *La Molina 89*; y en menor medida, en *Salcedo INIA*. Las otras dos variedades no presentaron diferencias significativas; probablemente en regímenes de riego menores a 3 000 m³/ha presenten respuesta diferenciadas en el peso de materia seca total.

4.3. RENDIMIENTO EN GRANO

El ANOVA de Rendimiento en grano, mostrado en el Anexo 18, manifiesta que existe alta significación estadística en los componentes *régimen de riego*, *variedades* e *interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 11.58 por ciento, con un promedio general de 1 838 kg/ha de rendimiento en grano.

En el Cuadro 35, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para el rendimiento en grano; y en la Figura 14, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

Cuadro 35: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Rendimiento en grano

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	7 343.5	5 721.9	4 643.2	5 902.9	2 471.4
Salcedo INIA	1 047.3	825.9	734.0	869.1	363.9
Pasankalla	239.0	284.9	192.6	238.8	100.0
Negra Collana	346.0	379.7	301.4	342.4	143.3
Promedio	2 244.0	1 803.1	1 467.8	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	152.9	122.8	100.0	1 838.3	

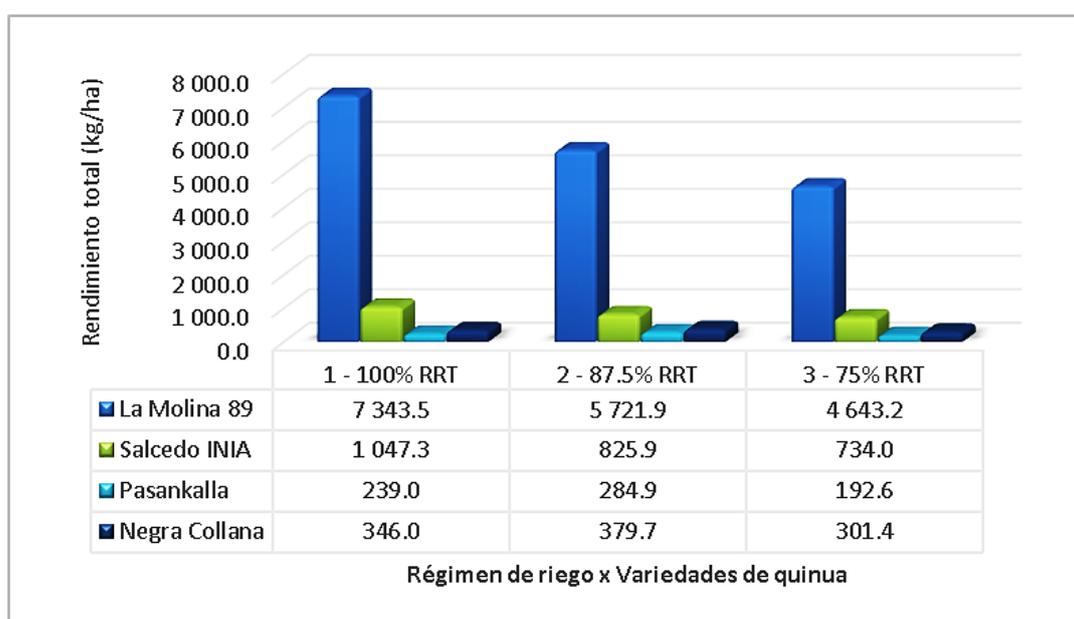


Figura 14: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Rendimiento

- **Respuesta de la Interacción Régimen de Riego x Variedades de quinua**

El análisis de efectos simples, que muestra el Anexo 18, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene rendimientos en grano promedio diferentes en la variedad *La Molina 89*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen rendimientos en grano promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3. En el Cuadro 36, se aprecia la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 por ciento de probabilidad de dicha interacción.

Cuadro 36: Respuesta de la interacción Régimen de riego x Variedades de quinua para Rendimiento en grano, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régim en de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régim en de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	7 343.50	A	158.16	La Molina 89	1	7 343.50	A	3 072.59
2	La Molina 89	5 721.90	B	123.23	Salcedo INIA	1	1 047.30	B	438.20
3	La Molina 89	4 643.20	C	100.00	Negra Collana	1	346.00	C	144.77
1	Salcedo INIA	1 047.30	A	142.68	Pasankalla	1	239.00	C	100.00
2	Salcedo INIA	825.90	A	112.52	La Molina 89	2	5 721.90	A	2 008.39
3	Salcedo INIA	734.00	A	100.00	Salcedo INIA	2	825.90	B	289.89
2	Negra Collana	379.70	A	125.98	Negra Collana	2	379.70	BC	133.27
1	Negra Collana	346.00	A	114.80	Pasankalla	2	284.90	C	100.00
3	Negra Collana	301.40	A	100.00	La Molina 89	3	4 643.20	A	2 410.80
2	Pasankalla	284.90	A	147.92	Salcedo INIA	3	734.00	B	381.10
1	Pasankalla	239.00	A	124.09	Negra Collana	3	301.40	BC	156.49
3	Pasankalla	192.60	A	100.00	Pasankalla	3	192.60	C	100.00

Para la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 (100% RRT = 4 800 m³/ha) fue el que obtuvo el mayor rendimiento de granos con 7 344 kg/ha, el cual difiere estadísticamente al régimen de riego 2 (87.5% RRT = 4 200 m³/ha) que obtuvo 5 722 kg/ha, siendo la diferencia porcentual de 28.34 por ciento. Asimismo el régimen 2 difiere estadísticamente del régimen 3 (75% RRT = 3 600 m³/ha) en 23.23 por ciento, cuyo rendimiento fue 4 643 kg/ha. 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 3 235 m³/ha (100% RRT) con plástico de retención de agua, 3 235 m³/ha sin plástico, 2 470 m³/ha (75% RRT) con plástico y 1 623 m³/ha (50% RRT) con plástico; los resultados fueron 3 333, 3 163, 3 039 y 2 324 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 7 157 kg/ha, aplicando 5 231 m³/ha, 160 kg/ha de N y manejando una mayor densidad de 223 000 plantas/ha. Asimismo, Huamancusi (2012) obtuvo como máximo 5 805.9 kg/ha, aplicando 3 949 m³/ha, 120 kg/ha de N y manejando una densidad de 222 222 plantas/ha. Estos dos últimos casos tienen mayor concordancia a los resultados de este ensayo, demostrando que esta variedad tiene un enorme potencial de rendimiento en función al régimen de riego aplicado, más condiciones óptimas de manejo agronómico en general.

Para la variedad *Salcedo INIA*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 1 obtuvo el mayor rendimiento de granos con 1 047.3 kg/ha, seguidos del régimen 2 con 825.9 kg/ha y régimen 3 con 734 kg/ha. En términos porcentuales, esta diferencia sería 26.80 y 42.68 por ciento, respectivamente. Similar experiencia obtuvo Burin (2016) al no presentar diferencias significativas entre los regímenes de riego aplicados en esa variedad, las cuales fueron 4 670 m³/ha (100% RRT), 3 737 m³/ha (80% RRT) y 2 804 m³/ha (60% RRT), obteniendo rendimientos de 1 651.1, 1 683 y 1 041.9 kg/ha, respectivamente. Sin embargo, en promedio obtuvo un mayor rendimiento que el presente ensayo, el cual se debería a que sembró en mes antes (setiembre) a este ensayo (octubre), cumpliéndose mejor la recomendación de la FAO/UNALM (2016) acerca de que la mejor época de siembra para la costa está entre junio y agosto. Justamente, Mori (2015) corrobora mejor la respuesta de la época de siembra (14 de junio del 2014) con el régimen de riego ya obtuvo rendimientos de 4.53, 4.37, 3.88, 3.43 y 3.32 t/ha aplicando regímenes de riego de 1 995 (100% RRT), 1 657 (83% RRT), 1 394 (70% RRT), 1 141 (57% RRT) y 889 m³/ha (44.5% RRT), respectivamente. Sin embargo, no es seguro esas cantidades ya que fue calculado en base al tiempo de riego, por consiguiente hay más probabilidad de errores.

Para la variedad *Negra Collana*, los tres regímenes de riego tampoco no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor rendimiento de granos con 379.7 kg/ha, seguidos del régimen 1 con 346.0 kg/ha y régimen 3 con 301.4 kg/ha. En términos porcentuales, esta diferencia sería 9.74 y 25.98 por ciento,

respectivamente. La única experiencia reportada en esta variedad es de Rosas (2015), quien obtuvo un rendimiento superior comparativamente de 3 471.4 kg/ha bajo sistema de tecnología media y precipitación por campaña de 279.7 mm

Finalmente, para la variedad *Pasankalla*, los tres regímenes de riego tampoco presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor rendimiento de granos con 284.9 kg/ha, seguidos del régimen 1 con 239.0 kg/ha y régimen 3 con 192.6 kg/ha. En términos porcentuales, esta diferencia sería 19.21 y 47.92 por ciento, respectivamente. Similar experiencia presentó Burin (2016) en su investigación al no presentar diferencias significativas en los regímenes de riego aplicados para esta variedad, teniendo como resultados 464.4 kg/ha con 100% RRT, 316.7 kg/ha con 80% RRT y 336.6 kg/ha con 60% RRT. Estos resultados, al igual que el *Salcedo INIA*, fueron mayores al presente ensayo por el efecto de una siembra más adelantada, sin embargo se demuestra que aún no es la época apropiada (setiembre) para la *Pasankalla* en la actualidad. Contradictoriamente, Gordon (2011) alcanzó rendimientos aceptables de 3 192.71 kg/ha durante la campaña Octubre 2007 – Mayo 2008 bajo un manejo convencional (insumos sintéticos), lo cual podría deberse al cambio climático en los últimos años en la costa central.

Experiencias extranjeras, como las de Martínez *et al.* (2009), señalan que han conseguido rendimientos de quinua (variedad local de Chile *Don Javi*) parecidos al presente ensayo (en la variedad *La Molina 89*) de hasta 7 700 kg/ha sin estrés hídrico (150 mm) y 4 900 kg/ha con reducción del riego (75 mm), demostrando mayor eficiencia en el uso del agua que las variedades de esta investigación. Asimismo, Talebnejad y Sepaskhah (2015) indican que reduciendo un 70% RRT en el cv. *Titicaca* solamente redujo su rendimiento en 36 por ciento obteniendo 1.32 t/ha (siendo la máxima 2.1 t/ha). En cambio, en las presentes variedades probadas, en las cuales se redujo como máximo 25% RRT, los rendimientos se redujeron más en *La Molina 89*, seguido de *Pasankalla*, *Salcedo INIA* y *Negra Collana*, en 36.8, 32.4, 29.9 y 20.6 por ciento, respectivamente.

En síntesis a las variedades de esta tesis, la variedad *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. De modo similar, para cada régimen de riego estudiado, *La Molina 89* obtuvo notablemente el mayor rendimiento en grano, en comparación a las otras variedades (Cuadro 36). Éstas mismas, principalmente *Pasankalla* y *Negra Collana*, no han podido desarrollar toda su potencialidad debido a que fueron

afectado en mayor medida (a comparación de *La Molina 89*) 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). Por otro parte, al haber evidencias de buenos rendimientos (en el caso de *Pasankalla*) en época de siembra de alto riesgo (octubre), según la investigación de Gordon (2011), se sospecha que el factor salinidad de suelo (5.9 dS/m) y agua de riego (3.3 dS/m) del experimento, haya influido negativamente en estas variedades (*Pasankalla*, *Negra Collana* y *Salcedo INIA*), lo cual ameritaría una investigación al respecto.

- **Función de Producción**

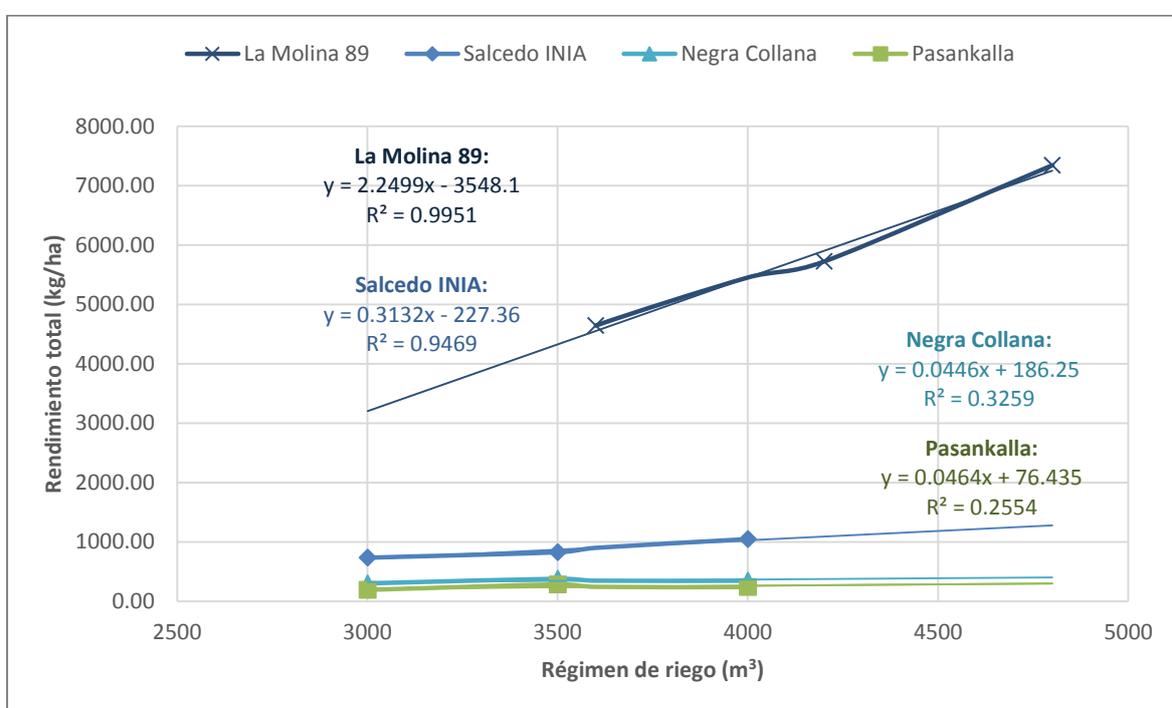


Figura 15: Función de Producción de las Variedades de quinua en estudio

Con los datos obtenidos de rendimiento de granos, se pudo establecer una función de producción (Figura 15) de cada variedad de quinua estudiada, en donde la *variable x* es el régimen de riego (m³/ha) y la *variable y* sería el rendimiento total (kg/ha). Es importante considerar que la función de producción viene a ser la relación entre la cantidad de producto obtenido y la cantidad de insumos utilizados en el proceso productivo; en términos reales, la información obtenida en este análisis nunca es exacta, debido a que no se toman en cuenta otros factores como clima, suelo y sanidad (aunque en este factor se puede asumir que las

plagas y enfermedades fueron controladas eficazmente), por ello esta herramienta servirá como una referencia al agricultor para estimar rendimientos de granos en base al régimen de riego (Barnett, 2005).

En la Figura 15, se puede observar que las funciones de producción de todas las variedades se ajustan a una función de regresión lineal, en donde todos poseen un coeficiente de regresión positiva, el cual indica la tendencia de aumentar los rendimientos con niveles crecientes de régimen de riego. Por otro parte, hay que considerar los valores de los coeficientes de determinación (R^2), en donde la variedad *La Molina 89* obtuvo el mayor valor con 0.9951 seguido de *Salcedo INIA* con 0.9469, las cuales indican que existe una alta intensidad de asociación entre las variables de *rendimiento* y *régimen de riego*. Sin embargo se debe considerar que el análisis de efectos simples determinó que solo en la variedad *La Molina 89* existe diferencias estadísticas en sus 3 regímenes de riego en estudio, contrariamente al *Salcedo INIA*, que se determinó similitud estadística en los 3 regímenes de riego; por lo tanto, se puede sostener que la función de producción de la variedad *La Molina 89* es más significativa y confiable que la de *Salcedo INIA*. De otro lado, los valores de R^2 de las variedades *Negra Collana* y *Pasankalla*, son muy bajos, las cuales indican que existe una bajísima intensidad de asociación entre las variables de *rendimiento* y *régimen de riego*; peor aún, estas variedades no presentaron diferencias estadísticas en los 3 regímenes de riego aplicadas, por lo tanto las funciones de producción de estas dos variedades no son significativas ni confiables.

4.4. COMPONENTES DE RENDIMIENTO

4.4.1. Peso de granos por planta

El ANOVA de este componente, mostrado en el Anexo 19, manifiesta que existe alta significación estadística en los componentes *régimen de riego*, *variedades* e *interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 11.58 por ciento, con un promedio general de 12.09 g de peso de granos por planta.

En el Cuadro 37, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para el peso de granos por planta; y en la Figura 16, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

Cuadro 37: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Peso de granos por planta

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	48.31	37.64	30.55	38.83	1724.19
Salcedo INIA	6.89	5.43	4.83	5.72	253.85
Pasankalla	1.57	1.87	1.27	1.57	100.00
Negra Collana	2.28	2.50	1.98	2.25	143.34
Promedio	14.76	11.86	9.66	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	152.88	122.84	100.00	12.09	

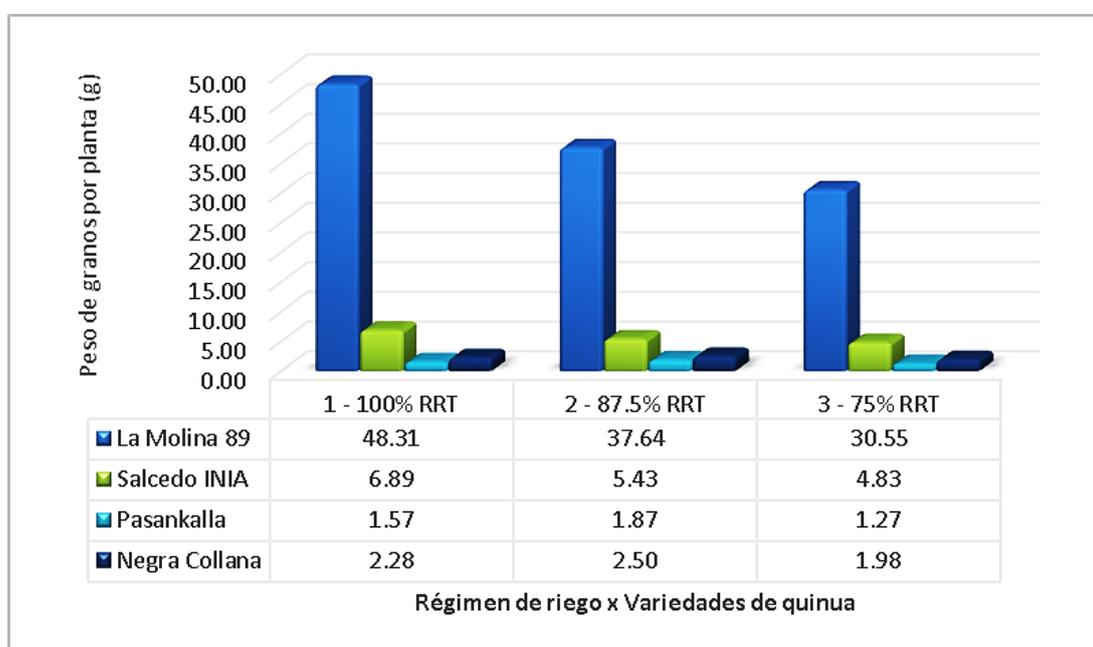


Figura 16: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Peso de granos por planta

- **Respuesta de la Interacción del Régimen de Riego x Variedades de quinua**

El análisis de efectos simples, que muestra el Anexo 19, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene peso de granos por planta promedio diferentes en las variedades *La Molina 89*. Asimismo, también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen peso de granos por planta promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3.

Cuadro 38: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Peso de granos por planta, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	48.31	A	158.16	La Molina 89	1	48.31	A	3072.59
2	La Molina 89	37.64	B	123.23	Salcedo INIA	1	6.89	B	438.20
3	La Molina 89	30.55	C	100.00	Negra Collana	1	2.28	C	144.77
1	Salcedo INIA	6.89	A	142.68	Pasankalla	1	1.57	C	100.00
2	Salcedo INIA	5.43	A	112.52	La Molina 89	2	37.64	A	2008.39
3	Salcedo INIA	4.83	A	100.00	Salcedo INIA	2	5.43	B	289.89
2	Negra Collana	2.50	A	125.98	Negra Collana	2	2.50	BC	133.27
1	Negra Collana	2.28	A	114.80	Pasankalla	2	1.87	C	100.00
3	Negra Collana	1.98	A	100.00	La Molina 89	3	30.55	A	2410.80
2	Pasankalla	1.87	A	147.92	Salcedo INIA	3	4.83	B	381.10
1	Pasankalla	1.57	A	124.09	Negra Collana	3	1.98	BC	156.49
3	Pasankalla	1.27	A	100.00	Pasankalla	3	1.27	C	100.00

Para la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 (100% RRT = 4 800 m³/ha) 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 por ciento (véase en el Cuadro 38). Este último difiere estadísticamente al régimen de riego 3 (30.55 g) en 23.23 por ciento. Definitivamente, existe una relación directa entre el régimen de riego y el peso de granos por plantas. Como referencias científicas tenemos obtenciones de menores pesos de granos por planta en esta variedad; por ejemplo, Huamancusi (2012) obtuvo un peso máximo de granos por planta de 27.2 g aplicando 3 949 m³/ha, 120 kg/ha de N y manejando una densidad de 222 222 plantas/ha. Asimismo Barnett (2005) de 32.07 g aplicando 5 231 m³/ha, 120 kg/ha de N y manejado una mayor densidad de 223 000 plantas/ha. Estas diferencias con la actual investigación, se deben a la influencia inversa del factor densidad de plantas; es decir a mayor número de plantas sembradas, menor peso de granos por planta.

Para la variedad *Salcedo INIA*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 1 obtuvo el mayor peso con 6.89 g, seguido del régimen 2 con 5.43 g; y finalmente, el régimen 3 con 4.83 g. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 26.80 y 42.68 por ciento, respectivamente. Al respecto, Burin (2016) obtuvo un peso de granos por planta de 12.52, 6.77 y 7.77 g aplicando 4 670

m³/ha (100% RRT), 3 737 m³/ha (80% RRT) y 2 804 m³/ha (60% RRT), respectivamente. Al igual que la anterior variedad, la densidad de 120 000 plantas de Burin (2016), influyó en un mayor rendimiento de granos por planta, comparativamente. De otra parte, los pesos obtenidos en el presente ensayo no son valores normales, ya que la FAO/INIA (2013) señala que esta variedad debería producir entre 40 y 48.73 g por planta.

Para la variedad *Negra Collana*, los tres regímenes de riego tampoco presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor peso de granos por planta con 2.5 g, seguidos del régimen 1 con 2.28 g y régimen 3 con 1.27 g. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 9.65 y 47.92 por ciento, respectivamente. Al respecto, la FAO/INIA (2013) señala que esta variedad debería producir entre 27.2 - 29.40 g por planta, sin embargo se han obtenido rendimientos bajísimos por planta.

Finalmente, para la variedad *Pasankalla*, los tres regímenes de riego tampoco no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor peso de granos por planta con 1.87 g, seguidos del régimen 1 con 1.57 g y régimen 3 con 1.27 g. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 19.11 y 47.92 por ciento, respectivamente. Similar experiencia resultaron los regímenes de riego de Burin (2016), los cuales obtuvieron (sin diferencias estadísticas) peso de granos por planta de 3.80, 2.29 y 2.85 g aplicando 4 670 m³/ha (100% RRT), 80% RRT y 60% RRT, respectivamente. Estas dos experiencias no están en concordancia a los valores normales de la FAO/INIA (2013) para esta variedad, que debería estar entre 32 y 34 g por planta.

En síntesis, nuevamente la variedad *La Molina 89* es la que mejor respuesta ha tenido a los regímenes de riego en el peso de granos por planta, estando acorde a los resultados de peso de materia seca de panoja. Las otras variedades no han podido desarrollar toda su potencialidad, demostrándose con los registros de la FAO/INIA (2013).

4.4.2. Peso de 1 000 granos

El ANOVA de este componente de rendimiento, mostrado en el Anexo 20, demuestra que solo existe una alta significación estadística en los factores *régimen de riego y variedades*. Al no existir interacción entre los dos factores de estudio, se procedió a realizar el análisis de efectos principales, tal como se aprecia también en el Cuadro 39 y Figura 17. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 7.63 por ciento, con un promedio general de 1.82 g de peso de 1 000 granos.

Cuadro 39: Peso de 1000 granos y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad

Factores	Media	Prueba de Tukey	Índice de Promedios (%)
Régimen de riego			
1- 100% RRT	1.9284	A	113.91
2 - 87.5% RRT	1.8297	AB	108.08
3- 75% RRT	1.6929	B	100.00
Variedades			
La Molina 89	2.2879	A	206.62
Salcedo INIA	2.2411	A	202.39
Pasankalla	1.6316	B	147.35
Negra Collana	1.1073	C	100.00
Promedio General	1.8170		

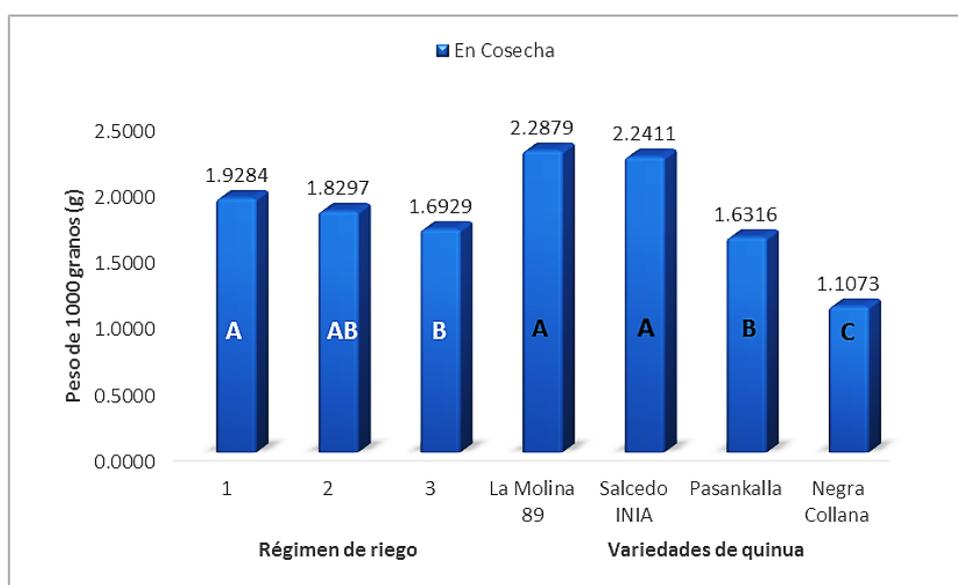


Figura 17: Efectos principales de los Regímenes de Riego y Variedades de quinua en Peso 1000 granos

- **Respuesta del Régimen de riego**

La prueba de comparación de medias de Tukey al 1 por ciento de probabilidad manifiesta que existe diferencias estadística entre el régimen de riego 1 (100% RRT) y 3 (75% RRT), los cuales obtuvieron pesos de 1.9284 y 1.6929 g, respectivamente, siendo la diferencia porcentual de 13.91 por ciento. Por lo que se refiere al régimen de riego 2 (75% RRT) no difiere estadísticamente de los otros dos regímenes.

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 1 000 granos de 2.99 g con 2 470 m³/ha. Asimismo, Barnett (2005) y Huamancusi (2012) lograron obtener un peso máximo de 2.53 y 3.25 g, respectivamente aplicando 5 231 y 3 940 m³/ha. Esta diferencia a favor de las investigaciones referenciales, se le puede atribuir a que ellos obtuvieron granos de una panoja principal (compacta); en cambio, en esta investigación se manifestó la presencia de subpanojas, los cuales produjeron granos más pequeños que la panoja principal; por consiguiente, hubo mayor variabilidad de tamaños de granos en la mezcla final de granos por planta.

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 por ciento en el peso de 1 000 granos en el cv *Titicaca*. Asimismo, Geerts *et al.* (2008) con su estrategia de déficit de riego, obtuvieron un peso de 1 000 granos en variedad *Santa María* de 5.5 g (aplicando entre lluvias y riegos, 495 mm), el cual fue significativamente mayor al tratamiento de secano (369 mm), obteniéndose 4.2 g (diferencia porcentual de 23.64 por ciento). Por su parte, Fischer *et al.* (2013) obtuvieron un peso máximo de 1 000 granos de 3.01 g con el tratamiento de criterio de riego al 95% y 2.92 g al criterio de riego de 20% (diferencia porcentual de 3 por ciento), lo cual indica que la quinua (de variedades chilenas) no presenta diferencias significativas al régimen de riego.

- **Respuesta de las Variedades de quinua**

La prueba de comparación de medias de Tukey, al 1 por ciento de probabilidad, demuestra que la variedad *La Molina 89* junto a la variedad *Salcedo INIA*, son los que poseen los mayores pesos de 1 000 granos con 2.2879 y 2.2411 g, respectivamente, resultando ser a la vez similares estadísticamente. Estos mismos presentan diferencias estadísticas con *Pasankalla* que obtuvo un peso de 1.6316 g. Asimismo esta variedad difiere estadísticamente de *Negra Collana*, el cual obtuvo 1.1073 g (diferencia porcentual de 47.35 por ciento). Según los pesos normales de 1 000 granos de la FAO/INIA (2013), ninguna de las variedades presentes se encuentra en esos rangos.

En relación a las referencias científicas acerca de esta variable en *La Molina 89*, Julón (2016) obtuvo en los mutantes de esta variedad pesos de 1 000 granos entre 2.91 y 3.29 g; y Apaza (1995) obtuvo peso entre 2.87 y 3.292 g. De igual forma a lo ya discutido, esta discordancia

se debería al efecto de los granos de las subpanojas (más pequeños). Respecto a la variedad *Salcedo INIA*, Burin (2016) y Rosas (2015) se obtuvieron pesos máximos de 1 000 granos de 3.82 y 3.62 g, respectivamente, difiriendo significativamente a los resultados presentes. Parecida situación sucedió con la variedad *Pasankalla*, en donde los mismos investigadores obtuvieron pesos de 3.45 y 3.42 g, respectivamente; asimismo, Julón (2016) obtuvo un peso de 3.68 g en esta variedad; y sus mutantes expresaron pesos entre 2.96 y 3.3 g. En el caso de *Negra Collana*, Rosas (2015) obtuvo un peso máximo de 2.37 g. En general, estos resultados comparativos, reflejan que no hubo un efectivo llenado de los granos en el presente ensayo, debido al “efecto de la tropicalización” (Gomez, 2013; Christiansen *et al.* 2010), regido principalmente por el clima; y por un probable efecto de la salinización.

4.4.3. Número de granos por planta

El ANOVA de este componente de rendimiento, mostrado en el Anexo 21, demuestra que existe alta significación estadística en los componentes *régimen de riego, variedades e interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 11.53 por ciento, con un promedio general de 5 603 granos por planta.

Cuadro 40: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Número de granos por planta

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	19 837.5	16 296.6	14 452.3	16 862.2	1 756.49
Salcedo INIA	2 842.3	2 482.3	2 277.8	2 534.1	263.97
Pasankalla	910.8	1 101.5	867.6	960.0	100.00
Negra Collana	2 013.1	2 271.3	1 883.3	2 055.9	214.16
Promedio	6 400.9	5 537.9	4 870.3	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	131.43	113.71	100.00	5 603.04	

En el Cuadro 40, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para el número de granos por planta; y en la Figura 18, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

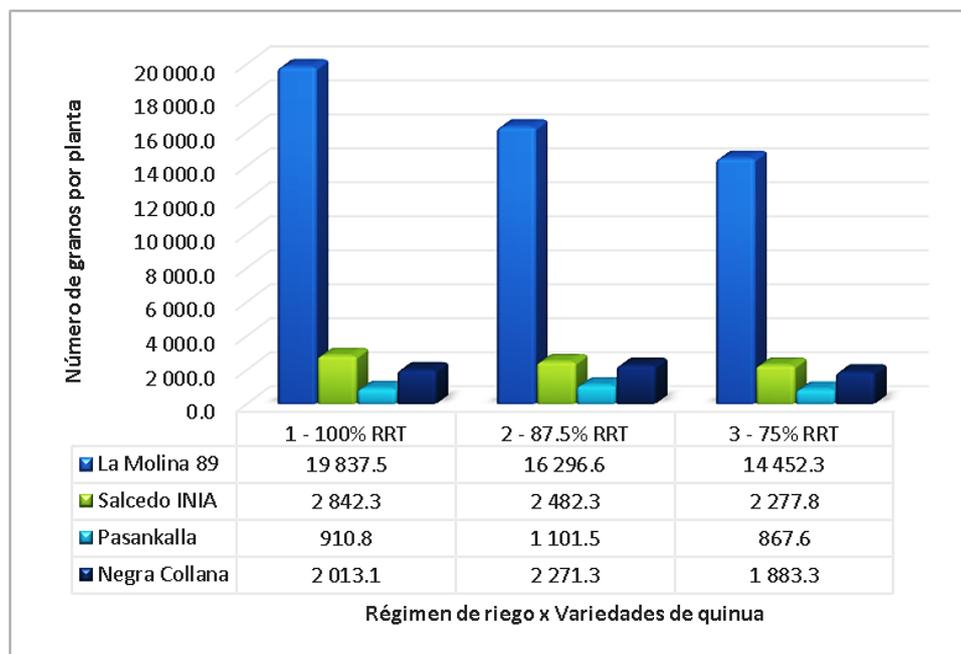


Figura 18: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Número de granos por planta

- **Respuesta de la Interacción del Régimen de Riego x Variedades de quinua**

El análisis de efectos simples, que muestra el Anexo 21, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene número de granos por planta promedio diferentes en las variedades *La Molina 89* y *Salcedo INIA*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen número de granos promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3.

Para la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 (100% RRT = 4 800 m³/ha) fue el que obtuvo el mayor número de granos por planta con 19 837.5 granos, el cual difiere estadísticamente al régimen de riego 2 (16 296.6 granos) en 21.73 por ciento. Este mismo difiere estadísticamente al régimen 3 (14 452.3 granos) en 12.76 por ciento. Al respecto, León (2014) obtuvo 4 151.9 granos con 100% RRT (3 235 m³/ha), 2 925.6 granos con 75% RRT (2 470 m³/ha) y 1 507.8 granos con 50% RRT (1 623 m³/ha). Estos valores son muchos menores a los obtenidos en el presente ensayo, debiéndose a la influencia inversa de la densidad de plantas y el efecto directo de la fórmula de fertilización y régimen de riego; es decir, el presente experimento tuvo comparativamente menos plantas (152 000) y más riego (desde 3 600 m³/ha) con mayor fertilización (160-80-120).

Cuadro 41: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Número de granos por planta, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régim en de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régim en de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	19 837.54	A	137.26	La Molina 89	1	19 837.54	A	2 177.94
2	La Molina 89	16 296.59	B	112.76	Salcedo INIA	1	2 842.27	B	312.05
3	La Molina 89	14 452.34	C	100.00	Negra Collana	1	2 013.12	BC	221.02
1	Salcedo INIA	2 842.27	A	124.78	Pasankalla	1	910.84	C	100.00
2	Salcedo INIA	2 482.32	A	108.98	La Molina 89	2	16 296.59	A	1 479.51
3	Salcedo INIA	2 277.78	A	100.00	Salcedo INIA	2	2 482.32	B	225.36
2	Negra Collana	2 271.30	A	120.60	Negra Collana	2	2 271.30	B	206.20
1	Negra Collana	2 013.12	A	106.89	Pasankalla	2	1 101.49	B	100.00
3	Negra Collana	1 883.30	A	100.00	La Molina 89	3	14 452.34	A	1 665.70
2	Pasankalla	1 101.49	A	126.95	Salcedo INIA	3	2 277.78	B	262.52
1	Pasankalla	910.84	A	104.98	Negra Collana	3	1 883.30	B	217.06
3	Pasankalla	867.65	A	100.00	Pasankalla	3	867.65	B	100.00

Para la variedad *Salcedo INIA*, los tres regímenes de riego no tuvieron diferencias significativas entre sí, a pesar que el régimen de riego 1 obtuvo el mayor número de granos por planta con 2 842.3 granos, seguido del régimen 2 con 2 482.3 granos y régimen 3 con 2 277.8 granos. En términos porcentuales, las diferencias fueron de 14.5 y 8.98 por ciento, respectivamente.

Para la variedad *Negra Collana*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor número de granos por planta con 2 271.3 granos, seguidos del régimen 1 con 2 013.1 granos y régimen 3 con 1 883.3 granos. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 12.82 y 20.60 por ciento respectivamente.

Finalmente, para la variedad *Pasankalla*, los tres regímenes de riego tampoco presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor número de granos por planta con 1 101.5 granos, seguidos del régimen 1 con 910.8 granos y régimen 3 con 867.7 granos. En términos porcentuales, esta diferencia fue de 20.93 y 26.95 por ciento, respectivamente.

4.5. COMPONENTES DE CALIDAD

4.5.1. Granulometría (%)

Cuadro 42: Comparación de medias de Granulometría (4 tamaños) de los 12 tratamientos en estudio (formados por la interacción del régimen de riego con variedades de quinua)

Tratamientos	Granulometría (%)			
	≥ 2 mm	< 2 - 1.7 mm]	<1.7 – 1.4 mm]	< 1.4 mm
R1 - La Molina 89	0.51	14.38	68.73	16.38
R1 - Salcedo INIA	0.32	8.28	68.34	23.06
R1 - Pasankalla	0.15	7.78	79.83	12.24
R1 - Negra Collana	0.03	1.02	37.62	61.33
R2 - La Molina 89	0.29	10.15	67.41	22.15
R2 - Salcedo INIA	0.31	7.75	71.29	20.65
R2 - Pasankalla	0.48	8.59	75.65	15.28
R2 - Negra Collana	0.01	0.08	32.39	67.52
R3 - La Molina 89	0.26	8.02	65.54	26.18
R3 - Salcedo INIA	0.13	6.59	62.93	30.35
R3 - Pasankalla	0.01	3.22	58.84	37.94
R3 - Negra Collana	0.00	0.06	22.23	77.71
Promedios de Régimen de Riego				
R1: 100% RRT	0.25	7.86	63.63	28.25
R2: 87.5% RRT	0.27	6.64	61.69	31.40
R3: 75.0% RRT	0.10	4.47	52.38	43.04
Promedios de Variedades de Quinua				
La Molina 89	0.35	10.85	67.23	21.57
Salcedo INIA	0.25	7.54	67.52	24.68
Pasankalla	0.21	6.53	71.44	21.82
Negra Collana	0.01	0.39	30.74	68.86

En el Cuadro 42, se 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 suma de los porcentajes de los 4 tamaños resulta 100 por ciento, de modo que una 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 (tamiz #10) son de tamaño extra grande, los de mayor o igual a 1.7 y menor a 2 mm (tamiz # 12) son de tamaño grandes, los de mayor o igual a 1.4 y menor a 1.7 mm (tamiz #14) son de tamaño medianos y los de menor a 1.4 mm (fondo) son de tamaño pequeños.

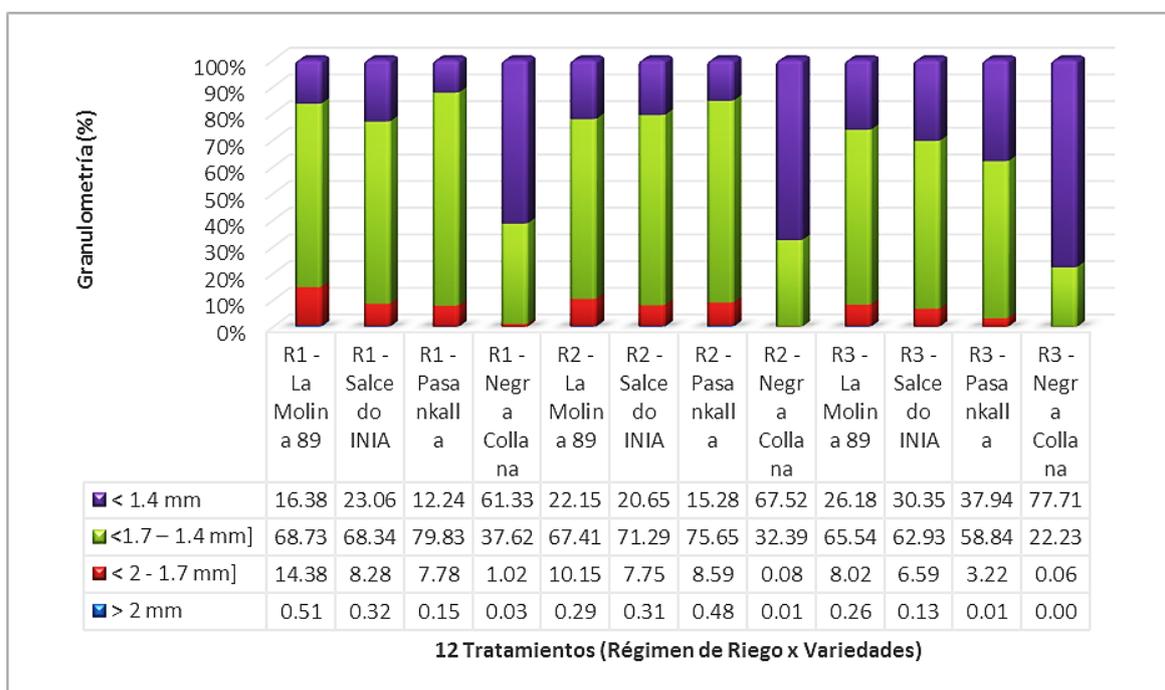


Figura 19: Granulometría (%) de los 12 tratamientos en estudio (formados de la interacción de 3 Regímenes de riego con 4 Variedades de quinua)

En la Figura 19, se puede apreciar interactivamente las medias de la granulometría (%) de los 12 tratamientos en estudio, identificándose rápidamente 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 los Anexos 22, 23, 24 y 25 se pueden observar los ANOVAS que se realizaron para cada tamaño de granos según su diámetro, determinándose que los componentes *régimen de riego* y *variedades de quinua* poseen alta significación estadística en los 4 tamaños; paralelamente, también poseen alta significación estadística en la *interacción régimen de riego por variedades* en los granos de ≥ 2 mm, $< 2 - 1.7$ mm] y < 1.4 mm y significación estadística en los grano entre $< 1.7 - 1.4$ mm]. Dado que en todos los tamaños de granos se encontraron significancia en la interacción, se procedió a realizar el análisis de efectos simples.

4.5.1.1. Granos con diámetro > 2 mm (Tamiz # 10)

El análisis de efectos simples, mostrado en el Anexo 22, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene granos extra grandes promedio diferentes en las variedades *La Molina 89*, *Salcedo INIA* y *Pasankalla*; destacándose mayores porcentajes con el régimen de riego 1 en las 2 primeras variedades (0.51% y 0.32%) y con el régimen 2 en la *Pasankalla* (0.48%). Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen granos extra grandes promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3; destacándose a *La Molina 89* por obtener mayores porcentajes en los regímenes de riego 1 y 3 (0.26%); y a *Negra Collana* por obtener menores porcentajes en todos los regímenes de riego (0.03, 0.01 y 0.0%). De otra parte; en el Cuadro 43, se muestra la respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades.

4.5.1.2. Granos con diámetro < 2 - 1.7 mm] (Tamiz #12)

El análisis de efectos simples, mostrado en el Anexo 23, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene granos grandes promedio diferentes en las variedades *La Molina 89* y *Pasankalla*, los cuales se destaca los mayores porcentajes en el régimen de riego 1 (14.38%) y régimen 2 (8.59%), respectivamente. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen granos grandes promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3, destacándose los mayores porcentajes en *La Molina 89* en todos los regímenes de riego (14.38, 10.15 y 8.02%, respectivamente). De otra parte; en el Cuadro 44, se muestra la respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua.

Cuadro 43: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Granos con diámetro de > 2 mm (extra grandes) mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	0.51	A	193.41	La Molina 89	1	0.51	A	1 685.72
2	La Molina 89	0.29	B	110.60	Salcedo INIA	1	0.32	AB	1 052.91
3	La Molina 89	0.26	B	100.00	Pasankalla	1	0.15	B	486.96
1	Salcedo INIA	0.32	A	238.92	Negra Collana	1	0.03	B	100.00
2	Salcedo INIA	0.31	A	231.85	Pasankalla	2	0.48	A	5 040.79
3	Salcedo INIA	0.13	B	100.00	Salcedo INIA	2	0.31	A	3 207.51
2	Pasankalla	0.48	A	7523.52	La Molina 89	2	0.29	A	3 026.28
1	Pasankalla	0.15	B	2281.68	Negra Collana	2	0.01	B	100.00
3	Pasankalla	0.01	B	100.00	La Molina 89	3	0.26	A	4 083.80
1	Negra Collana	0.03	A	313.93	Pasankalla	3	0.13	AB	2 064.85
2	Negra Collana	0.01	A	100.00	Salcedo INIA	3	0.01	B	100.00
3	Negra Collana	0.00	A	100.00	Negra Collana	3	0.00	B	100.00

Cuadro 44: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Granos con diámetro de < 2 - 1.7 mm] (grandes) mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	14.38	A	179.36	La Molina 89	1	14.38	A	1 410.16
2	La Molina 89	10.15	B	126.55	Salcedo INIA	1	8.28	B	811.27
3	La Molina 89	8.02	C	100.00	Pasankalla	1	7.78	B	762.69
1	Salcedo INIA	8.28	A	125.56	Negra Collana	1	1.02	C	100.00
2	Salcedo INIA	7.75	A	117.55	La Molina 89	2	10.15	A	12 457.79
3	Salcedo INIA	6.59	A	100.00	Pasankalla	2	8.59	A	10 542.57
2	Pasankalla	8.59	A	266.94	Salcedo INIA	2	7.75	A	9 508.94
1	Pasankalla	7.78	A	241.78	Negra Collana	2	0.08	B	100.00
3	Pasankalla	3.22	B	100.00	La Molina 89	3	8.02	A	13 951.08
1	Negra Collana	1.02	A	1774.43	Salcedo INIA	3	6.59	A	11 464.78
2	Negra Collana	0.08	A	141.72	Pasankalla	3	3.22	B	5 597.28
3	Negra Collana	0.06	A	100.00	Negra Collana	3	0.06	C	100.00

4.5.1.3. Granos con diámetro < 1.7 - 1.4 mm] (Tamiz #14)

El análisis de efectos simples, mostrado en el Anexo 24, determina que a un nivel de significación de 0.05 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene granos medianos promedio diferentes en las variedades *Pasankalla* y *Negra Collana*, destacándose los mayores porcentajes en el régimen de riego 1, en ambos casos (79.83 y 37.62 por ciento, respectivamente), además éstos no difieren estadísticamente al régimen 2. De otra parte, también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen granos medianos promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3, destacándose los mayores porcentajes en la variedad *Pasankalla* en el régimen 1 (79.83 por ciento) y 2 (75.65 por ciento); y *La Molina 89* en el régimen 3 con 65.54 por ciento. Además, se destaca los menores porcentajes de granos medianos en *Negra Collana* en todos los regímenes (37.62, 32.39 y 22.23 por ciento, respectivamente). En el Cuadro 45, se muestran los dos tipos de repuestas de interacción para esta variable, realizándose la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 por ciento de probabilidad.

4.5.1.4. Granos con diámetro < 1.4 mm (Fondo)

El análisis de efectos simples, mostrado en el Anexo 25, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene granos pequeños promedio diferentes en las variedades *La Molina 89*, *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*, destacándose en todas estas variedades los mayores porcentajes de este tamaño en el régimen de riego 3 (26.18, 30.35, 37.94 y 77.71 por ciento, respectivamente). Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen granos pequeños promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3, destacándose a la variedad *Negra Collana* por obtener los mayores porcentajes de este tamaño en todos los regímenes de riego (61.33, 67.52 y 77.71 por ciento, respectivamente). En el Cuadro 46, se muestran los dos tipos de respuestas de interacción para esta variable, realizándose la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 por ciento de probabilidad.

Cuadro 45: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Granos con diámetro de <1.7 - 1.4 mm] (medianos) mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	68.73	A	104.88	Pasankalla	1	79.83	A	212.21
2	La Molina 89	67.41	A	102.86	La Molina 89	1	68.73	B	182.71
3	La Molina 89	65.54	A	100.00	Salcedo INIA	1	68.34	B	181.66
2	Salcedo INIA	71.29	A	113.30	Negra Collana	1	37.62	C	100.00
1	Salcedo INIA	68.34	A	108.60	Pasankalla	2	75.65	A	233.60
3	Salcedo INIA	62.93	A	100.00	Salcedo INIA	2	71.29	A	220.14
1	Pasankalla	79.83	A	135.68	La Molina 89	2	67.41	A	208.16
2	Pasankalla	75.65	A	128.58	Negra Collana	2	32.39	B	100.00
3	Pasankalla	58.84	B	100.00	La Molina 89	3	65.54	A	294.85
1	Negra Collana	37.62	A	169.24	Salcedo INIA	3	62.93	A	283.10
2	Negra Collana	32.39	A	145.70	Pasankalla	3	58.84	A	264.70
3	Negra Collana	22.23	B	100.00	Negra Collana	3	22.23	B	100.00

Cuadro 46: Respuesta del Régimen de riego x Variedades de quinua para Granos con diámetro de < 1.4 mm (pequeños) mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
3	La Molina 89	26.18	A	159.79	Negra Collana	1	61.33	A	500.89
2	La Molina 89	22.15	A	135.20	Salcedo INIA	1	23.06	B	188.32
1	La Molina 89	16.38	B	100.00	La Molina 89	1	16.38	BC	133.80
3	Salcedo INIA	30.35	A	146.99	Pasankalla	1	12.24	C	100.00
1	Salcedo INIA	23.06	AB	111.69	Negra Collana	2	67.52	A	442.06
2	Salcedo INIA	20.65	B	100.00	La Molina 89	2	22.15	B	145.01
3	Pasankalla	37.94	A	309.83	Salcedo INIA	2	20.65	B	135.16
2	Pasankalla	15.28	B	124.75	Pasankalla	2	15.28	B	100.00
1	Pasankalla	12.24	B	100.00	Negra Collana	3	77.71	A	296.86
3	Negra Collana	77.71	A	126.71	Pasankalla	3	37.94	B	144.92
2	Negra Collana	67.52	B	110.10	Salcedo INIA	3	30.35	BC	115.92
1	Negra Collana	61.33	B	100.00	La Molina 89	3	26.18	C	100.00

Como referencia en análisis de granulometría, tenemos a León (2014), quien obtuvo en la línea mutante *La Molina 89-77* la siguiente proporción promedio: 1.35% de granos ≥ 2.0 mm, 55.63% de granos $< 2.0-1.7$ mm], 34.92% de granos de $< 1.7-1.4$ mm] y 7.99% de granos $< 1,4$ mm. Comparándolos con el promedio de *La Molina 89* del presente ensayo, la proporción sería el siguiente: 0.35% de granos extra grandes, 10.85% de granos grandes, 67.23% de granos medianos y 21.57% de granos pequeños. De lo anterior, se puede apreciar notoriamente que se obtuvo más granos medianos, debido a que provinieron de las subpanojas cosechadas. Otra diferencia del presente ensayo con León (2014), es que el efecto de los menores regímenes de riego provocó una disminución de granos grandes y aumento de granos pequeños; en cambio, en León (2014), lo que aumentó fueron los granos medianos.

4.5.2. Proteínas (%)

El ANOVA de Proteínas, mostrado en el Anexo 26, demuestra que solo existe una alta significación estadística en el factor *variedades*. Los otros componentes de la fuente de variación no presentaron alguna significación estadística. Por ello, al no existir interacción entre los dos factores de estudio, se procedió a realizar el análisis de efectos principales, tal como se aprecia también en el Cuadro 47 y Figura 20. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 15.49 por ciento, con un promedio general de 12.61 por ciento de porcentaje de proteínas.

Cuadro 47: Porcentaje de proteínas y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad

Factores	Media	Prueba de Tukey	Índice de Promedios (%)
Régimen de riego			
1- 100% RRT	13.28	A	109.10
2 - 87.5% RRT	12.38	A	101.70
3- 75% RRT	12.17	A	100.00
Variedades			
La Molina 89	14.17	A	131.20
Negra Collana	14.03	A	129.99
Salcedo INIA	11.43	AB	105.86
Pasankalla	10.80	B	100.00
Promedio General	12.61		

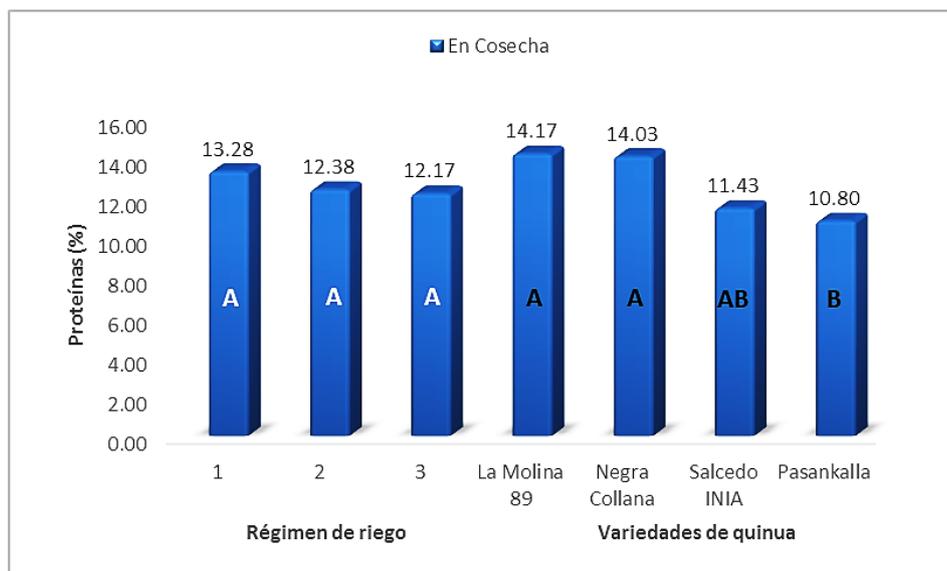


Figura 20: Efectos principales de los regímenes de riego y variedades de quinua en Porcentaje de proteínas

- **Respuesta del Régimen de riego**

La prueba de comparación de medias de Tukey al 1 por ciento de probabilidad, manifiesta que no existe diferencias estadística entre los tres regímenes de riego, a pesar que el régimen 1 (100% RRT) haya obtenido el mayor porcentaje con 13.28 por ciento, seguido del régimen 2 (87.5% RRT) con 12.38 por ciento y finalmente el régimen 3 (75% RRT) con 12.17 por ciento. Al respecto, León (2014) tampoco obtuvo diferencias significativas a la respuesta del régimen de riego en la variedad *La Molina 89-77*, a pesar que al 100% RRT, 75% RRT y 50% RRT consiguió 15.37, 14.86 y 13.11 por ciento, respectivamente. Barnett (2005) y Huamancusi (2012) obtuvieron en promedio 16.4 y 16.3 por ciento aplicando regímenes de riego de 5 231 y 3 940 m³/ha, respectivamente. Fischer *et al.* (2013) también concluyó que la restricción hídrica no afecta el porcentaje de proteínas (de las variedades que estudió), obteniendo 18.5 por ciento de proteínas a un criterio de riego al 95% y 17.2 por ciento a un criterio de riego al 20%. De otra parte, la investigación de Talebnejad y Sepaskhah (2015) indican que la reducción de 80% RRT (200.9 mm) a 30% RRT (125.3 mm) resultó en un aumento del 8 por ciento de concentración de proteína (de 15.94 a 17.13 por ciento) en el cv. *Titicaca*; el cual, probablemente, fue a causa de un ajuste en la ósmosis de la quinua. Finalmente, Razzaghi *et al.* (2012) tampoco observó ninguna respuesta significativa sobre el porcentaje de N total en la semilla (%) en el tratamiento de sequía durante la fase de llenado de la semilla. La conclusión a todos estos resultados es que es factible practicar el

riego deficitario con la seguridad de que la calidad nutricional (en relación a las proteínas) no se va perder.

- **Respuesta de las Variedades de quinua**

La prueba de comparación de medias de Tukey, al 1 por ciento de probabilidad, demuestra que la variedad *La Molina 89* junto a la variedad *Negra Collana*, son los que poseen los mayores porcentajes de proteínas con 14.17 y 14.03 por ciento, respectivamente, resultando ser a la vez similares estadísticamente. Estos mismos también son similares estadísticamente a *Salcedo INIA* que obtuvo un porcentaje de 11.43 por ciento, y son diferentes estadísticamente a la *Pasankalla* que obtuvo 10.80 por ciento. Sin embargo esta última variedad no difiere estadísticamente de *Salcedo INIA*. Comparando estos valores obtenidos con las referenciales por la FAO/INIA (2013), resultan que son menores al 15.3, 16.23, 17.83 y 17.62 por ciento que deberían tener las variedades *La Molina 89*, *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*, respectivamente. Esto se podría deber a la técnica (física o química) que se usó para la determinación del porcentaje de proteínas, al diferente manejo agronómico realizado (fertilización nitrogenada, riego y densidad de plantas) y a las condiciones agroecológicas de la zona.

En relación a los porcentajes de proteínas obtenidos por otros investigadores; tenemos, por ejemplo: Julón (2016) obtuvo entre 11.85 a 12.60 por ciento en los mutantes de *La Molina 89*, 11.09 por ciento en *Pasankalla*; y entre 12.06 a 12.17 por ciento en los mutantes de *Pasankalla*. Por su parte, Sánchez (2015) encontró en los mutantes de *La Molina 89* porcentajes de 10.59 a 14.69 por ciento. De otra parte, Burin (2016) obtuvo en *Pasankalla* y *Salcedo INIA*, 10.92 y 12.71 por ciento de proteínas, respectivamente. Rosas (2015) obtuvo como máximo 13.3 y 14.53 por ciento en *Pasankalla* y *Salcedo INIA*, respectivamente. Gordon (2011), obtuvo como máximo 11.68 por ciento de proteínas en *Pasankalla*. Finalmente, Quispe (2015) obtuvo 11.28 por ciento de proteínas en *Pasankalla* y entre 9.92 a 13.23 por ciento en los mutantes de esa variedad. En síntesis, se demuestra que la *Pasankalla* (original) cultivada en la Costa (la mayoría de los experimentos incluido el presente) produce menos proteínas que en la Sierra (experimento de Rosas), variando entre 10.80 a 11.28 por ciento, en cambio en las serranías se tiene registro entre 13.3 a 17.83 por ciento. En caso de *Salcedo INIA*, los valores referenciales son mayores (entre 12.71 a 14.53 por ciento) a los resultados del presente ensayo (11.43 por ciento).

4.5.3. Saponinas (%)

El ANOVA de Saponinas, mostrado en el Anexo 27, demuestra que solo existe una alta significación estadística en el factor *variedades*. Al no existir interacción entre los dos factores de estudio, se procedió a realizar el análisis de efectos principales (específicamente el de *variedades*), tal como se aprecia también en el Cuadro 48 y Figura 21. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 29.64 por ciento, con un promedio general de 0.43 por ciento de porcentaje de saponinas.

Cuadro 48: Porcentaje de saponinas y significación de los efectos principales mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad

Factores	Media	Prueba de Tukey	Índice de Promedios (%)
Régimen de riego			
3- 75% RRT	0.45	A	108.36
1 - 100% RRT	0.43	A	102.74
2 - 87.5% RRT	0.42	A	100.00
Variedades			
La Molina 89	1.52	A	4823.40
Negra Collana	0.13	B	406.11
Salcedo INIA	0.05	B	161.52
Pasankalla	0.03	B	100.00
Promedio General	0.43		

- **Respuesta del Régimen de riego**

La prueba de comparación de medias de Tukey al 1 por ciento de probabilidad, manifiesta que no existe diferencias estadística entre los tres regímenes de riego, a pesar que el régimen 3 (75% RRT) haya obtenido el mayor porcentaje con 0.45 por ciento, seguido del régimen 1 (100% RRT) con 0.43 por ciento y finalmente el régimen 2 (87.5% RRT) con 0.42 por ciento. Similar conclusión llegó León (2014) al respecto, determinando que tampoco tuvo diferencias estadísticas en sus regímenes de riego, obteniendo 1.34, 1.39 y 1.33 por ciento aplicando el 100%, 75% y 50% RRT, respectivamente. Contradictoriamente, Soliz-Guerrero *et al.*2002, concluyó que el déficit hídrico afecta en producir menos saponina; obteniendo en sus resultados 0.456 por ciento de saponinas en bajo déficit hídrico y 0.386 por ciento en

alto déficit hídrico. 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 por ciento aplicando el 44.5% RRT (889 m³/ha) y 0.089 por ciento aplicando el 100% RRT (1 995 m³/ha).

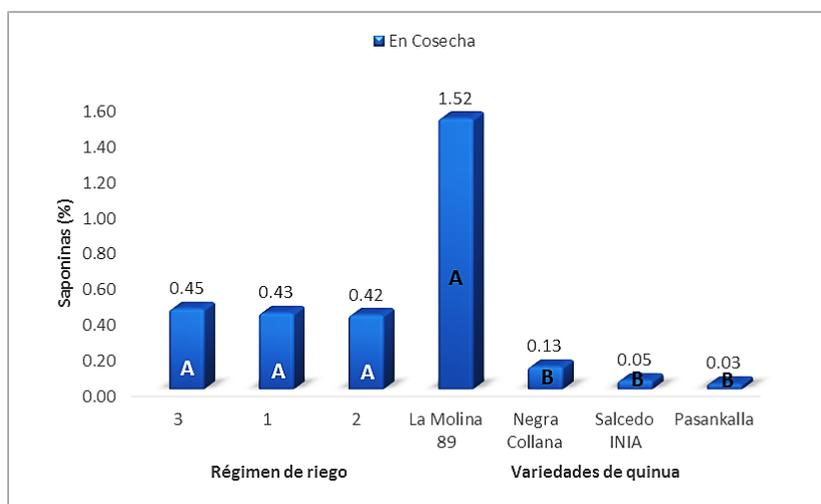


Figura 21: Efectos principales de los Regímenes de riego y Variedades de quinua en Porcentaje de saponinas

- **Respuesta de las Variedades de quinua**

La prueba de comparación de medias de Tukey al 1 por ciento de probabilidad, demuestra que la variedad *La Molina 89* fue el que obtuvo mayor porcentaje de saponinas con 1.52 por ciento, demostrándose de que esta variedad es una quinua amarga, por estar entre 0.60 y 1.69 por ciento (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*. Éstos obtuvieron porcentajes de saponinas de 0.13, 0.05 y 0.03 por ciento, respectivamente, catalogándose como variedades de quinua dulces, por tener menos de 0.6 por ciento (Koziol, 1990). Por lo general, estas últimas tres variedades no deberían tener ningún centésimo de porcentaje, según la FAO/INIA (2013); sin embargo, es posible que hayan sido contaminados en los procedimientos de cosecha y análisis de calidad de granos.

En relación a los porcentajes de saponinas obtenidos por otros investigadores; tenemos, por ejemplo: Julón (2016) obtuvo entre 1.12 a 1.16 por ciento en los mutantes de *La Molina 89*, 0.0 por ciento en *Pasankalla*; y entre 0.172 a 0.974 por ciento en los mutantes de *Pasankalla*. De otra parte, Burin (2016) obtuvo en *Pasankalla* y *Salcedo INIA*, 0.06 y 0.99 por ciento de saponinas, respectivamente.

4.6. PARÁMETROS AGRONÓMICOS

4.6.1. Eficiencia de Uso de Agua (EUA- kg/m³)

El ANOVA de este parámetro agronómico, mostrado en el Anexo 28, se aprecia que existe alta significación estadística en los componentes *variedades e interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 11.32 por ciento, con un promedio general de 0.45 de EUA.

En el Cuadro 49, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para la EUA; y en la Figura 22, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

Cuadro 49: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Eficiencia de Uso de Agua (EUA)

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	1.53	1.36	1.29	1.39	2036.50
Salcedo INIA	0.26	0.24	0.24	0.25	361.54
Negra Collana	0.09	0.11	0.10	0.10	143.87
Pasankalla	0.06	0.08	0.06	0.07	100.00
Promedio	0.48	0.45	0.42	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	114.06	105.24	100.00		0.45

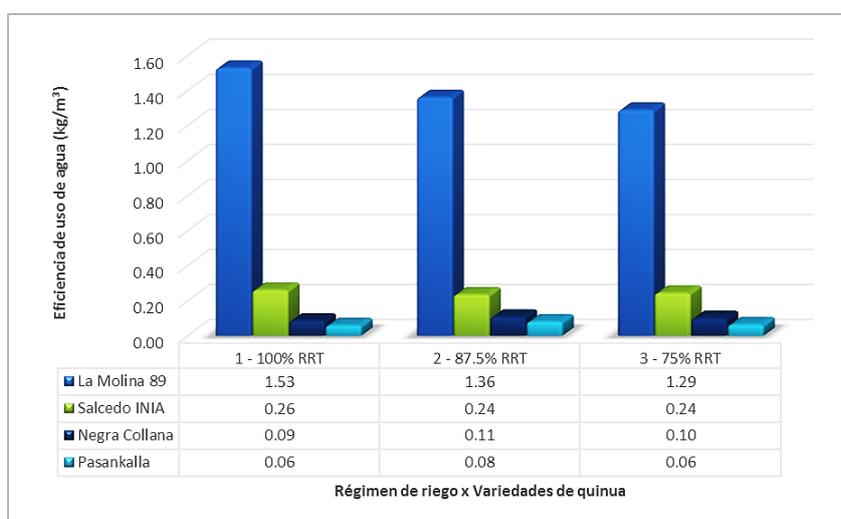


Figura 22: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en EUA

- **Respuesta de la Interacción del Régimen de Riego en Variedades de quinua**

El análisis de efectos simples, que muestra el Anexo 28, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene EUA promedio diferentes en la variedad *La Molina 89*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen EUA promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3

Cuadro 50: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Eficiencia de Uso de Agua, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	1.53	A	118.62	La Molina 89	1	1.53	A	2 560.58
2	La Molina 89	1.36	AB	105.63	Salcedo INIA	1	0.26	B	438.19
3	La Molina 89	1.29	B	100.00	Negra Collana	1	0.09	B	144.77
1	Salcedo INIA	0.26	A	110.95	Pasankalla	1	0.06	B	100.00
3	Salcedo INIA	0.24	A	103.68	La Molina 89	2	1.36	A	1 673.50
2	Salcedo INIA	0.24	A	100.00	Salcedo INIA	2	0.24	B	289.87
2	Negra Collana	0.11	A	125.41	Negra Collana	2	0.11	B	133.25
3	Negra Collana	0.10	A	116.15	Pasankalla	2	0.08	B	100.00
1	Negra Collana	0.09	A	100.00	La Molina 89	3	1.29	A	2 009.05
2	Pasankalla	0.08	A	136.25	Salcedo INIA	3	0.24	B	381.10
3	Pasankalla	0.06	A	107.45	Negra Collana	3	0.10	B	156.49
1	Pasankalla	0.06	A	100.00	Pasankalla	3	0.06	B	100.00

Para la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que obtuvo la mayor EUA con 1.53 kg/m^3 (véase en el Cuadro 50), el cual solo difiere estadísticamente al régimen de riego 3 que obtuvo 1.29 (diferencia porcentual de 18.62 por ciento). El régimen de riego 2 obtuvo una EUA de 1.36 kg/m^3 , el cual es similar estadísticamente a los regímenes de riego 1 y 3. 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), ya que él menciona que a menores regímenes de riego aplicado a esta variedad, se incrementan la EUA, obteniendo 1.15, 1.21, 1.43 y 1.68 kg/m^3 cuando aplicó 100% RRT (testigo, sin plástico en el suelo), 100% RRT, 75% RRT y 50% RRT (estos últimos con plástico), respectivamente. De igual

manera, pero en el cv *Titicaca*, Talebnejad y Sepaskhah (2015) concluyó 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 el EUA de 34 y 67 por ciento, respectivamente, demostrando que el riego deficitario mejora la productividad del agua en favor de la quinua. Todavía más, Mercedes (2005) avala lo anterior con sus resultados de 0.87 kg/m³ de EUA bajo condiciones de estrés hídrico y 0.69 kg/m³ en un riego normal.

En fin, 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, avala 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; estos resultados se debió a que la distribución y efectividad de las precipitaciones fueron diferentes en los tratamientos, variando consecuentemente las EUA; lo cual se demuestra con ello, que más importante es el uso correcto del agua en cada fase fenológica de la quinua, que la cantidad total indiscriminado de agua.

Respecto a las otras variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*; ninguna de ellas presentó diferencias estadísticas en sus tres regímenes de riego aplicados, oscilando la EUA en 0.24 a 0.26 kg/m³ para *Salcedo INIA*, en 0.06 a 0.08 kg/m³ para *Pasankalla*, y en 0.09 a 0.11 kg/m³ para *Negra Collana*. Estos bajísimos EUA se deben al bajo rendimiento de granos obtenidos a causa del “efecto de la tropicalización” (Gomez, 2013). Contrastando estos resultados, Burin (2016) obtuvo de *Pasankalla*, una EUA de 0.194, 0.094 y 0.134 kg/m³ para los regímenes de riego al 100% RRT (4 670 m³/ha), 80% (3 737 m³/ha) y 60% (2 804 m³/ha), respectivamente; y para *Salcedo INIA*, obtuvo 0.393, 0.501 y 0.413 kg/m³ en los regímenes de riego al 100% RRT, 80% RRT y 60% RRT, respectivamente.

En cuanto a las variedades en el régimen de riego, el Cuadro 50 demuestra que *La Molina 89* fue el que obtuvo mayor EUA en el régimen 1, 2 y 3 con 1.53, 1.36 y 1.29, respectivamente, diferenciándose estadísticamente de las variedades *Salcedo INIA*, *Negra Collana* y *Pasankalla*.

4.6.2. Coeficiente de Transpiración (CT-l/kg)

El ANOVA de este parámetro agronómico, mostrado en el Anexo 29, manifiesta que existe alta significación estadística en los componentes *variedades e interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 10.54 por ciento, con un promedio general de 229 l/kg de coeficiente de transpiración.

En el Cuadro 51, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para el CT; y en la Figura 23, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

Cuadro 51: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Coeficiente de Transpiración (CT)

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	109.98	108.31	113.19	110.49	100.00
Salcedo INIA	217.18	256.81	252.18	242.06	219.07
Pasankalla	270.16	227.78	258.68	252.21	228.25
Negra Collana	345.51	309.91	278.23	311.22	281.66
Promedio	235.71	225.70	225.57	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	104.49	100.06	100.00		228.99

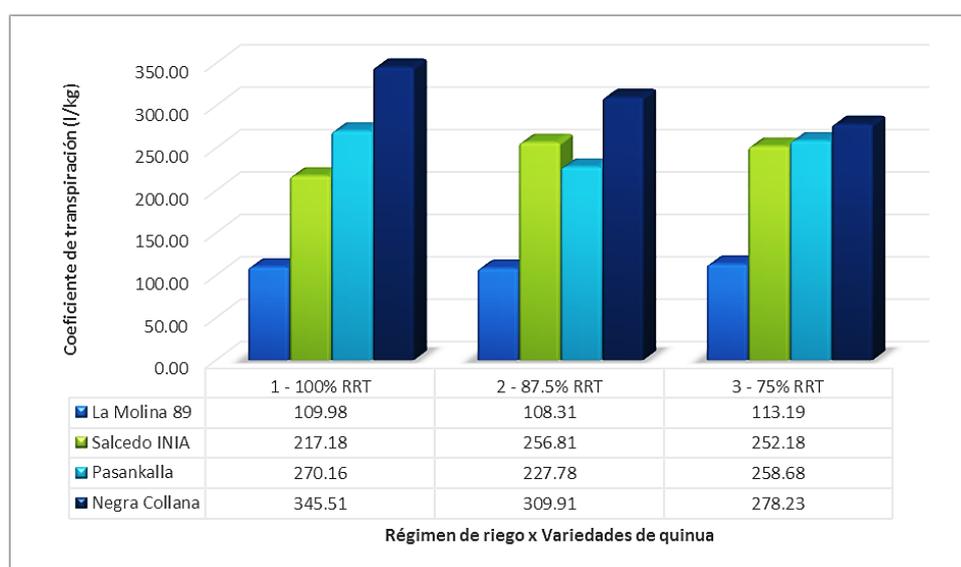


Figura 23: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en CT

- **Respuesta de la Interacción del Régimen de Riego x Variedades de quinua**

El análisis de efectos simples, que muestra el Anexo 29, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene CT promedio diferentes en la variedad *Negra Collana*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen CT promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3

Cuadro 52: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Coeficiente de Transpiración, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	Negra Collana	345.51	A	124.18	Negra Collana	1	345.51	A	314.15
2	Negra Collana	309.91	AB	111.39	Pasankalla	1	270.16	B	245.64
3	Negra Collana	278.23	B	100.00	Salcedo INIA	1	217.18	B	197.47
1	Pasankalla	270.16	A	118.60	La Molina 89	1	109.98	C	100.00
3	Pasankalla	258.68	A	113.57	Negra Collana	2	309.91	A	286.13
2	Pasankalla	227.78	A	100.00	Salcedo INIA	2	256.81	AB	237.10
2	Salcedo INIA	256.81	A	118.25	Pasankalla	2	227.78	B	210.30
3	Salcedo INIA	252.18	A	116.12	La Molina 89	2	108.31	C	100.00
1	Salcedo INIA	217.18	A	100.00	Negra Collana	3	278.23	A	245.80
3	La Molina 89	113.19	A	104.50	Pasankalla	3	258.68	A	228.54
1	La Molina 89	109.98	A	101.54	Salcedo INIA	3	252.18	A	222.79
2	La Molina 89	108.31	A	100.00	La Molina 89	3	113.19	B	100.00

Para la variedad *Negra Collana*, el régimen de riego 1 fue el que obtuvo el mayor CT con 345.51 l/kg (véase en el Cuadro 52), el cual solo difiere estadísticamente con el régimen de riego 3 que obtuvo 278.23 l/kg (diferencia porcentual de 24.18 por ciento). 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.

Para la variedad *Pasankalla*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 1 obtuvo el mayor CT con 270.16 l/kg, seguidos del régimen 3 con 258.68 l/kg y régimen 2 con 227.78 l/kg. En términos

porcentuales, esta diferencia respecto al mayor valor fue de 4.44 y 18.60 por ciento, respectivamente. Al respecto, Burin (2016) obtuvo CT de 560.88, 507.26 y 443.28 l/kg aplicando regímenes de riego al 100% RRT, 80% RRT y 60% RRT, respectivamente

Para la variedad *Salcedo INIA*, los tres regímenes de riego tampoco presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor CT con 256.81 l/kg, seguidos del régimen 3 con 252.18 l/kg y régimen 1 con 217.18 l/kg. En términos porcentuales, esta diferencia respecto al mayor valor sería 1.84 y 18.25 por ciento, respectivamente. Al respecto, Burin (2016) obtuvo CT de 256.18, 418.66 y 400.48 l/kg aplicando regímenes de riego al 100% RRT, 80% RRT y 60% RRT, respectivamente

Finalmente, para la variedad *La Molina 89*, los tres regímenes de riego tampoco presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 3 obtuvo el mayor CT con 113.19 l/kg, seguidos del régimen 1 con 109.98 l/kg y régimen 2 con 108.31 l/kg. En términos porcentuales, esta diferencia respecto al mayor valor fue de 2.92 y 4.50 por ciento, respectivamente. Al respecto, Barnett (2005) obtuvo un CT de 251.31 l/kg aplicando un riego neto (4 446.4 m³/ha) superior al régimen de riego 1 (riego neto = 4 320.8 m³/ha); asimismo, Huamancusi (2012) obtuvo un CT de 324.6 l/kg con un riego neto (3 349 m³/ha) superior al presente régimen de riego 3 (RRN = 3 240.6 m³/ha). En general, estas diferencias existentes de CT respecto a otras referencias, tanto en *Pasankalla*, *Salcedo INIA* y *La Molina 89*, se deberían a que los pesos de materia seca obtenidos en el presente ensayo son mayores a los otros.

4.6.3. Índice de Cosecha (IC-%)

El ANOVA de este parámetro agronómico, mostrado en el Anexo 30, manifiesta que existe alta significación estadística en el componente de *variedades* y significación estadística en la *interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 13.15 por ciento, con un promedio general de 20.28 por ciento de IC.

En el Cuadro 53, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para el IC; y en la Figura 24, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

Cuadro 53: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Índice de Cosecha (IC)

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	48.03	38.89	43.26	43.39	741.70
Salcedo INIA	25.78	24.77	22.13	24.23	414.10
Pasankalla	7.42	6.66	3.48	5.85	100.00
Negra Collana	8.33	8.68	5.95	7.65	130.79
Promedio	22.39	19.75	18.70	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	119.69	105.58	100.00	20.28	

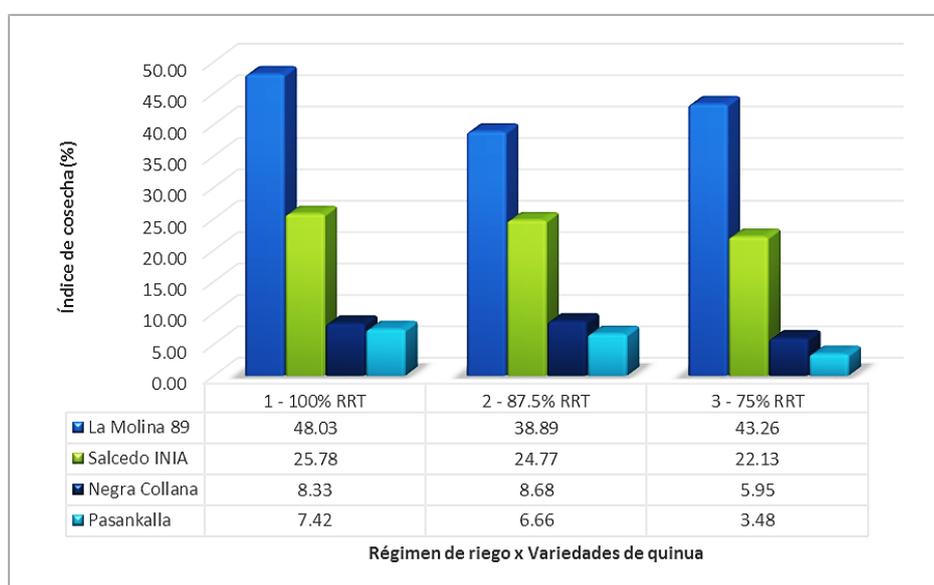


Figura 24: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en IC

- **Respuesta de la Interacción del Régimen de Riego x Variedades de quinua**

El análisis de efectos simples, que muestra el Anexo 30, determina que a un nivel de significación de 0.05 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene IC promedio diferentes en la variedad *La Molina 89*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen IC promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3.

Cuadro 54: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Índice de Cosecha, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	48.03	A	123.50	La Molina 89	1	48.03	A	647.50
3	La Molina 89	43.26	AB	111.24	Salcedo INIA	1	25.78	B	347.54
2	La Molina 89	38.89	B	100.00	Negra Collana	1	8.33	C	112.26
1	Salcedo INIA	25.78	A	116.46	Pasankalla	1	7.42	C	100.00
2	Salcedo INIA	24.77	A	111.89	La Molina 89	2	38.89	A	584.06
3	Salcedo INIA	22.13	A	100.00	Salcedo INIA	2	24.77	B	371.96
1	Pasankalla	7.42	A	213.43	Negra Collana	2	8.68	C	130.34
2	Pasankalla	6.66	A	191.60	Pasankalla	2	6.66	C	100.00
3	Pasankalla	3.48	A	100.00	La Molina 89	3	43.26	A	1 244.81
2	Negra Collana	8.68	A	145.86	Salcedo INIA	3	22.13	B	636.92
1	Negra Collana	8.33	A	139.95	Negra Collana	3	5.95	C	171.20
3	Negra Collana	5.95	A	100.00	Pasankalla	3	3.48	C	100.00

Para la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que obtuvo el mayor IC con 48.03 por ciento, el cual solo difiere estadísticamente con el régimen de riego 2 que obtuvo 38.89 por ciento. El régimen de riego 3 obtuvo un IC de 43.26 por ciento, el cual es similar estadísticamente a los regímenes de riego 1 y 3. En contraste, León (2014) no obtuvo diferencias significativas de sus regímenes de riego aplicados, obteniendo entre 45 y 47 por ciento 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 5 231 m³/ha) y 31.02 (como máximo) por ciento, respectivamente.

Para la variedad *Salcedo INIA*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 1 obtuvo el mayor IC con 25.78 por ciento, seguidos del régimen 2 con 24.77 por ciento y régimen 3 con 22.13 por ciento. Al respecto, Burin (2016) obtuvo IC inferiores al presente ensayo en sus respectivos regímenes de riego, siendo 11.3, 16.7 y 18.1 por ciento, aplicando el 100% RRT (4 670 m³/ha), 80% RRT (3 737 m³/ha) y 60 % RRT (2 804 m³/ha), respectivamente.

Para la variedad *Pasankalla*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 1 obtuvo el mayor IC con 7.42 por

ciento, seguidos del régimen 2 con 6.66 por ciento y régimen 3 con 3.48 por ciento. Burin (2016) obtuvo IC similares al presente ensayo en sus respectivos regímenes de riego, siendo 5.1, 3.9 y 5.2 por ciento, aplicando el 100% RRT, 80% RRT y 60 % RRT, respectivamente.

Finalmente, para la variedad *Negra Collana*, los tres regímenes de riego tampoco presentaron diferencias estadísticas entre sí, a pesar que el régimen de riego 2 obtuvo el mayor IC con 8.68 por ciento, seguidos del régimen 1 con 8.33 por ciento y régimen 3 con 5.95 por ciento. En síntesis, solamente la variedad *La Molina 89* obtuvo diferencias significativas en sus 3 regímenes de riego. De otra parte, los resultados de IC en el presente ensayo, tanto para *La Molina 89* y *Salcedo INIA*, demostraron ser más productivos en función a cada unidad de biomasa, a comparación de las investigaciones referentes.

4.6.4. Índice de Área Foliar (IAF-cm²/cm²)

El ANOVA de este parámetro agronómico, mostrado en el Anexo 32, manifiesta que existe alta significación estadística en los componentes *variedades e interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 11.11 por ciento, con un promedio general de 0.18 de IAF.

En el Cuadro 55, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para el IAF; y en la Figura 25, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

Cuadro 55: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Índice de Área Foliar (IAF)

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	3.42	3.21	3.20	3.28	286.42
Salcedo INIA	1.73	1.23	1.22	1.39	121.38
Pasankalla	1.55	1.65	1.45	1.55	135.65
Negra Collana	0.90	1.09	1.45	1.15	100.00
Promedio	1.90	1.79	1.83	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	103.85	98.04	100.00		1.84

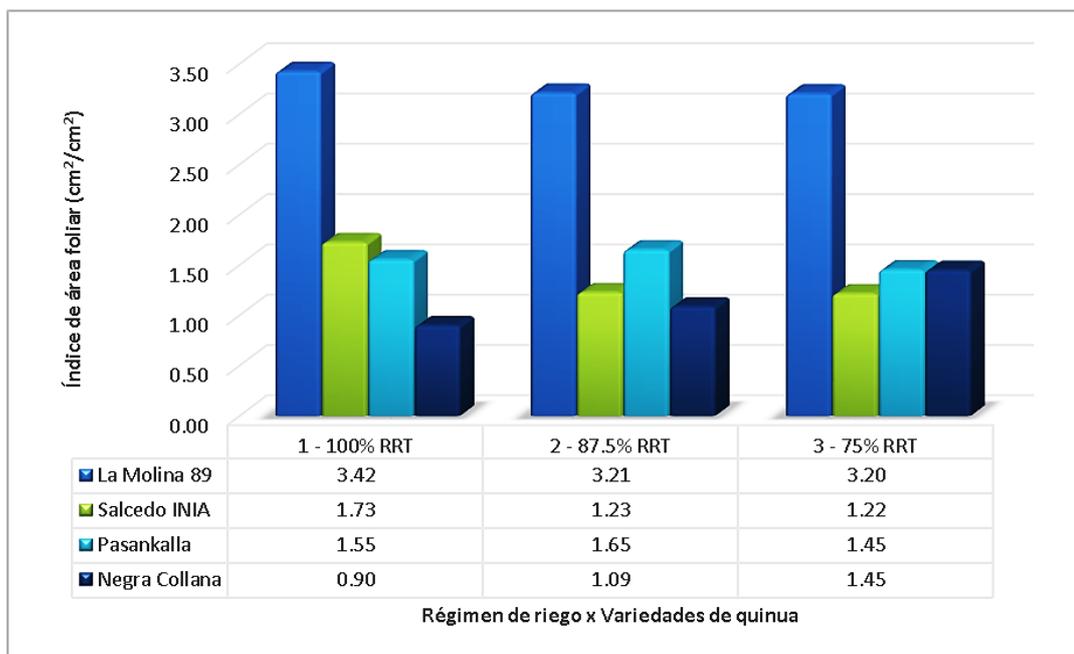


Figura 25: Respuesta de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en IAF

- **Respuesta de la Interacción del Régimen de Riego x Variedades de quinua**

De otra parte, el análisis de efectos simples, que muestra el Anexo 32, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene IAF promedio diferentes en las variedades *Salcedo INIA* y *Negra Collana*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen IAF promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3.

Para la variedad *La Molina 89*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas (véase en el Cuadro 56), a pesar de que el régimen de riego 1 fue el que obtuvo el mayor IAF con 3.42, seguidos del régimen 2 y 3 con 3.20 y 3.21, respectivamente (6.91 por ciento de diferencia estadística). Al respecto, Huamancusi (2012) y Barnett (2005) obtuvieron menores IAF de 2.4 y 2.01, respectivamente, con regímenes de 3 940 y 5 231 m³/ha, respectivamente. Estas diferencias significan que las plantas de este ensayo tuvieron mejor crecimiento y desarrollo que los casos referenciales, es decir mayor área foliar por cm² de suelo, lo cual se debe a la influencia de una mayor fertilización nitrogenada y menor densidad de plantas (160 kg/ha N, 152 000 plantas/ha vs 120 kg/ha N, 223 000 plantas/ha).

Cuadro 56: Respuesta de la interacción del Régimen de riego en Variedades de quinua para Índice de Área Foliar, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	3.42	A	106.91	La Molina 89	1	3.42	A	380.71
2	La Molina 89	3.21	A	100.26	Salcedo INIA	1	1.73	B	191.84
3	La Molina 89	3.20	A	100.00	Pasankalla	1	1.55	B	172.74
1	Salcedo INIA	1.73	A	141.90	Negra Collana	1	0.90	C	100.00
2	Salcedo INIA	1.23	B	100.96	La Molina 89	2	3.21	A	295.45
3	Salcedo INIA	1.22	B	100.00	Pasankalla	2	1.65	B	152.01
2	Pasankalla	1.65	A	113.66	Salcedo INIA	2	1.23	BC	112.95
1	Pasankalla	1.55	A	106.88	Negra Collana	2	1.09	C	100.00
3	Pasankalla	1.45	A	100.00	La Molina 89	3	3.20	A	263.39
3	Negra Collana	1.45	A	161.06	Pasankalla	3	1.45	B	119.55
2	Negra Collana	1.09	AB	120.84	Negra Collana	3	1.45	B	119.13
1	Negra Collana	0.90	B	100.00	Salcedo INIA	3	1.22	B	100.00

Para la variedad *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 por ciento). 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.

Para la variedad *Pasankalla*, los tres regímenes de riego no presentaron diferencias estadísticas, a pesar de que el régimen de riego 1 fue el que obtuvo el mayor IAF con 1.65, seguidos del régimen 2 con 1.55 y 3 con 1.45 (6.25 y 13.66 por ciento de diferencia estadística, respectivamente). Al respecto, Burin (2016) obtuvo menores IAF de 0.95, 0.81 y 0.54 en el régimen de 100% RRT, 80% RRT y 60% RRT, respectivamente.

Finalmente, para la variedad *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 (diferencia porcentual de 61.06 por ciento). El régimen de riego 2 obtuvo un IAF de 1.09, el cual no presenta diferencia estadística con el régimen 3 y 1.

4.7. ANÁLISIS AGROECONÓMICO

4.7.1. Índice de Rentabilidad (%)

El ANOVA de Índice de Rentabilidad, mostrado en el Anexo 33, manifiesta que solamente existe alta significación estadística en los factores *régimen de riego, variedades e interacción régimen de riego por variedades*. Al ser este último significativo se procedió a realizar solo el análisis de efectos simples. El coeficiente de variabilidad de esta variable fue 29.93 por ciento, con un promedio general de – 31.70 por ciento de índice de rentabilidad.

En el Cuadro 57, se aprecia la comparación de medias de la interacción de régimen de riego con variedades de quinua para el índice de rentabilidad; y en la Figura 26, se puede apreciar la respuesta general de dicha interacción.

Cuadro 57: Comparación de medias de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua para Índice de Rentabilidad

Variedades de quinua	Régimen de Riego			Promedio	Índice de Promedios (%)
	1 - 100% RRT	2 - 87.5% RRT	3 - 75% RRT		
La Molina 89	176.55	113.28	72.02	120.62	136.30
Salcedo INIA	-61.32	-69.05	-72.75	-67.71	-76.51
Pasankalla	-90.95	-89.17	-93.12	-91.08	-102.92
Negra Collana	-88.23	-87.23	-90.02	-88.50	-100.00
Promedio	-15.99	-33.04	-45.97	Promedio General	
Índice de Promedios (%)	-34.78	-71.88	-100.00		-31.67

De otra parte, en los Anexos 34, 35 y 36, se pueden apreciar la estructura completa de los costos de producción de quinua *La Molina 89* al 100% RRT, 87.5% RRT y 75% RRT, respectivamente. Para las otras variedades, solo se requiere modificar los regímenes de riego aplicados y las cantidades cosechadas por tamaño (granos grandes, medianos y pequeños), ya que cada tamaño está cotizado, según los precios de chacra del 2015 (sondeo personal), en S/. 6.50, S/. 5.50 y S/. 4.50, respectivamente. La estructura en común para todas las variedades fueron: (1) Insumos (semillas, fertilizantes y pesticidas) que costó S/. 5 012.92 por hectárea, (2) Mano de obra (para la preparación del terreno, siembra, labores culturales y cosecha) que costó S/. 2 240 por hectárea; (3) Mecanización (para la preparación del terreno y cosecha) que costó S/. 1 320 por hectárea. Se consideró un de costo S/. 0.15 de

metro cúbico de agua (León, 2014), lo cual no influyó mucho en el costo de producción final en los distintos regímenes de riego. Finalmente, en el Anexo 37, se puede observar el análisis agroeconómico resumido para los 9 tratamientos conformados entre regímenes de riego y variedades de quinua.

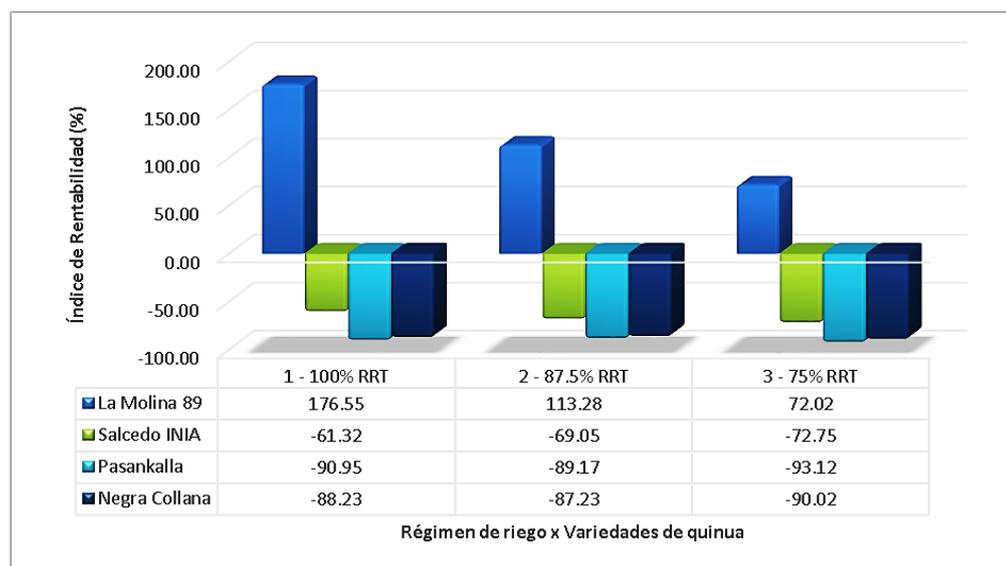


Figura 26: Efecto de la interacción del Régimen de riego con Variedades de quinua en Índice de Rentabilidad

- **Respuesta de la Interacción del Régimen de Riego x Variedades de quinua**

El análisis de efectos simples, que muestra el Anexo 33, determina que a un nivel de significación de 0.01 existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos uno de los regímenes de riego se obtiene índices de rentabilidad promedio diferentes en la variedad *La Molina 89*. Asimismo también existe suficiente evidencia estadística para afirmar que con al menos una de las variedades de quinua se obtienen índices de rentabilidad promedio diferentes en el régimen de riego 1, 2 y 3.

Para la variedad *La Molina 89*, el régimen de riego 1 fue el que presentó mayor índice de rentabilidad con 176.55 por ciento, difiriendo estadísticamente del régimen de riego 2 con 113.28 por ciento y del régimen de riego 3 con 72.02 por ciento. Asimismo el régimen de riego 2 difiere también estadísticamente del régimen de riego 3. Al respecto, León (2014) obtuvo índices de rentabilidad menores al presente ensayo de 52, 40 y 4.8 por ciento, en los tratamientos 100% RRT, 75% RRT y 50% RRT (todos con plástico), respectivamente; el testigo (100% RRT con plástico) obtuvo 63 por ciento. 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 índice de rentabilidad, 72 y 26.2 por ciento respectivamente, aplicando de riego 3 940 m³/ha y 5 231 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/. 8 588) al presente ensayo (R1 = S/.40 280), más aún, no realizó una clasificación de calidad de quinua por tamaño para obtener mayor rentabilidad.

Cuadro 58: Respuesta de la interacción del Régimen de riego x Variedades de quinua para Índice de Rentabilidad, mediante la prueba de comparación de medias de Tukey al 1 % de probabilidad

Régimen de Riego	Variedad	Media	Tukey	Índice (%)	Variedad	Régimen de Riego	Media	Tukey	Índice (%)
1	La Molina 89	176.55	A	245.14	La Molina 89	1	176.55	A	194.11
2	La Molina 89	113.28	B	157.29	Salcedo INIA	1	-61.32	B	-67.43
3	La Molina 89	72.02	C	100.00	Negra Collana	1	-88.23	C	-97.01
1	Salcedo INIA	-61.32	A	-84.30	Pasankalla	1	-90.95	C	-100.00
2	Salcedo INIA	-69.05	A	-94.91	La Molina 89	2	113.28	A	127.05
3	Salcedo INIA	-72.75	A	-100.00	Salcedo INIA	2	-69.05	B	-77.44
2	Pasankalla	-89.17	A	-95.75	Negra Collana	2	-87.23	B	-97.83
1	Pasankalla	-90.95	A	-97.67	Pasankalla	2	-89.17	B	-100.00
3	Pasankalla	-93.12	A	-100.00	La Molina 89	3	72.02	A	77.34
2	Negra Collana	-87.23	A	-96.90	Salcedo INIA	3	-72.75	B	-78.12
1	Negra Collana	-88.23	A	-98.01	Negra Collana	3	-90.02	B	-96.68
3	Negra Collana	-90.02	A	-100.00	Pasankalla	3	-93.12	B	-100.00

Para la variedad *Salcedo INIA*, todos los regímenes de riego presentaron índices de rentabilidad negativos y similitud estadística entre ellos, siendo el menos negativo el régimen de riego 1, el cual obtuvo un -61.32 por ciento, luego le sigue el régimen 2 con -69.05 por ciento; y finalmente, el régimen 3 con -72.75 por ciento. Al respecto, Burin (2016) obtuvo índices de rentabilidad de 152.9, 159.3 y 61.5 por ciento (sin diferencia estadística) con los tratamientos de 100% RRT, 80% RRT y 60% RRT, respectivamente. Esta gran diferencia se debe a que Burin (2016) invirtió menos en los costos de producción (entre S/. 5 535.1 a S/. 5 602.3) en comparación al presente ensayo (entre S/. 14 257.46 a S/. 14 423.96); y a que obtuvo mayor rendimiento comparativo.

Para la variedad *Pasankalla*, los tres regímenes de riego presentaron también índices de rentabilidad negativos y similitud estadística entre ellos, siendo el menos negativo el régimen de riego 2 con -89.17 por ciento, seguido del régimen 1 con -90.95 por ciento, y finalmente, el régimen 3 con -93.12 por ciento. Al respecto, Burin (2016) obtuvo índices de rentabilidad de -28.9, -51.2 y -47.8 por ciento (sin diferencia estadística) con los tratamientos de 100% RRT, 80% RRT y 60% RRT, respectivamente. En este caso, a pesar que Burin (2016) invirtió en un bajo costo de producción, la obtención del rendimiento fue determinante para no cubrir dichos costos; de igual forma, ocurrió en el presente ensayo, en que los rendimientos no cubrieron el alto costo de producción (entre S/. 14 257.46 a S/. 14 423.96).

Finalmente, para la variedad *Negra Collana*, los tres regímenes de riego presentaron también índices de rentabilidad negativos y similitud estadística entre ellos, siendo el menos negativo el régimen de riego 2 con -87.23 por ciento, seguido del régimen 1 con -88.23 por ciento, y finalmente, el régimen 3 con -90.02 por ciento. La causa fue también los altos costos de producción y el poco rendimiento obtenido. Cabe resaltar que, probablemente, este índice hubieran sido más altos si se consideraban el precio de chacra real para esta variedad (el doble aproximadamente) ya que el mercado cotiza mejor la quinua negra por tener más proteínas y antioxidantes.

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 salinas; esto se debería determinar con nuevas investigaciones, ya que estas variedades (a diferencia de *La Molina 89*) son quinuas dulces, lo cual es una gran ventaja comparativa ya que no se invertiría en el proceso de desaponificación para su venta final. De otra parte, variedades como *Pasankalla* y *Negra Collana* tienen un potencial adicional (a nivel industrial) dado que, el primero tiene la propiedad de que los granos se expanden al calor, pudiendo venderse como quinua popeada; y el segundo, tiene un atractivo color, el cual está teniendo mucha demanda ya que existen algunas pruebas que demuestran que tienen mayor porcentaje de proteínas y antioxidantes. Finalmente, una ventaja adicional a *La Molina 89*, es que posee saponinas, el cual podría aprovecharse a nivel industrial para producir subproductos rentables.

V. CONCLUSIONES

- En relación al efecto principal del régimen de riego; se presentó respuesta significativa en el variable peso de 1 000 granos. En cuanto a variedades; *La Molina 89*, presentó la mayor altura de planta, número de subpanojas y peso de 1 000 granos; *Salcedo INIA*, solo destacó en peso de 1 000 granos.
- 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 y número de granos por planta.
- 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 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*; aplicando R1: 100 % del Requerimiento de Riego Total (RRT) se obtuvo 7 343 kg/ha en grano; el cual representó un incremento de 28.3 % respecto al R2: 87.5 % RRT, cuyo rendimiento fue de 5 721 kg/ha en grano; y un incremento de 58.1 % respecto a R3: 75 % RRT, cuyo rendimiento fue de 4 643 kg/ha.

- Las variedades *Salcedo INIA*, *Negra Collana* y *Pasankalla* bajo las condiciones de R1: 100 % RRT, presentaron rendimientos de quinua de 1 047, 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.
- Para regímenes de riego, la variedad *La Molina 89*, en comparación a variedades, *Salcedo INIA*, *Negra Collana* y *Pasankalla*, obtuvo los mayores valores en los parámetros agronómicos; eficiencia de uso del agua (EUA), índice de cosecha (IC); De otro lado, la variedad *Negra Collana* obtuvo los mayores valores en coeficiente de transpiración (CT).
- 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.

VI. RECOMENDACIONES

- Seguir realizando estudios del efecto del régimen de riego en variedades promisorios como *La Molina 89* en distintas partes del Perú, sin embargo, recomiendo que se enfoque en una sola variedad por estudio, ya que será más práctico realizar las labores agronómicas de evaluación oportunamente.
- Investigar distintos riegos deficitarios en *La Molina 89* para determinar el régimen de riego mínimo que se necesita para alcanzar rendimientos aceptables, identificando a su vez las fases fenológicas donde se puede ahorrar más agua.
- Se debe seguir m con las variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*, ya que tienen mucho potencial comercial e industrial. Por ello, se deben realizar estudios que determinen las épocas adecuadas de siembra, niveles de tolerancia a la salinidad, propuestas de manejos agronómico para atenuar el “efecto de tropicalización” que ocurre durante las campañas de Octubre-Febrero en Costa; posterior a ello, ya se podría investigar eficazmente la respuesta del régimen de riego.
- La Unidad de Investigación en Riegos ofrece condiciones edáficas de salinidad para experimentar genotipos promisorios (como *La Molina 89*) que resistan bajo esta condición, con miras a recuperar terrenos costeros con este problema.

VII. BIBLIOGRAFÍA

ADEX (Asociación de Exportadores, PE). 2018. Adex Data Trade: base de datos (en línea). Lima, PE. Consultado 19 jul 2018. Disponible en: <http://www.adexdatatrade.com/>

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

Balsamo F., M. 2002. Desarrollo y evaluación de un método agrosimétrico mecánico para la determinación de saponinas en quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Facultad de Industrias Alimentarias, UNALM. Lima-Perú.

Barnett Malpartida, A. 2005. Efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de tres variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo riego por goteo. Tesis Ing. Agr. Lima, PE, UNALM. p. 13-14, 59.

Bertero HD; King, RW y Hall, AJ. 1999. Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). In FAO/CIRAD. 2014. Estado del Arte de la quinoa en el mundo en 2013. Santiago, CL. 149 p.

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

Bertero, HD. 2001. Effects of photoperiod, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions. Ann. Bot. 87: 495–502.

Bertero, HD; De la Vega, HD; Correa, G; Jacobsen, SE y Mujica, A. 2004. Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size in quinoa

(*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crops Res.* 89: 299-318.

Bioversity International, IT; FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT); Fundación PROINPA, BO; INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, BO) y FIDA (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, IT). 2013. Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. 31 p.

Bois, JF; Winkel, T; Lhomme, JP; Raffaillac, JP y Rocheteau, A. 2006. Response of some Andean cultivars of quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. In Wiley Blackwell. 2016. Quinoa, Sustainable production, variety improvement and nutritive value in agroecological systems. Eds. Murphy, K y Matanguihan, J. New Jersey, US. p.33.

Bosque, H; Huaycho, H; Quispe, AJ; Molina, E y Cadena, F. 2013. Uso de cepas bacteriales fijadoras de nitrógeno con diferentes niveles de abonamiento orgánico en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la región altiplánica de Bolivia (diapositivas). La Paz, BO. 11 diapositivas.

Burin Díaz, Y. 2016. Rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo tres láminas de riego por goteo. Tesis Ing. Agr. Lima, PE, UNALM. p.55.

Calera, A. 2005. La evapotranspiración: concepto y metodología de cálculo. In: 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. Lima, PE, UNALM

Canaviri, J. 2015. Declaración del Año Internacional de la Quinua (entrevista). Fuente Original: Lazcano, M.2015. Precio de la quinua exportada a Estados Unidos baja en 24,62%. La Razón, Lima, PE, feb. 20. Disponible en: http://www.la-razon.com/economia/Producto-precio-quinua-exportada-Estados_Unidos-baja_0_2248575142.html

Choquecallata, J; Vacher, J; Fellmann, T e Imaña, E. 1991. Evapotranspiración máxima del cultivo de la Quinua 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.

Christiansen, JL; Jacobsen, SE; Jörgensen, ST. 2010. Photoperiodic effect on flowering and seed development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Acta Agriculturae Scan. B. 60: 539-544. In FAO/CIRAD. 2014. Estado del Arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago, CL. 146-147 p.

Claeys, H y Inze, D. 2013. The Agony of Choice: How Plants Balance Growth and Survival under Water-Limiting Conditions. In FAO/CIRAD. 2014. Estado del Arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago, CL. p. 186.

Claros, M; Ortuño, N; Aguirre, G y Toledo, L. 2013. Selección de bacterias endófitas nativas de la quinua (*Chenopodium quinoa*), tipo *Bacillus* spp., como promotoras de crecimiento vegetal, para el desarrollo de bioinsumos (diapositivas). Cochabamba, BO. 32 diapositivas

Dizes, J. y Bonifacio, A. 1992. Estudio en microscopía electrónica de la morfología de los órganos de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y de la cañahua (*Chenopodium pallidicaule* A.) en relación con la resistencia a la sequía. In: D. Morales y J. Vacher (eds.). Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. La Paz, Bolivia. 4-8 jul 1991. p. 69-74.

Echegaray Buezo, T. 2003. Evaluación de métodos de cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Bajo condiciones de Costa. Tesis Ing. Agr. Lima, UNALM. p. 105

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. p. 2.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2013. Valor nutricional de la quinua (en línea). Lima, PE. Consultado el 20 feb 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/es/>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT)/ALADI (Asociación Latinoamericana de Integración, UY). 2014. Tendencias y perspectivas del Comercio Internacional de Quinua. Santiago, CL.

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. 1 ed. Lima, PE. 11, 30-37, 42-44 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT)/UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina, PE). 2016. Guía de cultivo de la quinua. Eds. L Gomez y EA Castellano. Lima, PE. p. 3-5, 9-16, 43, 47-50, 54.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2016. Guía de identificación y control de las principales plagas que afectan en la zona andina. Eds. LM Cruces y Y Callohuari. Santiago, CL.

Ferrera, R y Alarcón, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. Ciencia Ergo Sum 8 (2): 175-183. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, MX.

Fischer, S; Wilkens, R; Jara, J. y Aranda, M. 2013. Variation in antioxidant capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) subjected to drought stress. In 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. Lima, PE, UNALM. 1 p.

Frere, M; Rijks, J y Rea, J. 1975. Estudio agroclimatológico de la zona andina; Informe técnico. In Mujica, A; Canahua, A y Saravia, R. 2001. Agronomía del cultivo de la Quinua. Cap. II. Santiago, Chile. p. 22.

Gandarillas, H. 1979. Botánica. Capítulo II. In: Tapia, M (editor). Quinua y Kañiwa. Cultivos Andinos. Bogotá, Colombia: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). p. 20-25.

Gandarillas, H.1968. Razas de quinua. Bolivia, Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agrícolas. Boletín Experimental N° 4. p. 53

Garcés, F y Forcelini, CA. 2011. Peso de hojas como herramienta para estimar el área foliar en soya. Ciencia y Tecnología 4(1):13-17, 2011

Garrido, M; Silva, P; Silva, H; Muñoz, R; Baginsky, C y 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; García, M; Condori, O; Mamani, J; Miranda, R; Cusicanqui, J; Taboada, C; Yucra, E y Vacher, J. 2008a. Could deficit irrigation be a sustainable practice

for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Southern Bolivian Altiplano?. *Agricultural Water Management* 95: 909-917

Geerts, S; Raes, D; Garcia, M; Vacher, J; Mamani, R; Mendoza, J; Huanca, R; Morales, B; Miranda, R; Cusicanqui, J. and Taboada, C. 2008b. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy* 28: 427-436.

Gomez, L. 2013. Adaptación de cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) para condiciones de costa central (diapositivas). Lima, PE. 49 diapositivas

González, JA; Bruno, M; Valoy, M y Prado, FE. 2011. Genotypic variation of gas exchange parameters and leaf stable carbon and nitrogen isotopes in ten quinoa cultivars grown under drought. *J. Agron. Crop Sci.* 197:81-93.

González, JA; Konishi, Y; Bruno, M; Valoy, M y Prado, FE. 2012. Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars from two different agroecological regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92:6, 1222–1229.

Gordon Villena., A. 2011. Sistemas de Cultivos de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su efecto en el rendimiento y calidad en condiciones de verano en La Molina. Tesis Ing. Agr. Lima, PE, UNALM.

Hernández, J y León, J. 1992. Cultivos Marginados. Otra perspectiva de 1492. Italia, FAO. 339 p.

Hillel, D. 1980. Application of Soil physics. Academic press. New York, US. p.147-196

Hsiao, T y Acevedo, E.1974. Plant responses to water deficits, water use efficiency and drought resistance. *Agric Meteorol.* 14:59-84

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 Mg. Sc. Lima, PE, UNALM. p. 104

Hurtado Leo, L. 2003. Manejo y Conservación del Suelo, Fundamentos y Prácticas. Segunda Edición. Pronamachcs. Lima- Perú. p. 81-84, 349-355, 411-415, 476

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)/Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). 2013. Resultados definitivos IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Lima, PE. p. 5

Jacobsen, SE. 2003. The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). In Mendoza Soto, VDP. 2013. Comparativo de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de costa central. Tesis de Ing. Agr. Lima, PE, UNALM. p. 11.

Jacobsen, SE; Monteros, C; Christiansen, JL; Bravo, LA; Corcuera, LJ; Mujica, A. 2005. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy* 22:131–139.

Jacobsen, SE; Mujica, A y Jensen, CR. 2003. The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Adverse Abiotic Factors. *Food Reviews International*. 19:1-2, 99-109

Jacobsen, SE; Quispe, H y Mujica, A. 1999. Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. In: Scientists and farmer–partners in research for the 21st century. CIP Program Report 1999–2000. p. 403–408.

Jacobsen, SE; Quispe, H y Mujica, A. 2001. Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP). p. 403–408.

Jensen, CR; Jacobsen, SE; Andersen, MN; Núñez, N; Andersen, SD; Rasmussen, L; Mogensen, VO. 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *Eur J Agron* 13:11–25.

Julón Ramirez, Willy. 2016. Resultado de dos sistemas de cultivo en el rendimiento, calidad y rentabilidad de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Costa Central. Tesis Ing. Agr. Lima, PE, UNALM.

Koziol, M. 1990. Desarrollo del método para determinar el contenido de saponinas en la quinua. En Gordon, A. 2011. Sistemas de Cultivos de la Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su efecto en el rendimiento y calidad en condiciones de verano en La Molina. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

Koziol, M.J. 1992. Chemical composition and nutritional value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Compositions and Analysis*. 5: 35–68.

Kramer, PJ. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna. Editorial Edutex. México.

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. Lima, PE, UNALM

Lescano, JL. 1994. Mejoramiento y fisiología de cultivos andinos. Cultivos Andinos en el Perú. In FAO/CIRAD. 2014. Estado del Arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago, CL. p. 209.

Limburg, H. y Mastebroek. 1996. Breeding high yielding lines of *Chenopodium quinoa* Willd with saponin free seed. En Small grain Cereals and Pseudo-cereals Workshop Crop Development for the cool and wet regions of Europe. Editado por O. Stolen; K. Bruhn; K. Pithan y J. Hill. The Royal Veterinary and Agricultural University Copenhagen, Denmark. 103-114 pp.

Martínez, EA. 2013. Quinua: Aspectos nutricionales del arroz de los Incas. Capítulo 3.4. In FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT)/CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, FR). 2014. Estado del Arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago, CL. 334, 336-337 p.

Martínez, EA; Veas, E; Jorquera, C; San Martín, R y 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.

Mendoza Soto, VDP. 2013. Comparativo de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de costa central. Tesis de Ing. Agr. Lima, PE, UNALM. p. 122.

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

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). 2013. Agro al día: base de datos Sistema de Inteligencia de Negocios (en línea). Lima, PE. Consultado el 01 oct. 2013. Disponible en <http://agroaldia.minag.gob.pe/sisin/clients/hidricocadenas/Quinua>

Ministerio del Ambiente (MINAM). 2016. El Perú y el Cambio Climático, Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 1 ed. Lima, PE. p. 161

Montoya, LA; Martínez, L y Peralta, J. 2005. Análisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. Revista de ciencias administrativas y sociales INNOVAR. Universidad Nacional de Colombia. p. 104

Mori Rabanal, AM. 2015. Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), mediante el riego por goteo. Tesis Ing. Agrícola. Lima, PE, UNALM. p.41.

Mujica A. 1992. Granos y leguminosas andinas. In: Hernandez J, Bermejo J, Leon J, editors. Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO: Roma. p. 129–146.

Mujica, A. 2006. Descriptores para la caracterización del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). En: Manual para la caracterización in situ de cultivos nativos. INIEA. Lima, Perú. 90-141 pp.

Mujica, A.; Canahua, A y Saravia, R. 2001a. Agronomía del cultivo de la Quinua. In: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). “Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro”. Cap. II Versión 1.0. Santiago, Chile. p. 9, 20, 22, 31

Mujica, A; Izquierdo, JI y Marathée, JP. 2001b. Resistencia a factores adversos de la quinua. In A FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). “Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro”. Cap. VII Versión 1.0. Santiago, Chile. p. 154-157, 160.

Nakashima, K; Ito, Y e Yamaguchi-Shinozaki, K. 2009. Transcriptional regulatory networks in response to abiotic stresses in Arabidopsis and grasses. In FAO/CIRAD. 2014. Estado del Arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago, CL. p. 186.

Navarro, G. 2000. Química Agrícola. Madrid, ES, Mundi-Prensa Madrid.

Novo, M; Garrido, A; Llamas, MR y Varela-Ortega, C. 2008. Are virtual water «flows» in Spanish grain trade consistent with relative water scarcity?. In FAO/CIRAD. 2014. Estado del Arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago, CL. p. 334.

Nuñez, N. 1999. Influencia del déficit hídrico en la fisiología y productividad de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Tesis Ing. Mag. Sc. en Ciencias. Puno, PE, Escuela de Postgrado Universidad Nacional del Altiplano. p. 87.

Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). 1986. Información estadística: Superficie en hectáreas afectada por la salinidad en los valles de la costa 1986 (en línea). Lima, PE. Consultado el 20 de jun 2017 Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/superficie-hectareas-afectada-salinidad-valles-costa-1986>

Padilla, FM y Pugnaire, FI. 2007. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. In FAO/CIRAD. 2014. Estado del Arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago, CL. p. 194.

Porras Jorge, Zenaida R. 2015. Evaluación del sistema de riego por goteo y exudación en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el INIA-La Molina. Tesis Ing. Agrícola. Lima, PE, UNALM. 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, PE, UNALM. p. 1-10

Quispe Gómez, Liz. 2015. Evaluación del potencial de rendimiento y calidad de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Pasankalla en condiciones de costa central. Tesis Ing. Agr. Lima, PE, UNALM.

Razzagui, F; Plauborg, F; Jacobsen, SE; Jensen, CR y Andersen, MN. 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. Agr. Water Management. 109:20–29.

Rojas, W. 2003. Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. In FAO. 2011. La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. p. 21.

Rojas, W. y Pinto, M. 2013. La diversidad genética de quinua de Bolivia. En: Vargas, M. (Editor. 2013). Congreso Científico de la Quinoa (Memorias). La Paz, Bolivia. p. 77 - 92.

Rosas Huaranga, GF. 2015. Evaluación agronómica de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo dos sistemas de cultivo en La Unión-Leticia, Tarma. Tesis Ing Agr. Lima, PE, UNALM. p. 12

Sánchez Valencia, MVR. 2015. Identificación preliminar de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) con mayor eficiencia en uso de nitrógeno. Tesis Ing. Agr. Lima, PE, UNALM. p.67.

Schabes, FI y Sigstad, EE. 2005. Calorimetric studies of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under saline stress conditions. In Wiley Blackwell. 2016. Quinoa, Sustainable production, variety improvement and nutritive value in agroecological systems. Eds. Murphy, K y Matanguihan, J. New Jersey, US. p.32.

Schlick, G y Bubenheim, DL. 1996. Quinoa: Candidate crop for NASA's Controlled Ecological Life Support Systems. En: Janick, J., Eds. Progress in New Crops, ASHS Press: Arlington, VA, USA, p. 632–640.

Serie Estadísticas de Producción Agrícola (SEPA). 2016. Resultados de la consulta a la base de datos de producción de quinua. Consultado el 20 de jun 2017. Disponible en: <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=salida>

Silvestri, V y Gil, F. 2000. Alogamia en quinua. Tasa en Mendoza (Argentina). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo 32(1): 71-76

Smith, M. 2000. The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. Agric. Forest Meteorol. 103, 99–108.

Soliz-Guerrero, JB; Jasso de Rodriguez, D; Rodriguez-Garcia, R; Angulo-Sanchez, JL y Mendez-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, pp. 110–114.

Soto, JL; Valdivia, R y Solano, C. 2013. Normas técnicas para quinua y su contribución al comercio (diapositivas). Lima, PE, 20 diapositivas.

Talebnejad, R; Sepaskhah, AR. 2015. Effect of deficit irrigation and different saline groundwater depths on yield and water productivity of quinoa. *Agricultural Water Management* 159 (2015): 225-238

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

Tapia, M. 1990. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – FAO, Oficina para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile.

Tapia, M. 1997. Agronomía de los cultivos andinos. En: Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Segunda edición. Editado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Santiago, CL. p. 30

Vacher, JJ. 1998. Response of two main Andean crops, quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) and papa amarga (*Solanum juzepczukii* B.) to drought on the Bolivian altiplano: significance of local adaptation. In Mujica, A.; Canahua, A y Saravia, R. 2001. Agronomía del cultivo de la Quinoa. p. 22.

Wiley Blackwell. 2016. Quinoa, Sustainable production, variety improvement and nutritive value in agroecological systems. Eds. Murphy, K y Matanguihan, J. New Jersey, US. p.28, 36-37.

Zadocks, JC, T.T Chang and C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. 14:415-421.

Zurita-Silva, A; Jacobsen, SE; Razzaghi, F; Alvarez, R; Ruiz, K, Morales, A y Silva, H. 2013. Respuesta a la Sequía y adaptación de la quinua. In FAO/CIRAD. 2014. Estado del Arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago, CL. p. 185.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Programación de régimen de riego 1 (100% RRT) en la variedad *La Molina 89*

Etapa del cultivo	Estado fenológico	Fecha	Ciclo Vegetativo (días)		Volumen aplicado (l/área)	Requerimiento de Riego 1		Etc	Eo	Kc
			Parcial	Acumulado		Neto (mm)	Total (m ³ /ha)			
Apertura del sistema		02/10/2013	-1		32.148	1.929	21.432			
Siembra		03/10/2013	0	0	18.296	1.098	12.198			
Germinación	Emergencia total de las semillas	08/10/2013	5	5	50.600	3.036	33.733	0.61	1.52	0.40
Desarrollo vegetativo y Ramificación	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	101.050	6.063	67.367	1.21	2.58	0.47
	Seis hojas verdaderas desplegadas	23/10/2013	10	20	240.800	14.448	160.533	1.44	2.58	0.56
	Diez hojas verdaderas desplegadas	02/11/2013	10	30	279.500	16.770	186.333	1.68	2.58	0.65
Desarrollo Reproductivo y Polinización	Desarrollo del botón floral	12/11/2013	10	40	395.633	23.738	263.756	2.37	2.86	0.83
	Desarrollo de la inflorescencia	27/11/2013	15	55	713.950	42.837	475.967	2.86	3.06	0.93
	Floración	17/12/2013	20	75	1,055.967	63.358	703.978	3.17	3.16	1.00
	Antesis	22/12/2013	5	80	306.000	18.360	204.000	3.67	3.40	1.08
Llenado de granos	Grano acuoso	11/01/2014	20	100	1,224.000	73.440	816.000	3.67	3.40	1.08
	Grano lechoso	26/01/2014	15	115	952.800	57.168	635.200	3.81	3.92	0.97
	Grano pastoso (madurez fisiológica)	10/02/2014	15	130	937.525	56.252	625.017	3.75	3.92	0.95
Cierre de sistema	Grano pastoso (grano rayable con la uña en 50% de la panoja)	22/02/2014	12	142	893.000	53.580	595.333	4.47	4.75	0.94
Cosecha	Grano en estado frágil bajo el diente (\pm 14% de humedad) en toda la panoja	01/04/2014	38	180						
TOTALES Y PROMEDIOS					7,201.269	432.076	4,800.846	3.02	3.31	0.89

Eficiencia de riego: 90%

ANEXO 2: Programación de régimen de riego 2 (87.5% RRT) en la variedad *La Molina 89*

Etapas del cultivo	Estado fenológico	Fecha	Ciclo Vegetativo (días)		Volumen aplicado (l/área)	Requerimiento de Riego 2			Etc	Eo	Kc
			Parcial	Acumulado		Neto (mm)	Total (m ³ /ha)				
Apertura del sistema		02/10/2013	-1		28.130	1.688	18.753				
Siembra		03/10/2013	0	0	16.009	0.961	10.673				
Germinación	Emergencia total de las semillas	08/10/2013	5	5	44.275	2.657	29.517	0.53	1.52	0.35	
Desarrollo vegetativo y Ramificación	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	88.419	5.305	58.946	1.06	2.58	0.41	
	Seis hojas verdaderas desplegadas	23/10/2013	10	20	210.700	12.642	140.467	1.26	2.58	0.49	
	Diez hojas verdaderas desplegadas	02/11/2013	10	30	244.563	14.674	163.042	1.47	2.58	0.57	
Desarrollo Reproductivo y Polinización	Desarrollo del botón floral	12/11/2013	10	40	346.179	20.771	230.786	2.08	2.86	0.73	
	Desarrollo de la inflorescencia	27/11/2013	15	55	624.706	37.482	416.471	2.50	3.06	0.82	
	Floración	17/12/2013	20	75	923.971	55.438	615.981	2.77	3.16	0.88	
	Antesis	22/12/2013	5	80	267.750	16.065	178.500	3.21	3.40	0.95	
Llenado de granos	Grano acuoso	11/01/2014	20	100	1,071.000	64.260	714.000	3.21	3.40	0.95	
	Grano lechoso	26/01/2014	15	115	833.700	50.022	555.800	3.33	3.92	0.85	
	Grano pastoso (madurez fisiológica)	10/02/2014	15	130	820.334	49.220	546.890	3.28	3.92	0.84	
Cierre de sistema	Grano pastoso (grano rayable con la uña en 50% de la panoja)	22/02/2014	12	142	781.375	46.883	520.917	3.91	4.75	0.82	
Cosecha	Grano en estado frágil bajo el diente ($\pm 14\%$ de humedad) en toda la panoja	01/04/2014	38	180							
TOTALES Y PROMEDIOS					6,301.111	378.067	4,200.740	2.64	3.31	0.78	

Eficiencia de riego: 90%

ANEXO 3: Programación de régimen de riego 3 (75% RRT) en la variedad *La Molina 89*

Etapas del cultivo	Estado fenológico	Fecha	Ciclo Vegetativo (días)		Volumen aplicado (l/área)	Requerimiento de Riego 3			Etc	Eo	Kc
			Parcial	Acumulado		Neto (mm)	Total (m ³ /ha)				
Apertura del sistema		02/10/2013	-1		24.111	1.447	16.074				
Siembra		03/10/2013	0	0	13.722	0.823	9.148				
Germinación	Emergencia total de las semillas	08/10/2013	5	5	37.950	2.277	25.300	0.46	1.52	0.30	
Desarrollo vegetativo y Ramificación	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	75.788	4.547	50.525	0.91	2.58	0.35	
	Seis hojas verdaderas desplegadas	23/10/2013	10	20	180.600	10.836	120.400	1.08	2.58	0.42	
	Diez hojas verdaderas desplegadas	02/11/2013	10	30	209.625	12.578	139.750	1.26	2.58	0.49	
Desarrollo Reproductivo y Polinización	Desarrollo del botón floral	12/11/2013	10	40	296.725	17.804	197.817	1.78	2.86	0.62	
	Desarrollo de la inflorescencia	27/11/2013	15	55	535.463	32.128	356.975	2.14	3.06	0.70	
	Floración	17/12/2013	20	75	791.975	47.519	527.983	2.38	3.16	0.75	
	Antesis	22/12/2013	5	80	229.500	13.770	153.000	2.75	3.40	0.81	
Llenado de granos	Grano acuoso	11/01/2014	20	100	918.000	55.080	612.000	2.75	3.40	0.81	
	Grano lechoso	26/01/2014	15	115	714.600	42.876	476.400	2.86	3.92	0.73	
	Grano pastoso (madurez fisiológica)	10/02/2014	15	130	703.144	42.189	468.763	2.81	3.92	0.72	
Cierre de sistema	Grano pastoso (grano rayable con la uña en 50% de la panoja)	22/02/2014	12	142	669.750	40.185	446.500	3.35	4.75	0.71	
Cosecha	Grano en estado frágil bajo el diente ($\pm 14\%$ de humedad) en toda la panoja	01/04/2014	38	180							
TOTALES Y PROMEDIOS					5,400.952	324.057	3,600.635	2.27	3.31	0.67	

Eficiencia de riego: 90%

ANEXO 4: Programación de régimen de riego 1 (100% RRT) en las variedades *Salcedo INIA*, *Pasankalla* y *Negra Collana*

Etapa del cultivo	Estado fenológico	Fecha	Ciclo Vegetativo (días)		Volumen aplicado (l/área)	Requerimiento de Riego 1		Etc	Eo	Kc
			Parcial	Acumulado		Neto (mm)	Total (m ³ /ha)			
Apertura del sistema		02/10/2013	-1		32.148	1.929	21.432			
Siembra		03/10/2013	0	0	18.296	1.098	12.198			
Germinación	Emergencia total de las semillas	08/10/2013	5	5	50.600	3.036	33.733	0.61	1.52	0.40
Desarrollo vegetativo y Ramificación	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	101.050	6.063	67.367	1.21	2.58	0.47
	Seis hojas verdaderas desplegadas	23/10/2013	10	20	240.800	14.448	160.533	1.44	2.58	0.56
	Diez hojas verdaderas desplegadas	02/11/2013	10	30	279.500	16.770	186.333	1.68	2.58	0.65
Desarrollo Reproductivo y Polinización	Desarrollo del botón floral	07/11/2013	5	35	197.817	11.869	131.878	2.37	2.86	0.83
	Desarrollo de la inflorescencia	17/11/2013	10	45	395.633	23.738	263.756	2.37	2.86	0.83
	Floración	02/12/2013	15	60	774.200	46.452	516.133	3.10	3.16	0.98
	Antesis	17/12/2013	15	75	797.900	47.874	531.933	3.19	3.16	1.01
Llenado de granos	Grano acuoso	01/01/2014	15	90	918.000	55.080	612.000	3.67	3.40	1.08
	Grano lechoso	11/01/2014	10	100	612.000	36.720	408.000	3.67	3.40	1.08
	Grano pastoso (madurez fisiológica)	21/01/2014	10	110	629.400	37.764	419.600	3.78	3.66	1.03
Cierre de sistema	Grano pastoso (grano rayable con la uña en 50% de la panoja)	05/02/2014	15	125	953.875	57.233	635.917	3.82	3.92	0.97
Cosecha	Grano en estado frágil bajo el diente (\pm 14% de humedad) en toda la panoja	07/03/2014	30	155						
TOTALES Y PROMEDIOS					6,001.219	360.073	4,000.813	2.86	3.12	0.89

Eficiencia de riego: 90%

ANEXO 5: Programación de régimen de riego 2 (87.5% RRT) en las variedades Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana

Etapa del cultivo	Estado fenológico	Fecha	Ciclo Vegetativo (días)		Volumen aplicado (l/área)	Requerimiento de Riego 2		Etc	Eo	Kc
			Parcial	Acumulado		Neto (mm)	Total (m ³ /ha)			
Apertura del sistema		02/10/2013	-1		28.130	1.688	18.753			
Siembra		03/10/2013	0	0	16.009	0.961	10.673			
Germinación	Emergencia total de las semillas	08/10/2013	5	5	44.275	2.657	29.517	0.53	1.52	0.35
Desarrollo vegetativo y Ramificación	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	88.419	5.305	58.946	1.06	2.58	0.41
	Seis hojas verdaderas desplegadas	23/10/2013	10	20	210.700	12.642	140.467	1.26	2.58	0.49
	Diez hojas verdaderas desplegadas	02/11/2013	10	30	244.563	14.674	163.042	1.47	2.58	0.57
Desarrollo Reproductivo y Polinización	Desarrollo del botón floral	07/11/2013	5	35	173.090	10.385	115.393	2.08	2.86	0.73
	Desarrollo de la inflorescencia	17/11/2013	10	45	346.179	20.771	230.786	2.08	2.86	0.73
	Floración	02/12/2013	15	60	677.425	40.646	451.617	2.71	3.16	0.86
	Antesis	17/12/2013	15	75	698.163	41.890	465.442	2.79	3.16	0.88
Llenado de granos	Grano acuoso	01/01/2014	15	90	803.250	48.195	535.500	3.21	3.40	0.95
	Grano lechoso	11/01/2014	10	100	535.500	32.130	357.000	3.21	3.40	0.95
	Grano pastoso (madurez fisiológica)	21/01/2014	10	110	550.725	33.044	367.150	3.30	3.66	0.90
Cierre de sistema	Grano pastoso (grano rayable con la uña en 50% de la panoja)	05/02/2014	15	125	834.641	50.078	556.427	3.34	3.92	0.85
Cosecha	Grano en estado frágil bajo el diente (±14% de humedad) en toda la panoja	07/03/2014	30	155						
TOTALES Y PROMEDIOS					5,251.067	315.064	3,500.711	2.50	3.12	0.77

Eficiencia de riego: 90%

ANEXO 6: Programación de régimen de riego 3 (75% RRT) en las variedades *Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collana*

Etapas del cultivo	Estado fenológico	Fecha	Ciclo Vegetativo (días)		Volumen aplicado (l/área)	Requerimiento de Riego 3		Etc	Eo	Kc
			Parcial	Acumulado		Neto (mm)	Total (m ³ /ha)			
Apertura del sistema		02/10/2013	-1		24.111	1.447	16.074			
Siembra		03/10/2013	0	0	13.722	0.823	9.148			
Germinación	Emergencia total de las semillas	08/10/2013	5	5	37.950	2.277	25.300	0.46	1.52	0.30
Desarrollo vegetativo y Ramificación	Dos hojas verdaderas desplegadas	13/10/2013	5	10	75.788	4.547	50.525	0.91	2.58	0.35
	Seis hojas verdaderas desplegadas	23/10/2013	10	20	180.600	10.836	120.400	1.08	2.58	0.42
	Diez hojas verdaderas desplegadas	02/11/2013	10	30	209.625	12.578	139.750	1.26	2.58	0.49
Desarrollo Reproductivo y Polinización	Desarrollo del botón floral	07/11/2013	5	35	148.363	8.902	98.908	1.78	2.86	0.62
	Desarrollo de la inflorescencia	17/11/2013	10	45	296.725	17.804	197.817	1.78	2.86	0.62
	Floración	02/12/2013	15	60	580.650	34.839	387.100	2.32	3.16	0.74
	Antesis	17/12/2013	15	75	598.425	35.906	398.950	2.39	3.16	0.76
Llenado de granos	Grano acuoso	01/01/2014	15	90	688.500	41.310	459.000	2.75	3.40	0.81
	Grano lechoso	11/01/2014	10	100	459.000	27.540	306.000	2.75	3.40	0.81
	Grano pastoso (madurez fisiológica)	21/01/2014	10	110	472.050	28.323	314.700	2.83	3.66	0.77
Cierre de sistema	Grano pastoso (grano rayable con la uña en 50% de la panoja)	05/02/2014	15	125	715.406	42.924	476.938	2.86	3.92	0.73
Cosecha	Grano en estado frágil bajo el diente ($\pm 14\%$ de humedad) en toda la panoja	07/03/2014	30	155						
TOTALES Y PROMEDIOS					4,500.914	270.055	3,000.610	2.14	3.12	0.66

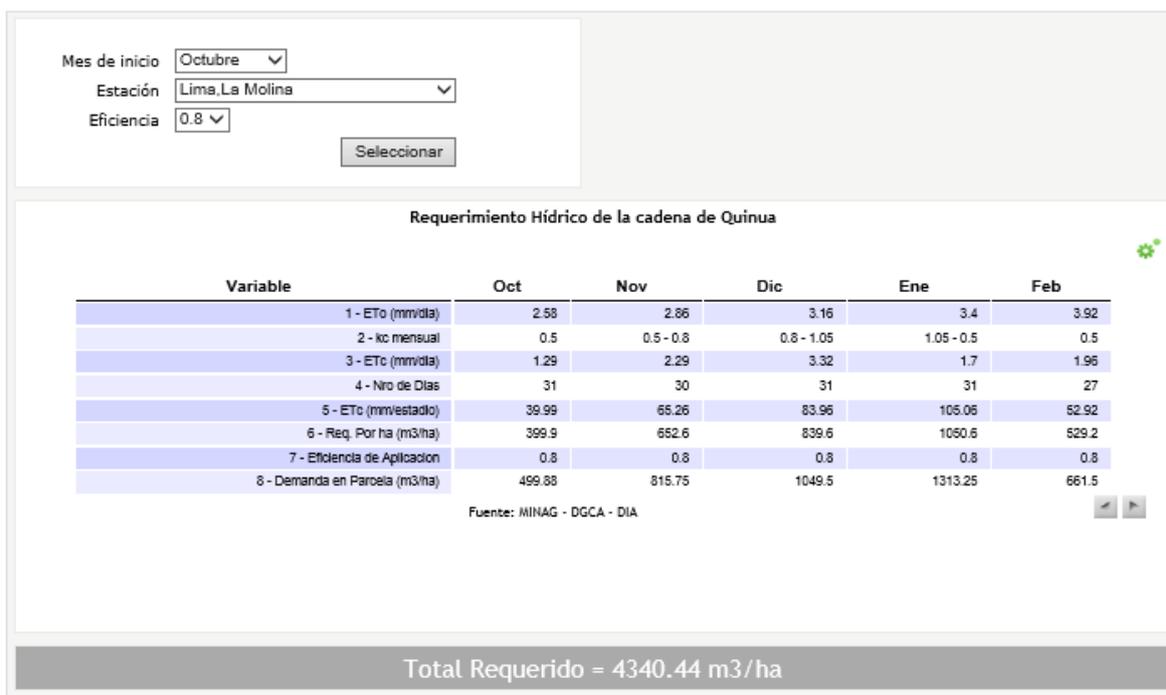
Eficiencia de riego: 90%

ANEXO 7: Estimación de la Evapotranspiración en los meses Octubre – Febrero por el Producto Tecnológico “Agro al Día”



Requerimiento Hídrico

Inicio / Cadenas / Quinua



FUENTE: MINAGRI (2013)

ANEXO 8: ANOVA de Altura de planta (a los 90 dds)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	0.020	0.007	1.57	0.292	ns
Régimen de riego	2	0.015	0.007	1.68	0.263	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	0.026	0.004	2.95	0.024	*
Variedad	3	1.308	0.436	296.82	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	0.015	0.002	1.67	0.168	ns
Error b	27	0.040	0.001			
Total	47	1.424				
C.V.	2.42%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	1.59					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

ANEXO 9: ANOVA de Altura de planta (En Cosecha)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	0.004	0.001	1.09	0.423	ns
Régimen de riego	2	0.065	0.033	29.30	0.001	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	0.007	0.001	0.55	0.763	ns
Variedad	3	2.627	0.876	435.94	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	0.028	0.005	2.36	0.058	ns
Error b	27	0.054	0.002			
Total	47	2.785				
C.V.	2.72%		<i>ns = no significativo</i>			
Promedio	1.65		<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>			
			<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>			

ANEXO 10: ANOVA de Longitud de Panoja principal (A los 90 dds)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	0.011	0.004	0.93	0.483	ns
Régimen de riego	2	0.008	0.004	1.06	0.404	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	0.024	0.004	1.02	0.431	ns
Variedad	3	0.035	0.012	3.05	0.046	*
Régimen de riego x Variedad	6	0.032	0.005	1.37	0.263	ns
Error b	27	0.104	0.004			
Total	47	0.214				
C.V.	9.40%		<i>ns = no significativo</i>			
Promedio	0.66		<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>			
			<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>			

ANEXO 11: ANOVA y Análisis de efectos simples de Longitud de Panoja principal (En la Cosecha)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	0.0068	0.0023	1.74	0.258	ns
Régimen de riego	2	0.0225	0.0113	8.64	0.017	*
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	0.0078	0.0013	1.28	0.298	ns
Variedad	3	0.1125	0.0375	36.99	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	0.0320	0.0053	5.26	0.001	**
Error b	27	0.0274	0.0010			
Total	47	0.2090				
C.V.	4.48%		<i>ns = no significativo</i>			
Promedio	0.71		<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>			
			<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>			

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	0.037	0.019	18.27	5.49	**
RS	2	0.001	0.000	0.34	5.49	ns
RP	2	0.012	0.006	5.68	3.35	*
RN	2	0.005	0.003	2.58	5.49	ns
VR1	3	0.107	0.036	35.19	4.60	**
VR2	3	0.014	0.005	4.51	2.96	*
VR3	3	0.024	0.008	7.81	4.60	**
Error	27	0.027	0.001			

ANEXO 12: ANOVA y Análisis de efectos simples de Área Foliar

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	201,865.0	67,288.0	2.78	0.132	ns
Régimen de riego	2	40,451.0	20,226.0	0.84	0.478	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	145,141.0	24,190.0	1.33	0.277	ns
Variedad	3	14,756,916.0	4,918,972.0	271.09	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	611,159.0	101,860.0	5.61	0.001	**
Error b	27	489,916.0	18,145.0			
Total	47	16,245,449.0				
C.V.	11.12%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	1211.99					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	54,522.22	27,261.11	1.50	5.49	ns
RS	2	293,025.50	146,512.75	8.07	5.49	**
RP	2	34,129.10	17,064.55	0.94	5.49	ns
RN	2	269,933.64	134,966.82	7.44	5.49	**
VR1	3	6,018,381.26	2,006,127.09	110.56	4.60	**
VR2	3	4,935,074.36	1,645,024.79	90.66	4.60	**
VR3	3	4,414,619.32	1,471,539.77	81.10	4.60	**
Error	27	489,916.00	18,145.00			

ANEXO 13: ANOVA de Número de subpanojas

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	11.15	3.72	0.78	0.545	ns
Régimen de riego	2	10.92	5.46	1.15	0.377	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	28.41	4.74	3.10	0.019	*
Variedad	3	597.84	199.28	130.44	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	9.30	1.55	1.01	0.437	ns
Error b	27	41.25	1.53			
Total	47	698.87				
C.V.	12.84%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	9.63					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

ANEXO 14: ANOVA y Análisis de efectos simples de Materia seca de panoja (A los 90 dds)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	65.49	21.83	2.53	0.154	ns
Régimen de riego	2	22.31	11.16	1.29	0.342	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	51.86	8.64	1.89	0.118	ns
Variedad	3	1,568.07	522.69	114.58	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	137.36	22.89	5.02	0.001	**
Error b	27	123.17	4.56			
Total	47	1,968.27				
C.V.	13.21%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	16.17					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	109.04	54.52	11.95	5.49	**
RS	2	29.23	14.62	3.20	5.49	ns
RP	2	4.43	2.22	0.49	5.49	ns
RN	2	16.96	8.48	1.86	5.49	ns
VR1	3	913.89	304.63	66.78	4.60	**
VR2	3	557.00	185.67	40.70	4.60	**
VR3	3	234.53	78.18	17.14	4.60	**
Error	27	123.17	4.56			

ANEXO 15: ANOVA y Análisis de efectos simples de Materia seca de panoja (En la Cosecha)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	205.50	68.50	1.09	0.423	ns
Régimen de riego	2	2,672.50	1,336.30	21.22	0.002	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	377.90	63.00	1.87	0.123	ns
Variedad	3	95,890.50	31,963.50	947.66	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	2,674.90	445.80	13.22	0.000	**
Error b	27	910.70	33.70			
Total	47	102,731.90				
C.V.	8.60%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	67.50					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	4,319.97	2,159.98	64.09	5.49	**
RS	2	963.65	481.82	14.30	5.49	**
RP	2	27.76	13.88	0.41	5.49	ns
RN	2	36.01	18.00	0.53	5.49	ns
VR1	3	44,954.25	14,984.75	444.65	4.60	**
VR2	3	32,728.68	10,909.56	323.73	4.60	**
VR3	3	20,882.39	6,960.80	206.55	4.60	**
Error	27	910.70	33.70			

ANEXO 16: ANOVA y Análisis de efectos simples de Materia seca total (A los 90 dds)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3.00	199.38	66.46	0.94	0.479	ns
Régimen de riego	2.00	470.20	235.10	3.32	0.107	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6.00	425.02	70.84	2.99	0.023	*
Variedad	3.00	9,125.24	3,041.75	128.20	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6.00	1,027.14	171.19	7.22	0.000	**
Error b	27.00	640.62	23.73			
Total	47.00	11,887.60				
C.V.	9.64%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	50.54					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	795.52	397.76	16.76	5.49	**
RS	2	138.59	69.30	2.92	5.49	ns
RP	2	219.16	109.58	4.62	5.49	ns
RN	2	344.06	172.03	7.25	5.49	**
VR1	3	6,052.30	2,017.43	85.02	4.60	**
VR2	3	2,413.50	804.50	33.90	4.60	**
VR3	3	1,686.58	562.19	23.69	4.60	**
Error	27	640.62	23.73			

ANEXO 17: ANOVA y Análisis de efectos simples de Materia seca total (En Cosecha)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	202.0	67.0	0.30	0.825	ns
Régimen de riego	2	8,693.0	4,346.0	19.35	0.002	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	1,348.0	225.0	2.04	0.095	ns
Variedad	3	198,433.0	66,144.0	599.85	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	5,426.0	904.0	8.20	0.000	**
Error b	27	2,977.0	110.0			
Total	47	217,079.0				
C.V.	9.04%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	115.99					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	9,734.69	4,867.35	44.25	5.49	**
RS	2	3,204.46	1,602.23	14.57	5.49	**
RP	2	1,121.98	560.99	5.10	5.49	ns
RN	2	57.59	28.79	0.26	5.49	ns
VR1	3	90,659.81	30,219.94	274.73	4.60	**
VR2	3	68,608.23	22,869.41	207.90	4.60	**
VR3	3	44,590.80	14,863.60	135.12	4.60	**
Error	27	2,977.00	110.00			

ANEXO 18: ANOVA y Análisis de efectos simples de Rendimiento total

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	331,244.0	110,415.0	1.16	0.401	ns
Régimen de riego	2	4,848,979.0	2,424,490.0	25.39	0.001	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	573,037.0	95,506.0	2.11	0.086	ns
Variedad	3	267,074,680.0	89,024,893.0	1,963.59	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	10,168,004.0	1,694,667.0	37.38	0.000	**
Error b	27	1,224,123.0	45,338.0			
Total	47	284,220,067.0				
C.V.	11.58%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	1838.00					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	14,780,166.2	7,390,083.1	163.00	5.49	**
RS	2	207,434.9	103,717.5	2.29	5.49	ns
RP	2	17,051.0	8,525.5	0.19	5.49	ns
RN	2	12,331.0	6,165.5	0.14	5.49	ns
VR1	3	140,239,359.5	46,746,453.2	1,031.07	4.60	**
VR2	3	82,570,317.5	27,523,439.2	607.07	4.60	**
VR3	3	54,433,006.4	18,144,335.5	400.20	4.60	**
Error	27	1,224,123.0	45,337.9			

ANEXO 19: ANOVA y Análisis de efectos simples de Peso de granos por planta

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	14.34	4.78	1.16	0.401	ns
Régimen de riego	2	209.88	104.94	25.39	0.001	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	24.80	4.13	2.11	0.086	ns
Variedad	3	11 559.67	3 853.22	1 963.59	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	440.10	73.35	37.38	0.000	**
Error b	27	52.98	1.96			
Total	47	12 301.77				
C.V.	11.58%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	12.09					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	639.7	319.9	163.19	5.49	**
RS	2	9.0	4.5	2.29	5.49	ns
RP	2	0.7	0.4	0.19	5.49	ns
RN	2	0.5	0.3	0.14	5.49	ns
VR1	3	6 069.9	2 023.3	1 032.30	4.60	**
VR2	3	3 573.9	1 191.3	607.80	4.60	**
VR3	3	2 356.0	785.3	400.68	4.60	**
Error	27	52.98	1.96			

ANEXO 20: ANOVA de Peso de 1 000 granos

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	0.026	0.009	0.45	0.724	ns
Régimen de riego	2	0.447	0.224	11.93	0.008	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	0.112	0.019	0.98	0.461	ns
Variedad	3	11.276	3.759	195.59	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	0.088	0.015	0.76	0.607	ns
Error b	27	0.519	0.019			
Total	47	12.468				
C.V.	7.63%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	1.82					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

ANEXO 21: ANOVA y Análisis de efectos simples de Número de granos por planta

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	3 474 879	1 158 293	1.72	0.261	ns
Régimen de riego	2	18 845 557	9 422 779	14.01	0.005	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	4 034 672	672 445	1.61	0.182	ns
Variedad	3	2 043 911 384	681 303 795	1 632.74	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	42 163 782	7 027 297	16.84	0.000	**
Error b	27	11 266 482	417 277			
Total	47	2 123 696 756				
C.V.	11.53%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	5603.04					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	59 920 028.78	29 960 014.39	71.80	5.49	**
RS	2	653 390.08	326 695.04	0.78	5.49	ns
RP	2	123 856.70	61 928.35	0.15	5.49	ns
RN	2	312 063.69	156 031.84	0.37	5.49	ns
VR1	3	970 401 904.41	323 467 301.47	775.19	4.60	**
VR2	3	621 753 343.54	207 251 114.51	496.68	4.60	**
VR3	3	493 919 917.82	164 639 972.61	394.56	4.60	**
Error	27	11 266 482.00	417 277.00			

ANEXO 22: ANOVA y Análisis de efectos simples de Granulometría Tamiz 10 (granos > 2 mm)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	0.03	0.01	3.06	0.113	ns
Régimen de riego	2	0.28	0.14	41.36	0.000	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	0.02	0.00	0.49	0.809	ns
Variedad	3	0.74	0.25	35.39	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	0.43	0.07	10.43	0.000	**
Error b	27	0.19	0.01			
Total	47	1.69				
C.V.	39.99%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	0.21					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	0.145	0.072	10.44	5.49	**
RS	2	0.086	0.043	6.25	5.49	**
RP	2	0.482	0.241	34.83	5.49	**
RN	2	0.002	0.001	0.14	5.49	ns
VR1	3	0.521	0.174	25.08	4.60	**
VR2	3	0.462	0.154	22.25	4.60	**
VR3	3	0.185	0.062	8.92	4.60	**
Error	27	0.187	0.007			

ANEXO 23: ANOVA y Análisis de efectos simples de Granulometría Tamiz 12 (granos < 2 - 1.7 mm)]

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	2.82	0.94	0.45	0.729	ns
Régimen de riego	2	94.51	47.25	22.45	0.002	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	12.63	2.11	1.34	0.275	ns
Variedad	3	687.14	229.05	145.54	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	64.89	10.82	6.87	0.000	**
Error b	27	42.49	1.57			
Total	47	904.47				
C.V.	19.83%		<i>ns = no significativo</i>			
Promedio	6.33		<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>			
			<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>			

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	83.96	41.98	26.67	5.49	**
RS	2	5.94	2.97	1.89	5.49	ns
RP	2	67.09	33.54	21.31	5.49	**
RN	2	2.41	1.21	0.77	5.49	ns
VR1	3	358.09	119.36	75.83	4.60	**
VR2	3	241.40	80.47	51.12	4.60	**
VR3	3	152.54	50.85	32.30	4.60	**
Error	27	42.49	1.57			

ANEXO 24: ANOVA y Análisis de efectos simples de Granulometría Tamiz 14 (granos <1.7 – 1.4 mm)]

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	34.31	11.44	0.77	0.552	ns
Régimen de riego	2	1,156.59	578.30	38.83	0.000	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	89.35	14.89	0.50	0.806	ns
Variedad	3	13,118.30	4,372.77	145.62	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	485.96	80.99	2.70	0.035	*
Error b	27	810.76	30.03			
Total	47	15,695.28				
C.V.	9.25%		<i>ns = no significativo</i>			
Promedio	59.23		<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>			
			<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>			

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	20.63	10.32	0.34	3.35	ns
RS	2	144.07	72.04	2.40	3.35	ns
RP	2	987.92	493.96	16.45	3.35	*
RN	2	489.92	244.96	8.16	3.35	*
VR1	3	3,949.05	1,316.35	43.83	2.96	*
VR2	3	4,714.51	1,571.50	52.33	2.96	*
VR3	3	4,940.69	1,646.90	54.84	2.96	*
Error	27	810.76	30.03			

ANEXO 25: ANOVA y Análisis de efectos simples de Granulometría Fondo (granos < 1.4 mm)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	83.30	27.80	2.05	0.209	ns
Régimen de riego	2	1,942.60	971.30	71.51	0.000	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	81.50	13.60	0.91	0.502	ns
Variedad	3	19,253.30	6,417.80	430.63	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	580.00	96.70	6.49	0.000	**
Error b	27	402.40	14.90			
Total	47	22,343.10				
C.V.	11.28%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	34.23					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	193.94	96.97	6.51	5.49	**
RS	2	204.05	102.02	6.85	5.49	**
RP	2	1,577.19	788.59	52.93	5.49	**
RN	2	547.40	273.70	18.37	5.49	**
VR1	3	6,073.48	2,024.49	135.87	4.60	**
VR2	3	7,064.82	2,354.94	158.05	4.60	**
VR3	3	6,695.04	2,231.68	149.78	4.60	**
Error	27	402.40	14.90			

ANEXO 26: ANOVA de Porcentaje de Proteínas

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	15.59	5.20	0.39	0.766	ns
Régimen de riego	2	11.10	5.55	0.41	0.679	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	80.50	13.42	3.52	0.011	*
Variedad	3	109.54	36.51	9.58	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	28.06	4.68	1.23	0.324	ns
Error b	27	102.95	3.81			
Total	47	347.73				
C.V.	15.49%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	12.61					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

ANEXO 27: ANOVA de Porcentaje de Saponinas

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	0.073	0.024	1.15	0.403	ns
Régimen de riego	2	0.010	0.005	0.24	0.797	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	0.128	0.021	1.30	0.289	ns
Variedad	3	18.866	6.289	384.98	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	0.045	0.007	0.46	0.833	ns
Error b	27	0.441	0.016			
Total	47	19.563				
C.V.	29.64%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	0.43					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

ANEXO 28: ANOVA de Eficiencia de Uso de Agua

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	0.019	0.006	1.24	0.375	ns
Régimen de riego	2	0.029	0.015	2.85	0.135	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	0.031	0.005	1.95	0.109	ns
Variedad	3	14.410	4.804	1,832.46	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	0.096	0.016	6.08	0.000	**
Error b	27	0.071	0.003			
Total	47	14.656				
C.V.	11.32%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	0.45					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	0.15	0.07	23.11	5.49	**
RS	2	0.00	0.00	0.26	5.49	ns
RP	2	0.00	0.00	0.20	5.49	ns
RN	2	0.00	0.00	0.19	5.49	ns
VR1	3	7.31	2.44	752.30	4.60	**
VR2	3	5.58	1.86	574.23	4.60	**
VR3	3	5.01	1.67	515.93	4.60	**
Error	27	0.09	0.00			

ANEXO 29: ANOVA de Coeficiente de transpiración

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	1,409.0	470.0	0.52	0.684	ns
Régimen de riego	2	1,082.0	541.0	0.60	0.579	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	5,420.0	903.0	1.55	0.201	ns
Variedad	3	258,147.0	86,049.0	147.47	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	15,630.0	2,605.0	4.46	0.003	**
Error b	27	15,754.0	583.0			
Total	47	297,442.0				
C.V.	10.54%		<i>ns = no significativo</i>			
Promedio	229.00		<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>			
			<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>			

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	49.19	24.59	0.04	5.49	ns
RS	2	3,755.96	1,877.98	3.22	5.49	ns
RP	2	3,842.39	1,921.20	3.30	5.49	ns
RN	2	9,064.55	4,532.27	7.77	5.49	**
VR1	3	117,575.05	39,191.68	67.22	4.60	**
VR2	3	87,375.99	29,125.33	49.96	4.60	**
VR3	3	68,825.97	22,941.99	39.35	4.60	**
Error	27	15,754.00	583.00			

ANEXO 30: ANOVA de Índice de Cosecha

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	17.11	5.70	0.54	0.670	ns
Régimen de riego	2	115.26	57.63	5.50	0.044	*
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	62.84	10.47	1.47	0.225	ns
Variedad	3	11,008.92	3,669.64	516.23	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	132.76	22.13	3.11	0.019	*
Error b	27	191.93	7.11			
Total	47	11,528.83				
C.V.	13.15%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	20.28					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	167.10	83.55	11.75	3.35	*
RS	2	28.30	14.15	1.99	3.35	ns
RP	2	35.00	17.50	2.46	3.35	ns
RN	2	17.63	8.81	1.24	3.35	ns
VR1	3	4,362.65	1,454.22	204.53	2.96	*
VR2	3	2,741.70	913.90	128.54	2.96	*
VR3	3	4,037.33	1,345.78	189.28	2.96	*
Error	27	191.93	7.11			

ANEXO 31: Peso de granos por planta a partir de las 5 muestras seleccionadas

PESO DE GRANOS (g)						
Lámina de Riego 1 (4800 m³)						
Variedades	I	II	III	IV	Promedio	Porcentaje
La Molina 89	135.14	122.06	121.43	118.97	124.40	2176.02
Inia Salcedo	36.03	26.59	24.60	25.19	28.10	491.60
Pasankalla	6.96	6.07	5.63	7.42	6.52	114.04
Negra Collana	6.58	5.43	5.66	5.20	5.72	100.00
					41.1855	
Lámina de Riego 2 (4200 m³)						
Variedades	I	II	III	IV	Promedio	Porcentaje
La Molina 89	87.24	86.04	89.93	94.21	89.36	1525.75
Inia Salcedo	26.66	18.70	18.27	16.97	20.15	344.07
Pasankalla	6.21	6.21	6.20	5.67	6.07	103.70
Negra Collana	5.22	6.26	6.24	5.71	5.86	100.00
					30.3589	
Lámina de Riego 3 (3600 m³)						
Variedades	I	II	III	IV	Promedio	Porcentaje
La Molina 89	73.33	100.78	75.66	78.22	82.00	3403.68
Inia Salcedo	18.07	13.93	14.76	16.07	15.71	651.98
Pasankalla	2.30	2.75	2.03	2.55	2.41	100.00
Negra Collana	4.07	3.69	3.76	3.70	3.81	157.95
					25.9798	

ANEXO 32: ANOVA de Índice de Área Foliar

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	0.466	0.156	2.78	0.132	ns
Régimen de riego	2	0.094	0.047	0.84	0.478	ns
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	0.335	0.056	1.33	0.277	ns
Variedad	3	34.095	11.365	271.09	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	1.412	0.235	5.61	0.001	**
Error b	27	1.132	0.042			
Total	47	37.534				
C.V.	11.11%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	1.84					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	0.13	0.06	1.50	5.49	ns
RS	2	0.68	0.34	8.08	5.49	**
RP	2	0.08	0.04	0.94	5.49	ns
RN	2	0.62	0.31	7.44	5.49	**
VR1	3	13.91	4.64	110.62	4.60	**
VR2	3	11.40	3.80	90.71	4.60	**
VR3	3	10.20	3.40	81.14	4.60	**
Error	27	1.13	0.04			

ANEXO 33: ANOVA de Índice de Rentabilidad

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	Pr > F	Significancia
Bloque	3	580.0	193.0	1.14	0.407	ns
Régimen de riego	2	7,235.0	3,617.0	21.26	0.002	**
Bloque x Régimen de riego (Error a)	6	1,021.0	170.0	1.90	0.118	ns
Variedad	3	374,983.0	124,994.0	1,393.96	0.000	**
Régimen de riego x Variedad	6	15,259.0	2,543.0	28.36	0.000	**
Error b	27	2,421.0	90.0			
Total	47	401,499.0				
C.V.	-29.93%					<i>ns = no significativo</i>
Promedio	-31.70					<i>* = significativo al 0.05 de probabilidad</i>
						<i>** = altamente significativo al 0.01 de probabilidad</i>

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F cal	F crit	Significancia
RM	2	22,174.64	11,087.32	123.19	5.49	**
RS	2	271.85	135.92	1.51	5.49	ns
RP	2	31.36	15.68	0.17	5.49	ns
RN	2	16.02	8.01	0.09	5.49	ns
VR1	3	199,855.92	66,618.64	740.21	4.60	**
VR2	3	115,175.04	38,391.68	426.57	4.60	**
VR3	3	75,210.80	25,070.27	278.56	4.60	**
Error	27	2,421.00	90.00			

ANEXO 34: Costo de Producción de Quinua *La Molina 89* – Régimen de Riego 1 (100% RRT)

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA QUINUA

Cultivo: Quinua
Variedad: La Molina 89
Periodo vegetativo: 142 días
NPK: 160-80-120
Densidad de plantas: 152,000
Nivel tecnológico: Media - Alta

Lugar: La Molina, Lima
Sistema de riego: Por Goteo (4800 m³)
Época de siembra: Octubre 2013-Marzo 2014
Rdto granos grandes (A): 1093.45 kg/ha
Rdto granos medianos (B): 5047.21 kgha
Rdto granos pequeños (C): 1202.87 kg/ha

Rdto total: 7343.53 kg/ha
Tipo de cambio \$: 3.23
Precio de venta unitario (S./kg): Grandes: 6.5
 Medianos: 5.5
 Pequeños: 4.5

RUBROS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD POR (Ha)	PRECIO UNITARIO (S./)	COSTO TOTAL (S./)	COSTO TOTAL (\$.)	PORCENTAJE (%)
I. COSTOS DIRECTOS				11 942.92	3 697.50	81.97%
INSUMOS				5 012.92	1 551.99	34.40%
Semillas				300.00	92.88	2.06%
Certificadas común	kg	10.0	30.00	300.00	92.88	2.06%
Fertilizantes-Abonos				3 453.92	1 069.33	23.71%
Nitrato de Amonio	kg	327.0	1.36	444.72	137.68	3.05%
Fosfato Monoamónico	kg	132.0	3.40	448.80	138.95	3.08%
Nitrato de Potasio cristalizado	kg	273.0	4.80	1 310.40	405.70	8.99%
Ácidos Humicos (GalaHumic 15)	l	50.0	25.00	1 250.00	387.00	8.58%
Pesticidas				1 259.00	389.78	8.64%
Ridomil Gold MZ 68 WP	kg	2.8	90.00	247.50	76.63	1.70%
Positron 69 PM	kg	4.8	80.00	380.00	117.65	2.61%
Lannate 90	kg	0.3	140.00	42.00	13.00	0.29%
Cipermex Super 10 CE	l	0.8	65.00	48.75	15.09	0.33%
Verzus	kg	0.6	45.00	24.75	7.66	0.17%
Capsialil	l	2.0	210.00	420.00	130.03	2.88%
Silwet L-77 Ag	l	0.8	95.00	76.00	23.53	0.52%
Triple A	l	0.8	25.00	20.00	6.19	0.14%
MANO DE OBRA				2 240.00	693.50	15.37%
Preparación de terreno				350.00	108.36	2.40%
Mantenimiento de Sistema de Riego	Jornal	2.0	35.00	70.00	21.67	0.48%
Nivelación del terreno	Jornal	8.0	35.00	280.00	86.69	1.92%
Siembra				140.00	43.34	0.96%
Siembra	Jornal	4.0	35.00	140.00	43.34	0.96%
Labores Culturales				1 330.00	411.76	9.13%
Riegos	Jornal	5.00	35.00	175.00	54.18	1.20%
Fertirrigación	Jornal	2.00	35.00	70.00	21.67	0.48%
Deshierbo y raleo	Jornal	15.00	35.00	525.00	162.54	3.60%
Aplicaciones fitosanitarias	Jornal	16.00	35.00	560.00	173.37	3.84%
Cosecha				420.00	130.03	2.88%
Siega	Jornal	6.00	35.00	210.00	65.02	1.44%
Traslado de Plantas	Jornal	6.00	35.00	210.00	65.02	1.44%
MECANIZACIÓN				1 320.00	408.67	9.06%
Preparación del terreno				1 050.00	325.08	7.21%
Aradura	Hora-máquina	3.00	150.00	450.00	139.32	3.09%
Cruza rastreo	Hora-máquina	3.00	120.00	360.00	111.46	2.47%
Aporque	Hora-máquina	2.00	120.00	240.00	74.30	1.65%
Cosecha				270.00	83.59	1.85%
Trilla y Venteado	Hora-máquina	4.00	50.00	200.00	61.92	1.37%
Ensayado y cocido	Hora-máquina	2.00	35.00	70.00	21.67	0.48%
OTROS GASTOS				3 370.00	1 043.34	23.13%
Sistema de riego + Instalación (10 campañas)	Unidad	0.10	6 500.00	650.00	201.24	4.46%
Alquiler de terreno	ha	1.00	2 000.00	2 000.00	619.20	13.73%
Suministro total de agua	m ³	4800.00	0.15	720.00	222.91	4.94%
II. COSTOS INDIRECTOS				2 627.44	813.45	18.03%
Costos financieros	%	7.00	11 942.92	836.00	258.82	5.74%
Gastos administrativos	%	10.00	11 942.92	1 194.29	369.75	8.20%
Imprevistos	%	5.00	11 942.92	597.15	184.87	4.10%
III. COSTO TOTAL POR HECTÁREA				14 570.36	4 510.95	100.00%
IV. ANÁLISIS ECONÓMICO						
Valor Bruto de la Producción (A x S/.6.5 + B x S/.5.5 + C x S/.4.5)				40 280.00	12 470.59	
Utilidad Neta				25 709.63	7 959.64	
Índice de Rentabilidad (%)				176.55		

ANEXO 35: Costo de Producción de Quinua *La Molina 89* – Régimen de Riego 2 (87.5% RRT)

COSTOS DE PRODUCCION DE LA QUINUA

Cultivo: Quinua
Variiedad: La Molina 89
Periodo vegetativo: 142 días
NPK: 160-80-120
Densidad de plantas: 152,000
Nivel tecnológico: Media - Alta

Lugar: La Molina, Lima
Sistema de riego: Por Goteo (4200 m³)
Época de siembra: Octubre 2013-Marzo 2014
Rdto granos grandes (A): 597.36 kg/ha
Rdto granos medianos (B): 3857.11 kgha
Rdto granos pequeños (C): 1267.39 kg/ha

Rdto total: 5721.87 kg/ha
Tipo de cambio \$: 3.23
Precio de venta unitario (\$/./kg): *Grandes: 6.5*
Medianos: 5.5
Pequeños: 4.5

RUBROS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD POR (Ha)	PRECIO UNITARIO (\$/.)	COSTO TOTAL (\$/.)	COSTO TOTAL (\$.)	PORCENTAJE (%)
I. COSTOS DIRECTOS				11 852.92	3 669.63	81.35%
INSUMOS				5 012.92	1 551.99	34.40%
Semillas				300.00	92.88	2.06%
Certificadas común	kg	10.0	30.00	300.00	92.88	2.06%
Fertilizantes-Abonos				3 453.92	1 069.33	23.71%
Nitrato de Amonio	kg	327.0	1.36	444.72	137.68	3.05%
Fosfato Monoamónico	kg	132.0	3.40	448.80	138.95	3.08%
Nitrato de Potasio cristalizado	kg	273.0	4.80	1 310.40	405.70	8.99%
Ácidos Humicos (GalaHumic 15)	l	50.0	25.00	1 250.00	387.00	8.58%
Pesticidas				1 259.00	389.78	8.64%
Ridomil Gold MZ 68 WP	kg	2.8	90.00	247.50	76.63	1.70%
Positron 69 PM	kg	4.8	80.00	380.00	117.65	2.61%
Lannate 90	kg	0.3	140.00	42.00	13.00	0.29%
Cipermex Super 10 CE	l	0.8	65.00	48.75	15.09	0.33%
Verzus	kg	0.6	45.00	24.75	7.66	0.17%
Capsialil	l	2.0	210.00	420.00	130.03	2.88%
Silwet L-77 Ag	l	0.8	95.00	76.00	23.53	0.52%
Triple A	l	0.8	25.00	20.00	6.19	0.14%
MANO DE OBRA				2 240.00	693.50	15.37%
Preparación de terreno				350.00	108.36	2.40%
Mantenimiento de Sistema de Riego	Jornal	2.0	35.00	70.00	21.67	0.48%
Nivelación del terreno	Jornal	8.0	35.00	280.00	86.69	1.92%
Siembra				140.00	43.34	0.96%
Siembra	Jornal	4.0	35.00	140.00	43.34	0.96%
Labores Culturales				1 330.00	411.76	9.13%
Riegos	Jornal	5.00	35.00	175.00	54.18	1.20%
Fertirrigación	Jornal	2.00	35.00	70.00	21.67	0.48%
Deshierbo y raleo	Jornal	15.00	35.00	525.00	162.54	3.60%
Aplicaciones fitosanitarias	Jornal	16.00	35.00	560.00	173.37	3.84%
Cosecha				420.00	130.03	2.88%
Siega	Jornal	6.00	35.00	210.00	65.02	1.44%
Traslado de Plantas	Jornal	6.00	35.00	210.00	65.02	1.44%
MECANIZACIÓN				1 320.00	408.67	9.06%
Preparación del terreno				1 050.00	325.08	7.21%
Aradura	Hora-máquina	3.00	150.00	450.00	139.32	3.09%
Cruza rastreo	Hora-máquina	3.00	120.00	360.00	111.46	2.47%
Aporque	Hora-máquina	2.00	120.00	240.00	74.30	1.65%
Cosecha				270.00	83.59	1.85%
Trilla y Venteado	Hora-máquina	4.00	50.00	200.00	61.92	1.37%
Ensacado y cocido	Hora-máquina	2.00	35.00	70.00	21.67	0.48%
OTROS GASTOS				3 280.00	1 015.48	22.51%
Sistema de riego + Instalación (10 campañas)	Unidad	0.10	6 500.00	650.00	201.24	4.46%
Alquiler de terreno	ha	1.00	2 000.00	2 000.00	619.20	13.73%
Suministro total de agua	m ³	4200.00	0.15	630.00	195.05	4.32%
II. COSTOS INDIRECTOS				2 607.64	807.32	17.90%
Costos financieros	%	7.00	11 852.92	829.70	256.87	5.69%
Gastos administrativos	%	10.00	11 852.92	1 185.29	366.96	8.13%
Imprevistos	%	5.00	11 852.92	592.65	183.48	4.07%
III. COSTO TOTAL POR HECTÁREA				14 460.56	4 476.95	99.25%
IV. ANÁLISIS ECONÓMICO						
Valor Bruto de la Producción (A x S/.6.5 + B x S/.5.5 + C x S/.4.5)				30 800.20	9 535.67	
Utilidad Neta				16 339.64	5 058.71	
Índice de Rentabilidad (%)				113.28		

ANEXO 36: Costo de Producción de Quinua La Molina 89 – Régimen de Riego 3 (75.0% RRT)

COSTOS DE PRODUCCION DE LA QUINUA

Cultivo: Quinua
Varietal: La Molina 89
Periodo vegetativo: 142 días
NPK: 160-80-120
Densidad de plantas: 152,000
Nivel tecnológico: Media - Alta

Lugar: La Molina, Lima
Sistema de riego: Por Goteo (3600 m³)
Época de siembra: Octubre 2013-Marzo 2014
Rdto granos grandes (A): 384.46 kg/ha
Rdto granos medianos (B): 3043.15 kgha
Rdto granos pequeños (C): 1215.59 kg/ha

Rdto total: 4643.2 kg/ha
Tipo de cambio \$: 3.23
Precio de venta unitario (\$./kg): *Grandes: 6.5*
Medianos: 5.5
Pequeños: 4.5

RUBROS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD POR (Ha)	PRECIO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)	COSTO TOTAL (\$.)	PORCENTAJE (%)
I. COSTOS DIRECTOS				11 762.92	3 641.77	80.73%
INSUMOS				5 012.92	1 551.99	34.40%
Semillas				300.00	92.88	2.06%
Certificadas común	kg	10.0	30.00	300.00	92.88	2.06%
Fertilizantes-Abonos				3 453.92	1 069.33	23.71%
Nitrato de Amonio	kg	327.0	1.36	444.72	137.68	3.05%
Fosfato Monoamónico	kg	132.0	3.40	448.80	138.95	3.08%
Nitrato de Potasio cristalizado	kg	273.0	4.80	1 310.40	405.70	8.99%
Ácidos Humicos (GalaHumic 15)	l	50.0	25.00	1 250.00	387.00	8.58%
Pesticidas				1 259.00	389.78	8.64%
Ridomil Gold MZ 68 WP	kg	2.8	90.00	247.50	76.63	1.70%
Positron 69 PM	kg	4.8	80.00	380.00	117.65	2.61%
Lannate 90	kg	0.3	140.00	42.00	13.00	0.29%
Cipermex Super 10 CE	l	0.8	65.00	48.75	15.09	0.33%
Verzuz	kg	0.6	45.00	24.75	7.66	0.17%
Capsialil	l	2.0	210.00	420.00	130.03	2.88%
Silwet L-77 Ag	l	0.8	95.00	76.00	23.53	0.52%
Triple A	l	0.8	25.00	20.00	6.19	0.14%
MANO DE OBRA				2 240.00	693.50	15.37%
Preparación de terreno				350.00	108.36	2.40%
Mantenimiento de Sistema de Riego	Jornal	2.0	35.00	70.00	21.67	0.48%
Nivelación del terreno	Jornal	8.0	35.00	280.00	86.69	1.92%
Siembra				140.00	43.34	0.96%
Siembra	Jornal	4.0	35.00	140.00	43.34	0.96%
Labores Culturales				1 330.00	411.76	9.13%
Riegos	Jornal	5.00	35.00	175.00	54.18	1.20%
Fertirrigación	Jornal	2.00	35.00	70.00	21.67	0.48%
Deshierbo y raleo	Jornal	15.00	35.00	525.00	162.54	3.60%
Aplicaciones fitosanitarias	Jornal	16.00	35.00	560.00	173.37	3.84%
Cosecha				420.00	130.03	2.88%
Siega	Jornal	6.00	35.00	210.00	65.02	1.44%
Traslado de Plantas	Jornal	6.00	35.00	210.00	65.02	1.44%
MECANIZACIÓN				1 320.00	408.67	9.06%
Preparación del terreno				1 050.00	325.08	7.21%
Aradura	Hora-máquina	3.00	150.00	450.00	139.32	3.09%
Cruza rastreo	Hora-máquina	3.00	120.00	360.00	111.46	2.47%
Aporque	Hora-máquina	2.00	120.00	240.00	74.30	1.65%
Cosecha				270.00	83.59	1.85%
Trilla y Venteado	Hora-máquina	4.00	50.00	200.00	61.92	1.37%
Ensayado y cocido	Hora-máquina	2.00	35.00	70.00	21.67	0.48%
OTROS GASTOS				3 190.00	987.62	21.89%
Sistema de riego + Instalación (10 campañas)	Unidad	0.10	6 500.00	650.00	201.24	4.46%
Alquiler de terreno	ha	1.00	2 000.00	2 000.00	619.20	13.73%
Suministro total de agua	m ³	3600.00	0.15	540.00	167.18	3.71%
II. COSTOS INDIRECTOS				2 607.64	807.32	17.90%
Costos financieros	%	7.00	11 852.92	829.70	256.87	5.69%
Gastos administrativos	%	10.00	11 852.92	1 185.29	366.96	8.13%
Imprevistos	%	5.00	11 852.92	592.65	183.48	4.07%
III. COSTO TOTAL POR HECTÁREA				14 370.56	4 449.09	98.63%
IV. ANÁLISIS ECONÓMICO						
Valor Bruto de la Producción (A x S/.6.5 + B x S/.5.5 + C x S/.4.5)				24 706.47	7 649.06	
Utilidad Neta				10 335.91	3 199.97	
Índice de Rentabilidad (%)				72.02		

ANEXO 37: Análisis Agroeconómico de las cuatro variedades de quinuas 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%	5 047.21	16.4%	1 202.87	7 343.53	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	1 047.27	5 607.85	14 423.96	-8 816.11	-61.32
	Pasankalla	7.9%	18.95	79.8%	190.79	12.2%	29.25	239.00	1 304.20	14 423.96	-13 119.76	-90.95
	Negra Collana	1.1%	3.63	37.6%	130.17	61.3%	212.20	346.00	1 694.43	14 423.96	-12 729.53	-88.23
R2	La Molina 89	10.4%	597.36	67.4%	3 857.11	22.2%	1 267.39	5 721.87	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	4 438.11	14 332.46	-9 894.35	-69.05
	Pasankalla	9.1%	25.84	75.7%	215.55	15.3%	43.54	284.93	1 549.44	14 332.46	-12 783.02	-89.17
	Negra Collana	0.1%	0.34	32.4%	122.97	67.5%	256.35	379.67	1 832.16	14 332.46	-12 500.30	-87.23
R3	La Molina 89	8.3%	383.99	65.5%	3 043.15	26.2%	1 215.59	4 643.20	24 703.45	14 370.56	10 332.89	72.02
	Salcedo INIA	6.7%	49.32	62.9%	461.91	30.4%	222.77	734.00	3 863.56	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	1 423.66	14 257.46	-12 833.80	-90.02

Precio de Chacra (2015)

Granos Grandes: S/. 6.50
 Granos Medianos: S/. 5.50
 Granos Pequeños: S/. 4.50