

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA



FACULTAD DE AGRONOMÍA

**RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.) BAJO TRES LÁMINAS DE
RIEGO POR GOTEO**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO**

YORDANKA BURIN DÍAZ

LIMA-PERU

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA

**“RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.) BAJO TRES LÁMINAS DE RIEGO POR
GOTEO”**

Presentado por:

YORDANKA BURIN DÍAZ

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRONOMO**

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

**Dra. Luz Gómez Pando
PRESIDENTE**

**Ing. Mg. Sc. Lorenzo Hurtado Leo
PATROCINADOR**

**Dr. Jorge Jiménez Dávalos
MIEMBRO**

**Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO**

Lima - Perú

2016

INDICE

Pág.

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Agronomía del cultivo de la quinua.....	3
2.1.1 Clasificación taxonómica.....	4
2.1.2 Distribución y ecología.....	6
2.1.3 Diversidad Genética y Variedades.....	7
2.1.4 Morfología de la quinua.....	9
2.1.5 Fisiología y fenología del cultivo de la quinua.....	11
2.1.6 Requerimientos climáticos, edáficos e hídricos del cultivo de la quinua.....	12
2.2 Relaciones hídricas en el crecimiento de las plantas.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1 MATERIALES.....	20
3.1.1 Ubicación del campo experimental.....	20
3.1.2 Características físico-químicas del suelo.....	20
3.1.3 Características del agua de riego.....	23

3.1.4	Características del clima en la zona experimental.....	25
3.1.5	Variedades de quinua en estudio.....	25
3.1.6	Fertilizantes empleados.....	28
3.1.7	Sistema de riego por goteo.....	28
3.1.8	Registro de la humedad del suelo.....	29
3.1.9	Curva característica de humedad.....	29
3.1.10	Otros materiales.....	29
3.2	MÉTODOS	30
3.2.1	Programación de láminas de riego.....	31
3.2.2	Nivel y momentos de la fertilización.....	32
3.2.3	Registro de la humedad del suelo.....	32
3.2.4	Curva característica de la humedad.....	34
3.2.5	Características del campo experimental.....	35
3.2.6	Factores en estudio.....	36
3.2.7	Diseño experimental.....	36
	Modelo estadístico.....	37
3.2.8	Evaluaciones experimentales.....	37
3.2.9	Componentes del rendimiento.....	38
3.2.10	Variables de crecimiento del cultivo.....	39
3.2.11	Parámetros agronómicos del cultivo de la quinua.....	39

Eficiencia de uso de agua (EUA) en kg/m ³	39
Evapotranspiración del cultivo (ETc) (mm/ campaña).....	40
Coeficiente de transpiración (CT) en Lt/kg.....	40
Índice de cosecha (IC) en %.....	40
Índice de área foliar (IAF).....	40
3.2.12 Características de calidad del grano de quinua.....	40
Porcentaje de proteína y humedad de grano.....	40
Contenido de saponina.....	41
3.2.13 Conducción del experimento.....	41
IV. RESULTADOS.....	45
4.1 Resultados generales, parámetros agronómicos y programación del riego en cuatro variedades de quinua.....	45
4.1.1 Resultados generales de cuatro variedades de quinua por lámina de riego.....	45
Efecto de láminas de riego.....	45
Efecto de variedades de quinua.....	46
4.1.2 Parámetros agronómicos del cultivo de quinua.....	48
Eficiencia de uso de agua.....	48
Índice de área foliar.....	48
Índice de cosecha.....	49
Coeficiente de transpiración.....	49
4.1.3 Fenología del cultivo de quinua y uso-consumo de agua de riego.....	53

4.1.4 Momentos y niveles del riego en el cultivo de quinua.....	54
4.1.5 Determinación de la humedad del suelo por lámina de riego.....	58
4.2 Variables de crecimiento del cultivo de quinua.....	60
Altura de planta.....	60
Área foliar.....	60
Diámetro de tallo.....	65
4.3 Materia seca total y componentes.....	65
Materia seca de hojas.....	65
Materia seca de tallo.....	65
Materia seca de panoja.....	66
Materia seca total.....	66
4.4 Rendimiento de grano de quinua (kg/ha).....	72
4.5 Componentes del rendimiento de quinua.....	75
Número de plantas/m ²	75
Rendimiento por panoja.....	75
Peso de 1000 granos.....	75
4.6 Características de calidad del grano.....	80
Porcentaje de proteína en los granos.....	80
Saponina en grano.....	80
V. ANÁLISIS AGRO-ECONÓMICO.....	84

VI. CONCLUSIONES.....	86
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	88
VIII. ANEXOS.....	93

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de contenido de lisina de quinua y otros granos.....	5
Tabla 2: Contenidos de aminoácidos (aa) en las proteínas de quinua, cañihua, kiwicha y trigo.....	5
Tabla 3: Requerimientos de humedad y temperatura según los grupos agroecológicos de quinua.....	8
Tabla 4: Fases del cultivo de quinua.....	13
Tabla 5: Análisis de caracterización del suelo.....	21
Tabla 6: Variables climatológicas de la zona experimental.....	22
Tabla 7: Análisis del agua de riego.....	24
Tabla 8: Programación de actividades de fertilización.....	33
Tabla 9: Programación del ensayo.....	43
Tabla10:Resultados y parámetros agronómicos de cuatro variedades de quinua bajo L1:420mm/campaña.....	50
Tabla11: Resultados y parámetros agronómicos de cuatro variedades de quinua bajo L2: 336 mm/campaña.....	51
Tabla12: Resultados y parámetros agronómicos de cuatro variedades de quinua bajo L3: 252 mm/campaña.....	52
Tabla 13: Fenología de la Quinua y requerimiento de riego para L1: ETc= 420mm.....	55

Tabla 14: Fenología de la Quinua y requerimiento de riego para L2: ETc= 336 mm.....	56
Tabla 15: Fenología de la Quinua y requerimiento de riego para L3: ETc= 252 mm.....	57
Tabla 16: Muestreo de humedad del suelo en diferentes estados fenológicos del cultivo de quinua.....	59
Tabla 17: Variables de crecimiento del cultivo de la quinua.....	61
Tabla 18: Distribución de la materia seca y sus componentes (g/planta).....	67
Tabla 19: Rendimiento de grano de quinua (14% humedad).....	73
Tabla 20: Componentes del rendimiento de la quinua.....	76
Tabla 21: Características de calidad del grano de quinua.....	81
Tabla 22: Análisis agro-económico del cultivo de la quinua.....	85

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1: Panoja de la variedad INIA 415-Pasankalla.....	25
Figura 2: Panoja de la variedad Altiplano INIA.....	26
Figura 3: Panoja de la variedad Salcedo INIA.....	27
Figura 4: Panoja de la variedad Kancolla.....	28
Figura 5: Curva característica de humedad.....	34
Figura 6: Disposición de las parcelas experimentales.....	44
Figura 7: Efecto de la lámina de riego en la altura de planta de quinua.....	62
Figura 8: Efecto de la lámina de riego en el área foliar de planta de quinua.....	63
Figura 9: Efecto de la lámina de riego en el diámetro de tallo de planta de quinua.....	64
Figura 10: Efecto de la lámina de riego en la materia seca de hojas de quinua.....	68
Figura 11: Efecto de la lámina de riego en la materia seca de tallo de quinua.....	69
Figura 12: Efecto de la lámina de riego en la materia seca de la panoja de quinua.....	70
Figura 13: Efecto de la lámina de riego en la materia seca total de quinua.....	71
Figura 14: Efecto de la lámina de riego en el rendimiento de grano de quinua..... (14% humedad)	74
Figura 15: Efecto de la lámina de riego en el número de plantas por m ² de quinua.....	77
Figura 16: Efecto de la lámina de riego en el rendimiento por panoja de quinua.....	78
Figura 17: Efecto de la lámina de riego en el peso de 1000 granos de quinua.....	79

Figura 18: Efecto de la lámina de riego en el porcentaje de proteínas en el grano de quinua.....	82
Figura 19: Efecto de la lámina de riego en el promedio de saponinas del grano de quinua.....	83

ANEXOS

Anexo 1: Altura de planta (cm.)	93
Anexo 2: Área foliar (cm ² /planta).....	94
Anexo 3: Diámetro de tallo (cm.)	95
Anexo 4: Materia seca de hojas (g)	96
Anexo 5: Materia seca de tallo (g).....	97
Anexo 6: Materia seca de panoja (g)	98
Anexo 7: Materia seca de total (g).....	99
Anexo 8: Rendimiento grano de quinua (14% hum) (kg/ha).....	100
Anexo 9: Número de plantas /m ²	101
Anexo 10: Rendimiento por panoja (g)	102
Anexo 11: Peso de 1000 granos (g).....	103
Anexo 12: Proteínas (%).....	104
Anexo 13: Saponinas (cm).....	105
Anexo 14: Eficiencia de uso de agua.....	106
Anexo 15: Índice de cosecha	107
Anexo 16: Índice de área foliar.....	108
Anexo 17: Coeficiente de transpiración.....	109
Anexo 18: Costos de producción del cultivo de quinua	110

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Unidad de Riegos del Departamento Académico de Suelos de la Universidad Agraria la Molina durante los meses de setiembre del 2014 a febrero del 2015.

Se estudió el efecto 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 diseño estadístico fue parcelas divididas. Las láminas de riego en estudio fueron dispuestas aleatoriamente en parcelas dentro de cada block y las cuatro variedades de quinua, dispuestas aleatoriamente a nivel de sub parcelas dentro de cada parcela completa.

Bajo las condiciones del presente ensayo en el cultivo de quinua, el rendimiento de grano presenta diferencias estadísticas por efecto del diferenciado régimen de riego en las cuatro variedades en estudio. El mayor rendimiento se presenta a nivel de la lámina de riego L1: 420 mm, similar a la lámina L2: 336 mm con la variedad ALTIPLANO, con rendimientos de 2,857 kg/ha y 2,659 kg/ha de grano-quinua respectivamente. Para láminas de riego, el mayor rendimiento de quinua caracteriza a L1: 420 mm con una media de 1,539 kg/ha de grano-quinua, mostrando incrementos porcentuales del 4.5% respecto de L2:336 mm y de 30.9% de L3: 252 mm. Para variedades de quinua, el mayor rendimiento comercial caracteriza a ALTIPLANO, con 2,532 kg/ha de quinua-grano, con diferencias porcentuales de 73.6% respecto de SALCEDO-INIA, de 107.3% respecto de KANCOLLA y de 579.6% respecto de 415-PASANKALLA, que presenta el menor rendimiento con 372 kg/ha quinua-grano.

De otro lado, la respuesta en la calidad del grano indica que el porcentaje de proteínas del grano para L1:420 mm es 12.5%, para L2:336 mm de 12.2% y para L3: 252 mm de 11.6%. Para variedades, 415-PASANKALLA presenta 10.9%, ALTIPLANO 13.5%, SALCEDO-INIA 12.7% y KANCOLLA 11.8%. Para saponinas en el grano, L1: 420 mm presenta una media de 67.1%, L2:336 mm de 68.7 y L3: 252 mm de 62.8%. Para

variedades de quinua, INIA 415-PASANKALLA presenta una media de 5.7%, ALTIPLANO de 105.1%, SALCEDO-INIA de 98.7% y KANCOLLA de 55%.

El efecto en las variables de crecimiento indica que en altura de planta las diferencias estadísticas se presentan para láminas de riego y para variedades de quinua, así ALTIPLANO con 155.2 cm, supera a 415-PASANKALLA en 5.4%, a SALCEDO-INIA en 12.1% y a KANCOLLA en 24.1%. La variable área foliar en general no presenta diferencias para los factores en estudio, pero para diámetro de tallo, el mayor valor caracteriza a L1:420 mm con 1.31 cm, similar con L2: 336 mm, pero con incrementos del 18.9% respecto de L3:252 mm. En general, la materia seca y sus componentes presentan diferencias estadísticas para ambos factores. La materia seca total y la materia seca de panoja presentan la misma tendencia. Los mayores valores se presentan en L1: 420 mm, con 86.5 g/planta y 60.08 g/planta respectivamente, con incrementos del 87.3% y 93.3% respecto de L3:252 mm.

Bajo las condiciones del ensayo, los parámetros agronómicos que caracterizan al cultivo de quinua indican una eficiencia de uso de agua (EUA) de 0.43 kg/m³, un índice de cosecha (IC) de 16.8 %, un índice de área foliar de 0.69 m²/m² y un coeficiente de transpiración (CT) de 446 l/kg. Para variedades 415-PASANKALLA presenta el menor índice de cosecha con 4.7% y la menor eficiencia de uso de agua (EUA) con 0.12 kg/m³, en cambio, ALTIPLANO el mayor IC con 30.2% y la mayor EUA con 0.76 kg/m³.

Bajo las condiciones del régimen de riego de L1: ET_c = 420 mm/campaña, se aplicaron 4,670 m³/ha en 82 riegos por campaña y con un intervalo medio entre riegos de 2.3 días, asimismo, durante el ciclo vegetativo del cultivo de quinua, el muestreo periódico de la humedad del suelo mostró valores de la humedad (% en volumen) de 27.7%, siendo la succión mátrica promedio durante el ciclo vegetativo del cultivo de 0.31 bar. Para las condiciones del régimen L2: ET_c = 336 mm/campaña, se aplicaron 3,737 m³/ha en 69 riegos, con un intervalo medio de 2.7 días, asimismo, el muestreo de la humedad reportó medias durante el ciclo del cultivo de 23.1% humedad, siendo la succión mátrica de 0.95 bar. Finalmente, en las condiciones del régimen de riego L3: ET_c = 252 mm/campaña, se aplicaron 2,804 m³/ha en 51 riegos por campaña siendo el intervalo medio de 3.3 días entre riegos y la humedad volumétrica media fue 21.7%, la succión mátrica media de 1.86 bars.

Finalmente, el mayor índice de rentabilidad se presenta con la variedad ALTIPLANO bajo las condiciones de la lámina L1: $ET_c = 420$ mm, con un índice de rentabilidad (IR) de 337% y 18,913 soles de utilidad neta y el menor IR se presenta con la variedad INIA 415-PASANKALLA con un índice de rentabilidad negativo de -42.6 %, sin mostrar diferencias entre láminas de riego.

I. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) es un cultivo ancestral que se ha desarrollado en la región de la sierra de nuestro país desde culturas preincas hasta las actuales comunidades afincadas en la zona andina. Es una planta de desarrollo anual, dicotiledónea, que usualmente alcanza una altura de 1 a 3 m.

La FAO ha catalogado a la quinua como uno de los alimentos con mayor importancia a nivel mundial, además de ser una fuente de solución a los graves problemas de la desnutrición humana, por su excepcional balance de proteínas, grasas, aceite, almidón y contener un alto grado de aminoácidos, como la lisina, metionina y cistina; esenciales para el desarrollo humano.

La quinua tiene amplio uso medicinal y gran potencial industrial con valor agregado, es un recurso vegetal potencial por su gran adaptabilidad tanto de latitud como de altitud; encontrándose desde el sur de Perú (Tacna) hasta Piura en el norte y desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm (**Mujica, 1993**). Este cultivo también se ha difundido a Norteamérica, Europa, la región de los Himalayas, Sudeste Asiático, África, en países que están interesados en seleccionar variedades de quinua promisorias para sus condiciones ambientales particulares (**Mujica et al., 2001**).

Actualmente, el mercado internacional demanda volúmenes significativos de este alimento y su amplia variabilidad genética le permite adaptarse a diversos ambientes ecológicos como valles interandinos y zonas costeras con diferentes condiciones de humedad relativa, temperatura y altitud; haciendo que su cultivo se extienda a valles de la costa. Es necesario determinar variedades con mayor adaptación y mayor potencial de producción, determinar épocas de siembra favorables y emplear sistemas eficientes de irrigación como el sistema RLAF (riego localizado de alta frecuencia), en las zonas de expansión agrícola, caracterizadas por presentar suelos pobres de textura gruesa, salinos y donde es escaso y caro el recurso hídrico.

Hace falta una mayor promoción al consumo de este gran alimento, mejorando su presentación y también un incremento de su rentabilidad al ofertarlo en el mercado externo ya sea como grano o con valor agregado.

OBJETIVOS:

1. Determinar el efecto de tres láminas de riego por goteo, en el crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*)
2. Determinar los efectos de interacción entre el diferenciado régimen de riego en el rendimiento de cuatro variedades de quinua bajo condiciones de primavera-verano en costa central.
3. Determinar los parámetros agronómicos del cultivo de quinua bajo riego por goteo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Agronomía del cultivo de la quinua

Existen evidencias que la quinua, junto con el maíz, la papa, otras tuberosas y raíces fueron los alimentos principales de los pobladores del Perú antes de la conquista española. Con la introducción de cultivos como los cereales (trigo, cebada, avena) y leguminosas (arvejas, habas) y otros, la superficie cultivada de la quinua se redujo notablemente. Sin embargo, en esta última década se observa un incremento de la superficie y el rendimiento, principalmente debido a la revaloración de la quinua y su demanda creciente de exportación. Aproximadamente el 80% de la superficie cultivada se encuentra localizada en Puno, habiéndose reducido la superficie en forma significativa en las regiones de la Sierra Central y Norte, por consiguiente la producción de este grano.

El valor nutritivo de la quinua es excepcional debido a que tiene un excelente balance de carbohidratos, grasas y proteínas para la alimentación humana. La cantidad de proteínas y la calidad son especialmente importantes. El contenido de proteína de los granos de quinua varía entre 14-22%, siendo significativamente mayor que la de cereales. Sin embargo, la ventaja nutricional más importante de la quinua es la composición de aminoácidos esenciales, los cuales están muy cerca de los recomendados por la FAO/OMS/UNU para todos los grupos de edad.

Respecto al contenido de lisina (Tabla 1) se puede observar que los granos de quinua presentan un alto contenido de este aminoácido esencial, incluso mayor que en la leche y a soya. La lisina es uno de los aminoácidos más escasos en los alimentos de origen vegetal y su proporción en la quinua casi duplica la contenida en los cereales. En la tabla 2, se aprecia el contenido de aminoácidos presentes en la quinua, kiwicha, cañihua y trigo. Además se han resaltado los cuatro aminoácidos que son más limitantes en las dietas mixtas: Lisina, Azufrados (Metionina + Cisteína), Treonina y Triptófano.

El cultivo de la quinua se constituye en una alternativa para que los países que tienen limitaciones en la producción de alimentos, y por lo tanto se ven obligados a importarlos o recibir ayuda alimentaria, puedan producir su propio alimento. Es un

cultivo con alto potencial para contribuir a la seguridad alimentaria, especialmente de aquellos países donde la población no tiene acceso a fuentes de proteína o donde las condiciones de producción son limitadas por la escasa humedad, la baja disponibilidad de insumos y la aridez.

Las saponinas le confieren el sabor amargo a los granos de la quinua. Son compuestos químicos del tipo esterol o triterpenoide que forman espuma al ser lavados con agua. La toxicidad de las saponinas depende del tipo de saponina, el organismo receptor y su sensibilidad, y el modo de absorción. Los niveles de saponinas son variables encontrándose desde quinuas dulces hasta quinuas muy amargas. Las quinuas deben ser desamargadas antes de ser consumidas mediante el lavado o pulido vigoroso, prácticas que no tienen efecto significativo en la composición final del grano. En algunas zonas de producción los agricultores desamargan la quinua sometiendo el grano al calor y luego la lavan. Este proceso de tostado con calor seco es utilizado por algunas empresas para eliminar la cáscara que contiene saponinas (Tapia, 1997). Después del tostado los granos de la quinua adquieren una coloración marrón que es producto de la presencia de azúcares reductores que producen una reacción de Maillard.

2.1.1 Clasificación taxonómica

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Caryophyllidae
Orden	: Caryophyllales
Familia	: Amaranthaceae
Subfamilia	: Chenopodioideae
Género	: Chenopodium
Especie	: <i>Chenopodium quinoa</i> Willdenow

Tabla 1: Comparación de contenido de lisina en la leche, quinua y otros granos.

Alimento	Lisina g/100g de alimento	Índice Quinua= 100%	N° de veces mayor Lisina en la quinua
Quinua	1.24	100.0%	-----
Soya	0.90	72.0%	1.4
Maíz opaco 2	0.54	40.0%	2.5
Maíz común	0.25	20.0%	5.0
Trigo	0.06	4.8%	20.6
Leche	0.09	7.2%	14.0

FUENTE: Montenegro (1976), citado por Tapia (1979).

Tabla 2: Contenido de aminoácidos (aa) en las proteínas de quinua, cañihua, kiwicha y trigo.

Aminoácidos (aa)	Patrón de aminoácidos (Requerimientos de aaFAO)	Contenido de aminoácidos (mg/g proteínas)			
		Quinua	Cañihua	Kiwicha	Trigo
	mg/g de proteínas				
Isoleucina	28	69	64	52	-
Leucina	66	67	58	46	-
Lisina	58	68	59	67	29
Metionina+Cistina	25	33	16	35	15
Fenilalanina+Tirosina	63	40	35	63	-
Treonina	34	45	47	51	29
Triptófano	11	13	8	11	11
Valina	35	35	45	45	-
Histidina	19	30	-	22	-

FUENTE: Tapia (1997), Cultivos Andinos Subexplotados (pg 150-151)

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) ha sido descrita por primera vez en sus aspectos botánicos por Willdenow en 1778, como una especie nativa de Sudamérica. El cultivo de quinua en los Andes de Perú y Bolivia es muy antiguo y de allí fue llevado hacia el norte hasta Colombia y hacia el sur de Chile (**Bukasov**; citado por **Tapia 1979**). Los Andes de Perú y Bolivia son el centro de origen (**Cárdenas, 1969**; citado por **Tapia 1979**). De acuerdo a una clasificación botánica efectuada por Gandarillas (1968) en un material colectado en el Ecuador, Perú y Bolivia, la mayor variación de quinuas cultivadas se encuentran alrededor del lago Titicaca, entre Cusco (Perú) y el lago Poopó en Bolivia (**Tapia, 1979**).

Desde el punto de vista de su variabilidad genética puede considerarse como una especie oligocéntrica, con centro de origen de amplia distribución y diversificación múltiple, siendo la región andina y dentro de ella, las orillas del Lago Titicaca, las que muestran mayor diversidad y variación genética (**Mujica et al., 2001**).

2.1.2 Distribución y ecología

El cultivo de quinua muestra la mayor distribución de formas, diversidad de genotipos y de progenitores silvestres, en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia, encontrándose la mayor diversidad entre Potosí (Bolivia) y Sicuani (Cusco-Perú). Su área de dispersión geográfica es bastante amplia, entre el sur del Nudo de Pasco y el altiplano boliviano, allí se encuentra la mayor diversidad de ecotipos tanto cultivados técnicamente como en estado silvestre (**Gandarillas 1977**); citado por **Tapia en 1979**. El factor más importante para el cultivo de la quinua es la temperatura mínima. Normalmente se cultiva entre los 3000 y 4000 msnm, esto indica que el riesgo de heladas nocturnas está presente durante su periodo de crecimiento (**Tapia, 1979**).

En el Perú, de acuerdo a la forma de cultivo, ubicación geográfica y destino de la producción, pueden diferenciarse cinco tipos de quinuas. La quinua es un cultivo con diferentes requerimientos de Humedad y Temperatura. Estos dependen según el grupo de quinuas al que pertenece. Se muestran en la tabla 3.

2.1.3 Diversidad genética y variedades

Tanto **Mujica (1993)**, como **Tapia (1997)**, reconocen 5 grupos básicos.

Quinuas del valle

Crece en los valles comprendidos entre los 2000 y 3000 msnm; estas quinuas son de gran tamaño y tienen un largo periodo de crecimiento (**Mujica, 1993**). Algunas variedades alcanzan gran desarrollo vegetativo (hasta 3.5 m de longitud), tal como las observadas en Urubamba (Perú) y Cochabamba en Bolivia, dentro de este grupo de quinuas tenemos entre otras a las siguientes variedades: “Rosada de Junín”, “Nariño”, “Amarilla de Marangani”, “Dulce de Quitopampa”, además tenemos a las variedades “Hualhuas”, “Huancayo”, “Mantaro” que son del tipo Valle/cruce (**Tapia, 1997**).

Quinuas subtropicales o de las Yungas (Bolivia)

Varietal encontrada en los valles interandinos de Bolivia. La planta tiene una coloración verde oscura a la floración y en la madurez se torna naranja, además tienen pequeñas semillas blancas o amarillas (**Mujica, 1993**). Su adaptación a climas subtropicales les permite adecuarse a niveles más altos de precipitación y calor (**Tapia, 1997**).

Quinuas del Altiplano

Según **Mujica (1993)**, estas quinuas se hallan alrededor del lago Titicaca y son resistentes a las heladas, las plantas son de porte bajo, carecen de ramas y tienen un corto periodo de crecimiento. Según **Tapia (1997)**, este grupo de quinuas también se halla en las pampas altas. La línea Avanzada 5, actualmente variedad La Molina 89, fue seleccionada a partir de un material colectado en el altiplano (Timaná, 1992). Entre las principales variedades, **Tapia (1997)**, menciona las siguientes: “Blanca de Juli”, “Kancolla”, es la más difundida en Puno según reporte de (**Mujica, 1993**).

Quinuas de los Salares o de terrenos salinos

Crece en llanuras del altiplano Boliviano, soportan terrenos salinos y alcalinos, tiene semillas amargas con un alto contenido proteico (**Mujica, 1993**). Según **Tapia (1997)**, están adaptadas a condiciones xerofitas extremas, además señala las siguientes variedades: Kellu, Michka, Real Blanca, etc.

Tabla 3: Requerimientos de humedad y temperatura según los grupos agroecológicos de quinuas

Grupo agroecológico	Precipitación (mm)	Temperatura mín.
Valle	700-1500	3°C
Altiplano	400-800	0°C
Salares	250-1500	-1°C
Nivel del Mar	800-1500	5°C
Yungas (Subtropicales)	1000-2000	7°C

FUENTE: *Tapia (1997)*.

Quinuas del Nivel del Mar

Estas variedades son encontradas al sur de Chile, son plantas de tamaño mediano, generalmente sin ramas, con semillas de color amarillo y amargas (**Mujica, 1993**). Estas quinuas están más adaptadas a climas húmedos y con temperaturas más regulares y sobre todo a latitudes más allá de los 30° LS; las variedades: "Baer", "Litu" y "Pichaman" pertenecen a este grupo (**Tapia, 1997**).

En Perú se obtuvieron las siguientes variedades: Amarilla Maranganí, Kancolla, Blanca de Juli, Cheweca, Witulla, Salcedo-INIA, Iplla-INIA, Quillahuaman-INIA, Camacani I, Camacani II, Huariponcho, Chullpi, Roja de Coporaque, Ayacuchana-INIA, Huancayo, Hualhuas, Mantaro, Huacataz, Huacariz, Rosada de Yanamango, Namora, Tahuaco,

Yocará, Wilacayuni, Pacus, Rosada de Junín, Blanca de Junín, Acostambo y Blanca Ayacuchana (**Mujica,1993**).

2.1.4 Morfología de la quinua

La quinua es una planta anual, con un periodo vegetativo que según la variedad está entre 90 a 240 días, presentan un tamaño muy variable, puede medir des 1 m. hasta los 3.5 m. de altura, según los ecotipos, las razas y el medio ecológico donde se cultive, el color de la planta también es variable, desde verde hasta el rojo pasando por el púrpura, con todas la gamas (**Tapia, 1997**).

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

El tallo es cilíndrico con la epidermis cutinizada y de coloración variable, desde el verde al rojo (**Mujica, 1993**). El tallo puede ser ramificado en las razas cultivadas en los valles interandinos, en cambio se pueden encontrar plantas con un solo tallo principal y ramas laterales muy cortas en los ecotipos del altiplano (**Mujica, 1993 y Tapia, 1997**).

Las hojas presentan polimorfismo marcado siendo las hojas inferiores rómbicas, deltoides o triangulares; el tamaño de las hojas va disminuyendo conforme se asciende en la planta, hasta alcanzar a las hojas que sobresalen de la inflorescencia que son lineales o lanceoladas (**Mujica, 1993**). Son dentadas en el borde pudiendo tener hasta 43 dientes. Contienen además gránulos en su superficie dándoles la apariencia de estar cubiertas de arenilla, 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, 1980; Rojas, 2003**).

La inflorescencia es una panoja típica que está constituida por un eje central, ejes secundarios, terciarios y pedicelos que sostienen a los glomérulos y según su forma se denominan: glomerulada, amarantiforme e intermedia **(Mujica, 1993)**. Las glomeruladas tienen un eje principal del cual nacen los ejes secundarios y de estos los ejes glomerulares de donde emergen los glomérulos de forma esférica. Las amarantiformes tienen un eje principal de los que nacen los ejes secundarios y de estos emergen los glomérulos de forma rectangular asemejando a dedos. Las ramificaciones de la inflorescencia varían en longitud y de acuerdo a ello y a la longitud de los pedicelos que sostienen las flores; las panojas pueden ser laxas, intermedias o compactas. Las panojas pueden medir de 15 a 70 cm y rendir individualmente hasta 220 g **(Tapia, 1997)**; se han reportado rendimientos de hasta 500 g **(Mujica et al., 2001)**.

Las flores son incompletas, sésiles (sin pedicelo) **(Mujica, 1993)**, y presentan un perigonio sepaloide de 5 partes **(Tapia, 1979)**, pueden ser hermafroditas, pistiladas (femeninas) o androestériles, con lo cual indica que pueden tener hábito autógamo y alógamo **(Mujica, 1993)**. Las flores permanecen abiertas por un período que varía de 5 a 7 días, y como no se abren simultáneamente, se determinó que el tiempo de duración de la floración está entre 12 a 15 días **(Nelson, 1999; Mujica, 1993; Lescano, 1994)**.

El fruto es un aquenio, constituido por la semilla y el perigonio, este último, envuelve a la semilla por completo y se desprende con facilidad a la madurez y en algunos casos puede permanecer adherido al grano; el fruto es indehisciente en la mayoría de los genotipos cultivados (domesticados), en tanto en los silvestres deja caer la semilla a la madurez; la semilla viene a ser el fruto maduro sin el perigonio y presenta tres partes bien definidas que son: episperma, embrión y perisperma; el episperma está constituido por cuatro capas: la principal es la capa externa, de superficie rugosa, quebradiza, la cual se desprende fácilmente al frotarla, en ella se ubica la saponina que le da el sabor amargo al grano; el embrión formado por dos cotiledones y la radícula, constituye el 30% del volumen total de la semilla y envuelve el perisperma como un anillo; en el embrión se encuentra la mayor cantidad de proteína que alcanza del 35-40%, mientras que en el perisperma solo del 6.3 al 8.3% de la proteína total del

grano; el perisperma es el principal tejido de almacenamiento y está constituido principalmente por granos de almidón (**Mujica et al., 2001**).

Desde el punto de vista comercial se desea que la semilla sea de tamaño grande de color blanco uniforme, libre de ayaras (semillas de color negro), libre de saponinas e impurezas de origen orgánico y mineral, la semilla no debe ser manchada ni amarillenta (**Mujica et al., 2001**).

2.1.5 Fisiología y fenología del cultivo de la quinua

Según **Gómez (2003)**, la quinua es una planta C_3 es decir anatómicamente se halla dentro del grupo de plantas que solamente pueden aprovechar el 30% del CO_2 del aire, comparado con plantas C_4 , que fijan 80-100% del CO_2 del aire y necesitan 2 a 3 veces más agua que las plantas tipo C_4 para producir la misma cantidad de masa vegetal. Sin embargo añade que la quinua demuestra gran resistencia a condiciones de sequía extrema gracias a dos comportamientos fisiológicos. El primero se basa en el potencial foliar mínimo ($P_f \text{ min}$), que viene a ser la fuerza con que la planta extrae el agua del suelo y también la fuerza con que retiene esta agua en sus tejidos. El segundo es la resistencia estomática (RE), que es el mecanismo por el cual las plantas cierran sus estomas en condiciones de sequía, esto, para evitar una transpiración excesiva. Con una transpiración limitada, la fuerza para extraer agua del suelo y de fotosintetizar, disminuye. La quinua no cierra sus estomas en condiciones de sequía, sino que sigue transpirando y produciendo biomasa. Finalmente señala que con estos dos comportamientos, ($P_f \text{ min}$ alto y RE bajo), la quinua se comporta como una planta de desierto: constante transpiración, extracción del agua y producción de biomasa a pesar del déficit hídrico.

Respecto a la resistencia de la quinua a las sequías, **Mujica y Jacobsen (2001)**, señalan que la quinua es una planta resistente a la sequía ya que además de sobrevivir bajo condiciones de escasa humedad (falta de precipitaciones pluviales), es capaz de producir semillas y materia verde para el consumo humano y animal que sean económicamente aceptables y rentables. Esto se debe a una serie de modificaciones y mecanismos que pueden ser morfológicos (menor tamaño de planta), fisiológicos (cierre estomático temprano), anatómicos (menor número y tamaño de estomas, ubicación de estomas en el envés de las hojas), fenológicos (reducción del

periodo de floración) y bioquímicos (mayor síntesis de prolina), que le permiten contrarrestar los factores adversos, en este caso la sequía, y así mantener sus funciones vitales y acumular fotosintatos en las semillas, sus órganos de reserva.

Respecto a la germinación, **Jacobsen (1997)**, citado por **Echegaray (2003)**, realizó ensayos con semillas de quinua en EE.UU. encontrando que no germinan en condiciones muy calientes sosteniendo que requieren de un periodo de frío (vernalización) para tener una adecuada germinación. Las semillas de quinua germinan hasta con 56 mmhos/cm de concentración salina (**Izquierdo et al., 2001**).

El ciclo vegetativo de la quinua es de 5 a 8 meses, afirma también que el ciclo de vida se alarga con la altitud del piso ecológico y con temperaturas bajas (**Gómez, 2003**). Se ha determinado las siguientes 12 fases fenológicas para las condiciones y variedades de Puno (**Canahua et al., 2001**). Las fases se muestran en la tabla 4.

2.1.6 Requerimientos climáticos, edáficos e hídricos para el cultivo de la quinua

Crece desde el nivel del mar de Perú (El Chira en Piura y Camaná en Arequipa) hasta los 4000 msnm (Puno) en los Andes del sur, pero generalmente crece entre los 2500 y 4000 m de altura (**Mujica, 1993**). Las quinuas sembradas al nivel del mar disminuyen su periodo vegetativo y además presentan mayor potencial productivo (**Mujica et al., 2001**). La etapa de floración es muy sensible a las heladas, pudiendo resistir solo hasta -1°C (**Lescano, 1994**). Una temperatura media anual de 10 a 18°C y oscilación térmica de 5 a 7 °C son los más adecuados para el cultivo, la planta tolera más de 35°C pero no prospera adecuadamente (**Mujica, 1993**). Temperaturas por encima de los 38 °C producen aborto de flores, muerte de estigmas y estambres; imposibilitando la formación de polen y por lo tanto la formación de granos (**Canahua et al., 2001**).

La quinua crece con precipitaciones desde 200 hasta 2600 mm anuales (**Mujica et al., 2001**), pero en general prospera con 250 a 500 mm anuales en promedio (**Canahua et al., 2001**). En general, la quinua crece bien con una buena distribución de lluvia durante su crecimiento y desarrollo; en tanto que durante la maduración y cosecha requiere condiciones de sequedad (**Mujica, 1993**). La quinua es susceptible al exceso de humedad en sus primeros estadios y que con tan sólo 4 a 5 días de exceso de humedad se afectará su desarrollo (**Tapia, 1997**). Soporta radiaciones extremas en

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

El fotoperiodo es la duración de las horas de luz. La quinua por su amplia variabilidad genética y gran plasticidad, presenta genotipos de días cortos, de días largos e incluso indiferentes al fotoperiodo. Desde requerimientos de día cortos para su florecimiento, cerca del ecuador, hasta la insensibilidad a las condiciones de luz para su desarrollo en Chile (**Mujica, 1993**).

Tabla 4: Fases del cultivo de quinua

1. Emergencia	A los 7 a 10 días después de la siembra (dds).
2. Estado de dos hojas verdaderas	15 a 20 dds.
3. Estado de cuatro hojas verdaderas	25 a 30 dds.
4. Estado de seis hojas verdaderas	35 a 45 dds.
5. Ramificación	45 a 50 dds.
6. Inicio de panojamiento	55 a 60 dds.
7. Panojamiento	65 a 70 dds.
8. Inicio de floración	75 a 80 dds.
9. Floración o antesis	90 a 100 dds.
10. Grano lechoso	100 a 130 dds.
11. Grano pastoso	130 a 160 dds.
12. Madurez fisiológica	160 a 180 dds.

Los cultivares originarios de los valles andinos, presentan una mayor sensibilidad al fotoperiodo y una fase vegetativa más larga, en cambio los cultivares del altiplano de Perú y Bolivia, y los del nivel del mar de Chile, son menos sensibles al fotoperiodo y tienen una fase vegetativa más corta (**Jacobsen y Risi 2001**). La respuesta de la

quinua al fotoperiodo es fuertemente afectada por la temperatura **(Berteroet al., 1999a, citado por Jacobsen y Risi 2001)**.

De otro lado, la quinua prefiere los suelos francos con buen drenaje, semiprofundos, ricos en nutrientes especialmente nitrógeno, tolera bien los suelos salinos **(Tapia, 1997)**. Se han observado producciones aceptables en suelos arenosos y con déficit de humedad **(Mujica, 1993)**. La quinua puede crecer en una amplia variedad textural de suelos cuyo pH varía de 4.5 hasta 9, además las semillas germinan hasta con 56 mmhos/cm de concentración salina **(Mujica et al., 2001)**.

El pH del suelo debe ser neutro o ligeramente alcalino, aunque algunas variedades procedentes de suelos fuertemente alcalinos de hasta 9 de pH, en los salares de Bolivia y de Perú dan buenas producciones, demostrando así su carácter halófito; asimismo se han encontrado quinuas que prosperan en suelos de pH ácido (pH 4.5) en Michiquillay-Cajamarca **(Canahua et al., 2001 y Tapia, 1997)**.

La salinidad un factor limitante de la producción de la quinua, la cual causa disminución de la producción debido a una reducción del área foliar, como consecuencia de la inhibición de la división y crecimiento celular, disminución del crecimiento de los tejidos, raíces, tallos, y hojas; finalmente ocasiona muerte de la planta, por imposibilidad de absorción del agua, perjudicando la nutrición y metabolismo de la misma, y por intoxicación; la salinidad causa imposibilidad de cultivar algunos genotipos en muchas zonas áridas y semiáridas ya existentes, sin embargo el problema de salinización secundaria es más seria, puesto que en el mundo va aumentando a una tasa de 400 km² por año, debido al mal manejo del agua y el suelo **(Flowers et al., 1997 citados por Izquierdo et al., 2001)**.

En general, la quinua prospera con 250 a 500 mm de precipitaciones anuales en promedio. En riego por goteo no existe un volumen estándar para el cultivo de quinua, dado que esto varía de acuerdo a las características edafo-climáticas de la zona de cultivo, el criterio principal para satisfacer sus requerimientos sería el de reponer la evapotranspiración del cultivo (ETc). El déficit de riego se produce cuando la transpiración de agua supera a la absorción. Los déficits hídricos afectan los procesos vitales de las plantas y su efecto final es el de alterar el crecimiento y disminuir la producción, como consecuencia de la reducción del tamaño de las células que da lugar a menor desarrollo de las hojas y por tanto una menor superficie fotosintética.

Asimismo, plantas sometidas a estas condiciones envejecen más pronto por la producción de ácido absísico. Para el rendimiento de semilla de los cultivos, la duración del estrés hídrico es tan importante como el grado del mismo (**Pizarro, 1996; Kamisato, 2004; Martín de Santa Olalla et al., 2005**). Todos los cultivos tienen un periodo crítico en el cual los efectos del déficit hídrico son más pronunciados y tienen efectos negativos en el rendimiento final del cultivo. En general, floración, cuajado y los primeros estados de crecimiento de los frutos son los más sensibles (**Pizarro, 1996**). El efecto es más apreciable en cultivos de granos pequeños donde el alargamiento del tallo que porta la inflorescencia no se produce hasta que se hayan diferenciado los entrenudos y la inflorescencia (**Kamisato, 2004**).

En el cultivo de la quinua los estadios de floración y grano lechoso son los más sensibles al estrés hídrico y tienen mucha influencia en el rendimiento final (**Apaza, 1995**).

El balance hídrico debe contemplarse como un sistema, donde se equilibra los ingresos con las salidas de agua. **Martin de Santa Olalla et al. (2005)** sostienen que la cantidad de agua requerida para compensar las pérdidas por evapotranspiración se define como las necesidades hídricas del cultivo. Para diseñar y operar correctamente un riego se debe conocer la lámina neta que se deberá aplicar al cultivo en un determinado suelo. La lámina neta depende de la profundidad del suelo explorado por las raíces, nivel de agotamiento máximo permisible de la humedad, la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y el agua disponible total.

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

2.2 Relaciones hídricas en el crecimiento de las plantas

El conocimiento de la fisiología de las plantas es importante para orientar las prácticas de riego a las plantas cultivadas. Así, **Alvien (1957)** expresa que todos los procesos fisiológicos de la planta son afectados directa o indirectamente por la cantidad de agua existente en el suelo. **Mengel (1978)**, expresa que la cantidad de agua utilizada por el cultivo de maíz (ETc), desde que germina hasta que madura varía entre 400 a 600 mm. Sin embargo, algunos investigadores han demostrado que se puede lograr cosechas rentables de maíz con aportes netos de sólo 350 mm., si en la primera etapa (crecimiento vegetativo) la tensión de humedad no sobrepase 4.0bars. En la segunda etapa (floración –polinización) la tensión total máxima debe ser no mayor de 2.0 bars. A mayores tensiones se presentan disminuciones muy considerables en el rendimiento y por último en la tercera etapa (llenado del grano y madurez) son permisibles tensiones totales hasta de 6.0 bars (**Hurtado, 2003**). Las necesidades netas de riego (ETc), se relacionan con la cantidad de agua usada por la planta en el proceso de transpiración y las pérdidas directamente del suelo en el proceso de evaporación. Se expresa normalmente en forma de lámina en mm/día o por mes o por campaña o en volumen en m³/ha/día, por mes o por campaña. Dependen del régimen hídrico edáfico imperante, de la climatología local, del estadio fenológico del cultivo y del largo de su período vegetativo.

En la agricultura moderna y de precisión, los elevados costos de producción obligan a generar prácticas especiales en el manejo del riego y de la fertilización, tal que posibilite retornos económicos significativos. La programación del riego y la programación de la fertilización significan que el agua de riego y los nutrientes deberán ser usados en las cantidades correctas, con las fuentes correctas en los lugares correctos y principalmente en los momentos correctos. La irrigación programada y la fertirrigación como prácticas agronómicas modernas permiten el mayor aumento de la productividad, pero también, el desarrollo de la agricultura de riego se enfrenta a problemas generados por el uso y manejo indiscriminado de los recursos hídricos y edáficos (**Hurtado, 2003**).

La disponibilidad de agua del suelo es uno de los factores más importantes del ambiente edáfico que afecta la productividad agrícola en la mayoría de las regiones

áridas del mundo. 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 en 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 atmósfera puede llegar a desempeñar un papel más importante que el contenido hídrico del suelo en la determinación del estado hídrico de la planta.

El déficit hídrico es el factor más importante que causa la reducción en el crecimiento de la planta. En momentos de elevados niveles de calor, se presentan déficits hídricos transitorios debido a que temporalmente, la pérdida de agua excede la absorción. Por el contrario, el déficit hídrico permanente a largo plazo es provocado por una disminución en la disponibilidad de agua en el suelo, ya que afecta la mayoría de los

procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas. La pérdida de agua en los tejidos vegetales afecta el metabolismo y por tanto, el crecimiento es decir, la división y la expansión celular. El déficit hídrico afecta prácticamente todos los aspectos del desarrollo de la planta. Uno de los aspectos más importantes en el proceso de absorción de agua por la planta desde el suelo, su transporte a través de la misma y la pérdida eventual en forma de vapor de agua a la atmósfera circundante es la transpiración. En la mayoría de cultivos se puede requerir de centenares litros de agua para producir un kilo de materia seca. De hecho, una transpiración menguada por déficit hídrico, es la principal causa de pérdida económica y fracaso en muchos proyectos agrícolas **(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 reemplazada mediante el riego. Este consumo de agua por el cultivo (ETc) debe ser cubierto por el riego en la cantidad justa. Un exceso de agua, podría generar condiciones de estrés por asfixia radicular y la carencia de oxígeno ser responsable de la falta de producción o muerte de la planta. Asimismo, en muchas situaciones el exceso en el riego, genera también la pérdida de nutrientes por lixiviación y condiciona problemas ambientales al contaminar aguas del subsuelo. De otro lado, una aportación de agua en cantidades menores que la necesaria para cubrir el requerimiento del cultivo, generaría estrés por déficit hídrico y por tanto, la reducción de la producción **(Hsiao, 1974)**.

El agua es el componente mayoritario e indispensable para que las plantas puedan vivir y desarrollarse. Es a su vez el vehículo en el cual se transportan los elementos químicos esenciales que el suelo contiene desde las raíces hacia las hojas, y componentes elaborados por estas a los restantes órganos. Proporciona a los tejidos vegetales la consistencia necesaria para su movimiento en el suelo; entre otras funciones es quien regula la temperatura de las plantas evitando con ello, cambios bruscos que pueden dañar su crecimiento **(Navarro, 2000)**. Lamentablemente no se

puede esperar una perfecta correlación entre las medidas de la tensión hídrica del suelo y el rendimiento (**Kramer, 1989**).

Si el agua disponible para el riego es limitada, el máximo beneficio se obtendría a partir de un riego de pre siembra y de evitar tensiones hídricas elevadas durante la floración masculina y femenina. En general, la cantidad total de agua requerida para el riego dependerá básicamente de las condiciones medio ambientales y de la eficiencia del riego (**Arnon, 1974**).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Ubicación del campo experimental

El presente trabajo de investigación, se realizó en la Unidad de Investigación en Riegos, perteneciente al Departamento Académico de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), cuya ubicación geográfica es la siguiente: Latitud: 12°05'06", Longitud: 76°57'00", Altitud: 250 m.s.n.m.

3.1.2 Características físico-químicas del suelo

El suelo donde se estableció el experimento está clasificado según Taxonomía de Suelos (1998) como Ustifluent (Entisol de origen fluvial y régimen de humedad Ustic-Fluvisoles irrigados) y se encuentra ubicado en una terraza media del valle del Rímac, es profundo, de estructura granular media, drenaje y permeabilidad moderada, consistencia en húmedo de friable a muy friable, textura franco arenoso, estructura granular media y moderada con gran espacio aéreo, de mediana a baja capacidad retentiva de humedad y adecuada permeabilidad por presentar una mayor fracción arena, baja CIC y contenido de materia orgánica. Tres horizontes de límites gradual definidos como Ap-C-IIC, de profundidad variable se generalizan para los Suelos de la serie La Molina. Para la caracterización físico-química del área en estudio, se realizó un muestreo aleatorio. El análisis de muestra se realizó en el laboratorio de análisis de suelos y plantas de la UNALM, presentando los resultados en la tabla 5. Los resultados del análisis presenta un suelo de textura franco arenoso, lo cual indica que posee una moderada capacidad de retención de humedad, adecuada permeabilidad y buena aireación, el pH ligeramente básico (7.27). Presenta un nivel bajo en el contenido de materia orgánica y por lo tanto también de nitrógeno total, contenido de CaCO_3 (3.10%), está en el límite de medio alto. De acuerdo a la conductividad eléctrica (4.6 dS/m) es un suelo con moderada salinidad.

De otro lado, el contenido de fósforo disponible (8.9 ppm) es medio. Asimismo, el contenido de potasio disponible (83 ppm) calificándolo como bajo. La CIC (12.32 cmol (+)/kg), está en el límite de los rangos bajo y medio, muestra una fertilidad potencial baja de suelo.

Tabla 5: Análisis de caracterización del suelo

Determinación	Valor	Unidad	Método de Análisis
Conductividad Eléctrica (C.E.e)	4.6	dS/m	Lectura del extracto de saturación
Análisis mecánico			
Arena	61	%	Hidrómetro de Bouyucos
Limo	23	%	Hidrómetro de Bouyucos
Arcilla	16	%	Hidrómetro de Bouyucos
Clase Textural	Franco arenoso		Triángulo Textural
pH	7.27		Potenciómetro 1:1 Agua/Suelo
Calcáreo total	3.10	%	Gas Volumétrico
Materia Orgánica	0.57	%	Walkley y Black
Fósforo disponible	8.9	ppm	Olsen modificado
Potasio disponible	83	ppm	Acetato de Amonio 1N/pH 7
Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	12.32	meq/100g	Acetato de Amonio 1N/pH 7
Cationes cambiables			
Ca ⁺⁺	9.45	meq/100g	Espectrofotometría de absorción atómica
Mg ⁺⁺	2.00	meq/100g	Espectrofotometría de absorción atómica
K ⁺	0.39	meq/100g	Espectrofotometría de absorción atómica
Na ⁺	0.48	meq/100g	Espectrofotometría de absorción atómica

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelo, plantas, agua y fertilizantes de la UNALM, 2014.

Tabla 6: Variables climatológicas de la zona experimental – Periodo: septiembre 2014– febrero 2015

Mes	Temperatura media mensual (°C)	Radiación solar circunglobal (Ly/día)	Humedad relativa media mensual (%)	Precipitación mensual (mm)	Evaporación del tanque media (mm/día)	Heliofania (Horas)
Setiembre	16.7	209.9	88	3.6	1.70	68.3
Octubre	18.3	325.3	87	0.8	2.76	148.4
Noviembre	19.7	292.4	82	0.4	3.10	92.8
Diciembre	21.1	347.6	80	0.4	3.82	133.9
Enero	23.1	387.5	77	0.0	4.36	154.5
Febrero	25.4	353.9	75	1.0	4.92	113.2
PROMEDIO	20.7	319.4	81.5	1.03	3.44	118.5

FUENTE: Observatorio Alexander Von Humboldt- UNALM

3.1.3 Características del agua de riego

La tabla 7, presenta el análisis del agua de riego. La calidad del agua queda establecida de acuerdo con lo propuesto por *Ayers y Wescott (FAO-1987)* y *Comité de Consultores (California – 1972)*. La muestra de agua de riego proviene de la red de agua de la UNALM, se clasifica como altamente salina, siendo la conductividad eléctrica de 3.1 dS/m (C4). Las circunstancias muy especiales que permitan su uso, estarán relacionadas con suelos de excelente drenaje, con plantas resistentes a la salinidad y con pérdidas significativas del rendimiento y degradación de los suelos regados. El uso de estas aguas afectará suelos y plantas siendo la restricción de uso de grado severo debido a que el riesgo de salinidad de los suelos es inminente. Solo debe utilizarse en el riego en circunstancias muy especiales, con sistemas de riego localizados de alta frecuencia, en suelos con buen drenaje, empleando mezclas de agua, volúmenes suplementarios de agua para el lavado del suelo y utilizando cultivos altamente resistentes a la salinidad y a la toxicidad por iones específicos, pero que, sin embargo se presentarán pérdidas significativas del rendimiento y su uso generará graves problemas de salinidad en los suelos.

La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) de 3.8 es baja, lo que implica que no generará problemas de alcalinidad (S1). En general, aguas con valores menores de 6.0 de RAS pueden usarse para riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Asimismo, se observa que por la presencia significativa de iones calcio (19.3 me/l), sodio (13.48 me/l) y de cloruros (23.2 me/l) las sales que van a predominar en el suelo son sulfatos y cloruros de calcio y sodio, sales muy solubles y por tanto, muy salinas, responsables de la elevada conductividad eléctrica del agua y de su significativo efecto osmótico. De otro lado, el boro se encuentra a una concentración ligeramente elevada (0.75 ppm). Es esencial para las plantas pero es muy tóxico a concentraciones mayores, por lo que puede existir problemas de toxicidad por boro en especies sensibles. También, cloruros y sodio se encuentran a niveles por encima de los límites permisibles, esperándose efectos negativos en la fisiología de las plantas cultivadas. El análisis indica también que el agua de riego presenta significativa presencia de nitratos (0.65 me/l), anión no común en las aguas de riego, pero que se convierte en un aporte suplementario de nitrógeno para el cultivo y que debería ser considerado en el balance nutricional de este elemento.

Tabla 7: Análisis del agua de riego

<i>Determinación</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Cea	3.1	dS/m
pH	7.4	
Calcio	19.3	meq/l
Magnesio	5.41	meq/l
Sodio	13.48	meq/l
Potasio	0.26	meq/l
Suma de Cationes	38.45	
Nitratos	0.65	meq/l
Carbonatos	0	meq/l
Bicarbonatos	1.52	meq/l
Sulfatos	13.13	meq/l
Cloruros	23.2	meq/l
Suma de Aniones	38.5	
Sodio	35.1	%
RAS	3.8	
Boro	0.75	Ppm
Clasificación		C4-S1

FUENTEe: Laboratorio de análisis de suelo, plantas, agua y fertilizantes de la UNALM, 2014.

3.1.4 Características del clima en la zona experimental

Según el sistema modificado de Koeppen, basado en promedios anuales de precipitación y temperatura, la zona de La Molina ha sido clasificada como desierto subtropical árido caluroso, donde la temperatura promedio anual oscila por los 18.5 °C con una precipitación promedio anual de 16 mm. La tabla 6, muestra los registros climáticos del observatorio Alexander Von Humboldt de la Universidad Nacional Agraria La Molina correspondientes a la zona experimental durante el periodo de desarrollo del cultivo:

3.1.5 Variedades de quinua en estudio

Variedad INIA 415-Pasankalla

El Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIA) presento la variedad INIA 415-Pasankalla, el 2006, posee alto valor nutricional, excelente calidad de grano para la transformación agroindustrial y con rendimientos superiores a las 3 toneladas por hectárea.



Fig. 1. Panoja de INIA 415-Pasankalla

Es una variedad precoz, cuyo periodo vegetativo solo dura 140 días. El grano tiene el pericarpio color plomo y el espisperma de color castaño-rojo.

Variedad Altiplano-INIA

Es una variedad obtenida en el 2013 en la región Puno, especialmente en las comunidades de Cieneguilla, Collana y Visallani del distrito de Cabana. El proceso de mejoramiento se realizó entre los años 1997 al 2012, en el ámbito de la Estación Experimental Agraria Illpa - Puno. Su mejor desarrollo se logra en la zona agroecológica Suni del altiplano entre los 3,815 y 3,900 m.s.n.m.



Fig. 2. Panoja de Altiplano – INIA

El grano de esta variedad de quinua tiene bajo contenido de saponina (0.03%) lo que le da un sabor dulce, alto porcentaje de proteína (16.19%) y presenta muy buena aptitud para su procesamiento en harina. Su rendimiento comercial es 2110 kg/ha y el rendimiento potencial es mayor de 4,000 kg/ha. (Obtentor, Ing. Vidal Apaza Mamani–INIA).

Variedad Salcedo-INIA

Seleccionada en la estación experimental de Patacamaya, introducida en Puno 1989; es de grano grande de 1.8 a 2mm de diámetro, de color blanco. Periodo vegetativo de 160 días (precoz), rendimiento de 2,500 kg/ha, tolerante al mildiu.



Fig. 3. Panoja de Salcedo-INIA

Variedad Kancolla

Seleccionada a partir del ecotipo local de la zona de Cabanillas Puno, planta de color verde, de tamaño mediano alcanzando 80 cm de altura, de ciclo vegetativo tardío (más de 170 días) grano blanco de tamaño mediano. Con alto contenido de saponina, panoja generalmente amarantiforme, resistente al frío, granizo y mildiu, rendimiento promedio de 2500 kg/ha, segrega a otros colores desde el verde hasta el púrpura, muy difundida en el altiplano peruano.



Fig.4 Panoja de Kancolla

3.1.6 Fertilizantes Empleados

Fuente	% N	% P ₂ O ₅	%K ₂ O
Nitrato de Amonio	33.5	-	-
Fosfato Monoamónico	10.5	61	-
Sulfato de Potasio	-	-	50

3.1.7 Sistema de riego por goteo

Matriz

2 válvulas de 3/4 pulg. (Llave de apertura/ cierre)

1 válvula de ½ pulg. (Llave de ingreso del fertilizante)

16 m. de tubería principal de PVC de 1 pulg.

1 filtro de anillos de ¾ pulg.

Un contómetro de agua tipo reloj
12 micro-válvulas de 16 mm de diámetro

Laterales

147.6 m de laterales de goteo de 16 mm (PE)
492 goteros autocompensados Katiff de 2.3 l/h
12 conectores de salida
12 terminales de línea

Fertilización

1 tanque de inyección de fertilizantes
1 inyector Venturi

3.1.8 Registro de la humedad del suelo

Barreno agrológico (tornillo muestreador), latas de humedad, cilindros de cobre de de relación masa/volumen, balanza de precisión, estufa (105 °C)

3.1.9 Curva característica de humedad

La figura 1, muestra la característica de humedad del suelo del ensayo determinada en los laboratorios de SGS del Peru.

3.1.10 Otros materiales

Fase de campo

Mochila de fumigación, cámara fotográfica, libreta de campo, insecticidas y fungicidas, bolsas plásticas, agua, lápiz, pala, pico, rastrillo y serrucho, cinta métrica y wincha, cordeles, letreros, bolsas de papel kraff, libreta de campo, mangueras, baldes, tijera de podar, rafia.

Fase de laboratorio

Balanza digital de precisión, estufa, cámara fotográfica, tijera, lápiz, probeta, vernier, agitador, tubos de ensayo, tamices de 2-1,7-1,4mm y, ventiladora de grano.

3.2 MÉTODOS

El presente ensayo probó el efecto del régimen de riego en el crecimiento y rendimiento de cuatro variedades de quinua, en base a la aplicación de tres láminas programadas de riego, L1 = 420 mm/campaña, L2 = 336 mm/campaña y L3 = 252 mm/campaña.

El experimento consistió en la aplicación de tres láminas de riego, en cuatro variedades de quinua; 415-PASANKALLA, ALTIPLANO-INIA, SALCEDO INIA, y KANCOLLA. El sistema de siembra fue directa depositando 3 semillas por golpe, en el desahije se dejó una planta por golpe. La irrigación se realizó mediante riego localizado de alta frecuencia-goteo. En cada hilera el distanciamiento fue de 5 cm entre plantas que determina una densidad de 12.5 plantas/m². Todas las subparcelas recibieron iguales labores culturales, control sanitario y fertilización.

El módulo de riego constó de 12 laterales de riego distanciados uno del otro en 1.6 m, cada lateral tuvo una longitud efectiva de 10.8 m con 41 goteros distanciados en 0.30 m. Cada cama de producción fue subdividida en 4 subparcelas de 10 emisores y 4.32 m² de área efectiva. En general, las labores agronómicas y de sanidad del cultivo fueron manejadas a un nivel estándar para no afectar los resultados de los tratamientos. Previamente a la instalación del cultivo se realizaron las labores correspondientes para acondicionar el campo.

Con pico y lampa se eliminó el material vegetal que quedó del cultivo anterior (maíz). Se construyeron camas de 0.8 m de ancho y 15 cm de altura, se marcaron las calles, se desterronó y niveló el área del ensayo. También se hizo arreglos en el sistema de riego (cambio de goteros obstruidos, micro-válvulas deterioradas, laterales dañados, etc.).

Las fuentes fertilizantes para la práctica de la fertirrigación fueron disueltas previamente para posteriormente ser aplicadas a través del fertilizador, utilizando el

principio de diferencia de carga hidráulica hacia la corriente de riego. El control de los tres regímenes de riego programados, se realizó mediante un contómetro de agua ubicado a la entrada del módulo experimental. Las láminas de riego programadas por ciclo vegetativo del cultivo y fraccionadas para cada uno de sus estados fenológicos, fueron calculadas y aplicadas mediante las lecturas inicial y final en el contómetro.

3.2.1 Programación de las láminas de riego

Se estudiaron tres láminas de riego en base a la características botánicas-morfológicas del cultivo de quinua, considerando diez estadios fenológicos y sus respectivos coeficientes de cultivo; E: emergencia, CL: crecimiento lento, DH: desarrollo de hojas, AOF: aparición del órgano floral, ETP: elongación del tallo y panoja, IF: inicio floración, A-50%: antesis al 50%, GL: grano lechoso, GP: grano pastoso, GM: grano maduro.

Para la lámina de riego L1= 420 mm/campaña, calificada de lámina alta, los valores Kc establecidos en base a información actualizada para cada estadio fenológico del cultivo de maíz morado fueron de: 0.45 (E), 0.67 (CL), 0.74 (DH), 0.85 (AOF), 0.94 (ET-P), 1.09 (IF), 1.26 (A-50%), 1.17 (GL), 0.91 (GP) y 0.74 (GM) respectivamente, con un media/campaña de 0.88.

Para la lámina de riego L2 = 336 mm/campaña, calificada de lámina media, los valores Kc para cada uno de los estadios fenológicos establecidos fueron de: 0.45, 0.54, 0.64, 0.71, 0.77, 0.87, 1.03, 0.83, 0.73 y 0.62 respectivamente para cada estado fenológico establecido, con una media/campaña de 0.72.

Para la lámina de riego L3 = 252 mm/campaña, calificada de lámina baja, los valores Kc para cada uno de los estadios fenológicos establecidos fueron de: 0.45, 0.48, 0.52, 0.56, 0.62, 0.67, 0.72, 0.64, 0.49 y 0.42 respectivamente, con una media/campaña de 0.56.

Así, mismo, para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo ($ET_c = K_c \times E_o$ mm/día) se consideró valores medios del tanque evaporímetro Clase A, ($E_o =$ mm/día) de una serie histórica de cinco años, para el periodo comprendido durante la fase vegetativa del cultivo: setiembre ($E_o = 1.70$ mm/día), octubre ($E_o = 2.76$ mm/día), noviembre ($E_o = 3.10$ mm/día), diciembre ($E_o = 3.82$ mm/día) y enero ($E_o = 4.36$ mm/día).

Respecto al cálculo de los niveles del riego, la base fue la curva característica de humedad. La figura 5, presenta la curva característica de humedad para el suelo del ensayo. Se aprecia un valor de la porosidad total del suelo (porcentaje de saturación) de 43.8%, densidad aparente media de 1.49 g/cc. y los volúmenes de humedad aprovechable (CC-PM) de 12.6 vol. Asimismo, el criterio de riego asumido comprendió el rango de succión mátrica entre $\Psi_m = -0.2$ bar a $\Psi_m = -0.4$ bar y sus respectivos valores de humedad en volumen de 30.5% y de 26.5% determinaron que 4.0 volúmenes de humedad fueran aplicados en cada riego y que deberán consumirse por evapotranspiración entre riegos para proceder nuevamente al riego. Finalmente, la profundidad del bulbo de humedecimiento de 60 cm (muestreo en campo) y la relación de humedecimiento (área humedecida respecto del total de área) de 20% (determinado en campo) posibilitaron la determinación de la lámina neta a aplicar según la expresión; Lámina neta/riego = 4.0 volúmenes humedad x 60 cm x 0.2 = 4.8 mm/riego.

3.2.2 Niveles y momentos de la fertilización

El nivel de fertilización estándar NPK fue constante en el campo experimental (207.36 m²) siendo la fórmula programada de 160-80-120 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O.

Se realizaron 4 aplicaciones de fósforo siendo la fuente fosfato monoamónico (P₂O₅), requiriéndose en total 2.718 kg/campo del fertilizante y la cantidad por aplicación fue 679.5 g/campo. Para la fertilización potásica se realizaron 10 aplicaciones de sulfato de potasio (K₂O), requiriéndose 4.147 kg/campo del fertilizante y la cantidad por aplicación fue 414.7 gr/campo. Para la fertilización nitrogenada se realizaron 10 aplicaciones de nitrato de amonio (NO₃NH₄), necesitándose 8.928 kg/campo del fertilizante y la cantidad por aplicación fue 892.8 g/campo. Los momentos de la fertilización nitrogenada, fosforada y potásica se detallan en la tabla 8.

3.2.3 Registro de la humedad del suelo

Con el fin de determinar la forma en que el agua del suelo es utilizada por evapotranspiración, se determinó la humedad del suelo antes y después de cada riego por el método gravimétrico. Las muestras periódicas de humedad del suelo fueron obtenidas, en los principales estadios fenológicos del cultivo, con el método del muestreo directo con un tornillo muestreador a tres profundidades (15-30, 30-45, 45-60 cm). Los valores del porcentaje de humedad gravimétrica, fueron convertidos en

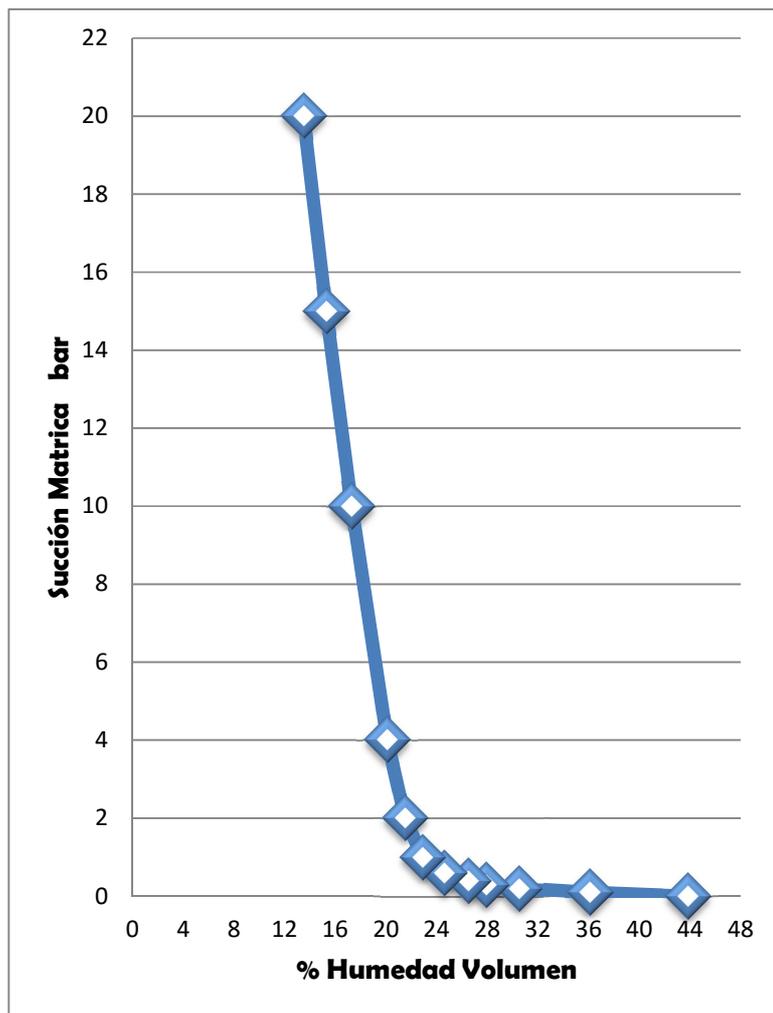
porcentaje de humedad volumétrica en base a la densidad aparente, obtenida previamente por el método del cilindro para cada profundidad de muestreo. Los valores de humedad volumétrica fueron ploteados en la curva característica de humedad para determinar los valores de succión mátrica en cada caso.

Tabla 8: Programación de actividades de fertilización

DDS	Aplicaciones de NITROGENO	Aplicaciones de FÓSFORO	Aplicaciones de POTASIO
18		1 ^{era} P (25%)	
25		2 ^{da} P (25%)	
31	1 ^{era} N	3 ^{era} P (25%)	
38	2 ^{da} N	4 ^{ta} P (25%)	
45	3 ^{era} N		
53	4 ^{ta} N		1 ^{era} K
62	5 ^{ta} N		2 ^{da} K
69	6 ^{ta} N		3 ^{era} K
77	7 ^{ma} N		4 ^{ta} K
85	8 ^{ava} N		5 ^{ta} K
92	9 ^{na} N		6 ^{ta} K
100	10 ^{ma} N		7 ^{ma} K
106			8 ^{va} K
113			9 ^{na} K
122			10 ^{ma} K

3.2.4 Curva característica de humedad

Una de las características físicas más importante para la irrigación son las curvas de retención de humedad, definida como la evolución de la humedad del suelo respecto de su potencial. Denominada también curva de desorción o curva de pF, su determinación (**Richards, 1965**) tiene gran importancia agrícola, debido a que es una de las características físicas más importantes para los suelos irrigados.



Ψ_m (bar)	% Hum Vol.
0.0	43.8
0.1	36.1
0.2	30.5
0.3CC	27.9
0.4	26.5
0.6	24.6
1	22.9
2	21.5
4	20.1
10	17.3
15PM	15.3
20	13.5

Figura 5: Curva Característica de Humedad

Textura del Suelo: Franco Arenoso

Composición mecánica: 61% arena-23% Limo-16% Arcilla

CC – PM = HA = 12.6 volúmenes de humedad

Da = 1.49 g/cc

Criterio de Riego (CR) = $\Psi_m - 0.2 \text{ bar} - \Psi_m - 0.4 \text{ bar} = 30.5\% - 26.5\% \text{ hum.vol} = 4.0 \text{ vol.}$

Lámina neta = $4.0 \text{ vol. Hum.} \times 60 \text{ cm} \times 0.2 = 4.8 \text{ mm}$

Estas curvas permiten estimar la cantidad de agua que un suelo puede almacenar dentro de ciertos límites dados de succión. Conociendo esta característica se puede interpretar la humedad del suelo en base al potencial correspondiente. Este potencial indica la energía que debe gastarse para abstraer una unidad de agua de ese suelo a esa humedad. Para la planta significa la energía que debe gastar para extraer del suelo, agua de transpiración bajo las condiciones de humedad existente, condición que indica que la disponibilidad de agua para las plantas no depende de la cantidad que exista en el suelo, sino de su estado energético, el cual en suelos no salinos depende de la composición mecánica de su matriz física.

3.2.5 Características de campo experimental

Del Campo Experimental

Largo efectivo : 10.8 m
Ancho efectivo : 19.2 m
Área efectiva : 207.36 m²

Del bloque

Largo efectivo : 10.8 m
Ancho efectivo : 4.8 m
Área efectiva : 51.84 m²
Número de bloques : 4

De la parcela

Largo : 10.8 m
Ancho : 1.6 m
Área : 17.28 m²
Número de parcela : 12

De la subparcela

Largo efectivo : 2.7 m
Ancho efectivo : 1.6 m
Área efectiva : 4.32 m²
Número de subparcela : 48

3.2.6 Factores en estudio

I. LÁMINAS DE RIEGO

Clave	Lámina de riego (mm)
L1	420
L2	336
L3	252

II. VARIEDADES DE QUINUA

Clave	Variedad
V ₁	415-PASANKALLA
V ₂	ALTIPLANO-INIA
V ₃	SALCEDO-INIA
V ₄	KANCOLLA

3.2.7 Diseño experimental

El diseño experimental fue el de parcelas divididas. Las láminas de riego en estudio fueron asignadas aleatoriamente a nivel de parcelas dentro de cada bloque y las variedades de quinua fueron asignadas aleatoriamente a nivel de sub parcelas, dentro de cada parcela. El análisis de variancia y las diferencias de medias se realizaron a través de la aplicación del software estadístico SAS V.8. (*Statistical Analysis System*).

Fuentes de Variación	GRADOS DE LIBERTAD
Bloques	3
Láminas de riego (A)	2
Error (a)	6
Variedades (B)	3
Interacción AxB	6
Error (b)	27
Total	47

Modelo Estadístico

$$Y_{ijk} = \mu_{...} + \rho_{..k} + \alpha_i + \xi_{(\alpha)} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \xi_{(\beta)}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor en el k bloque en la parcela i y la subparcela j .

$\mu_{...}$ = Efecto de la media general.

$\rho_{..k}$ = Efecto del k -ésimo bloque.

α_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor "A".

$\xi_{(\alpha)}$ = Error experimental de parcelas.

β_j = Efecto del j -ésimo nivel del factor "B"

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor A con el j -ésimo nivel del factor B.

$\xi_{(\beta)}$ = Error experimental de subparcelas.

3.2.8 Evaluaciones experimentales

Rendimiento comercial (kg/ha)

Terminada la recolección de panojas del campo, se hicieron secar al ambiente para después proceder a la trilla, limpieza y venteo, finalmente se pesó el rendimiento de cada subparcela y se procedió de acuerdo a la fórmula de Jenkins modificado.

Peso corregido por fallas = $\text{Peso de campo} (M - 0.3 N / M - N)$

M = número de plantas cuando la población es perfecta (0 fallas)

N = número de fallas; una falla cuando no hay plantas en el golpe.

Para realizar la corrección por humedad y expresar el peso a 14% de humedad, se utilizó la siguiente relación:

Factor de corrección (FC) = $100 - \% \text{ de humedad a la cosecha} / 86$

Peso corregido a 14% de humedad (PCH)

PCH = FC x Peso de campo corregido por fallas

Para expresar el rendimiento de quinua grano en kg/ha, se aplicó el siguiente Factor de Producción (FP):

FP = $10\ 000 \times 0.971 \times \% D / A$

A = Área de la parcela en m^2

0.971 = Coeficiente de contorno.

Finalmente:

Rendimiento (kg/ha) = FP x Rendimiento por subparcela corregido por fallas y por humedad del grano

3.2.9 Componentes del rendimiento

Número de plantas por m^2

Se tiene un promedio de 12.5 plantas/ m^2

Número de panojas por planta

Las 4 variedades presentan una sola panoja por planta, por lo que su número es igual al número de plantas por subparcela.

Peso de 1000 granos (g)

Se realizó un conteo manual y se pesó en una balanza analítica.

Rendimiento de grano por panoja (g)

Ya que cada planta presenta una sola panoja, el rendimiento por panoja fue hallado dividiendo el rendimiento de cada subparcela entre el número de plantas presentes en la misma.

3.2.10 Variables de crecimiento del cultivo

Altura de planta (cm)

Se midió con una regla graduada desde la base de la planta hasta el punto apical de la panoja. Para ello se tomaron 2 plantas al azar de cada una de las 48 subparcelas.

Área foliar (cm²/planta)

Se tomaron muestras de hojas con un área conocida, determinando su peso, para luego relacionarlo con el peso total de hojas por planta.

Diámetro de tallo (cm)

Con la ayuda del Vernier se tomó la medida a 5cm del corte de la planta.

Materia seca total (g)

Se determinó por separado el peso de la materia seca de toda la parte aérea de la planta por (tallos, hojas, porción de panojas), para ello, se empleó una estufa a temperatura constante de 70 °C por 4 días.

Componentes de la materia seca total (g)

Estos son la materia seca de las hojas, materia seca de tallos, y materia seca de la porción de panoja, para determinarla se realizó la metodología descrita para hallar la materia seca total. La materia seca de la panoja fue determinada con una porción de esta, se tomó la zona apical incluyendo el eje central y los ejes secundarios, terciarios, pedicelos y glomérulos, estos últimos constituidos por los perigonios y los granos.

3.2.11 Parámetros Agronómicos del cultivo de quinua

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

Es la relación existente entre el rendimiento comercial u el requerimiento de riego del cultivo.

$$\text{EUA (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Rendimiento Quinua Grano (kg/ha)}}{\text{Requerimiento de riego aplicado (m}^3\text{/ha)}}$$

Evapotranspiración del cultivo (ETc = m³/ha/ campaña)

Es la cantidad de agua evapotranspirada durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Coefficiente de transpiración (CT= 1/kg).

Litros de agua evapo-transpirados por kg de materia seca total producida.

Índice de cosecha (IC%)

Materia seca de grano por planta respecto a la materia seca total expresado en porcentaje.

Índice de área foliar (IAF)

Viene a ser la relación entre la superficie foliar (m²) respecto a los m² de superficie de terreno.

3.2.12 Características de calidad del grano

Porcentaje de proteínas y porcentaje de humedad del grano

Fue determinado con el "Infratek", instrumento computarizado que emplea las propiedades de reflectancia y transmitancia de la radiación infrarroja cercana, obteniendo una lectura directa; este mismo instrumento determinó el porcentaje de humedad del grano.

Saponinas en grano (%)

El procedimiento consiste en pesar 0.5 g de granos de 1.7 mm; colocarlo en un tubo de ensayo y agregar 5 ml de agua destilada, llevarlo al agitador por 30 segundos, dejar en reposo 30 minutos, volver a llevar al agitador por 20 segundos, reposar 30 minutos, y por último llevar al agitador 30 segundos, retirar del agitador y tomar la medida de espuma en cm. Con esta media se halló el porcentaje de saponina en grano con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ SAPONINA} = \frac{H - 0.29}{3.74} \times 100$$

H: Medida de espuma (cm)

3.2.13 Conducción del experimento

En la tabla 9 se presenta la conducción del ensayo, que consta de las siguientes actividades:

Se realizó un lavado de suelo en el área experimental para evitar en lo posible la moderada salinidad del suelo por uso de agua de riego de salinidad elevada y la interacción del efecto residual de ensayos anteriores

Se eliminó los precipitados de las mangueras y goteros realizando un remojo y lavado en lejía al 3% de todo el material durante una semana, después fueron enjuagados y devueltos al campo. Se removió el suelo superficial de las camas a una profundidad aproximada de 30 cm, considerando un ancho de cama de 0.80m a lo largo de cada lateral de riego y a una altura de 15 cm aproximadamente. Posteriormente se nivelaron las camas de producción.

Se realizó la siembra directa (02 de setiembre) de 3 semillas por golpe a 5cm de distancia entre cada golpe. La siembra se realizó a 15 cm del lateral de riego, la semilla fue cubierta con arena (0.5 cm) para facilitar su emergencia.

Los riegos diarios según la programación de las láminas en estudio fueron realizados mediante el control el contómetro instalado al inicio del módulo de riego. Se tomaron muestras quincenales de humedad del suelo.

Cada fuente de fertilizante fue solubilizada y esta solución elevada 5 metros sobre el nivel del campo, desde donde fue inyectada a la red de riego. El fósforo se aplicó fraccionado en 4 partes, el nitrógeno en 10 al igual que el potasio, estos tres fertilizantes fueron aplicados con una frecuencia de 7 días.

El desahije fue efectuado junto con el deshierbo y el primer aporque. Se realizó manualmente, cuando las plantas presentaron una altura aproximada de 20 cm, para evitar el ahilamiento de tallos y la competencia por nutrientes. El distanciamiento entre plántulas fue de 5cm para obtener una densidad de 125,000 plantas/ha. Se realizaron tres aporques, el primero en el desahije y deshierbe, el segundo antes de la floración y el tercero en el llenado de grano con la finalidad de evitar el tumbado de las plantas debido al gran tamaño alcanzado.

El cultivo sufrió el ataque de *Spodoptera eridania* durante las etapas de floración y llenado de grano, sin embargo, no causaron daños significativos gracias al control químico general. El ataque de aves fue contrarrestado en cierto porcentaje con ruido de cohetes y protegiendo las panojas con bolsas de papel kraft. En cuanto a enfermedades, se presentó mildiu en la etapa de dos hojas verdaderas, comenzando con la variedad SALCEDO-INIA, se pudo controlar con la aplicación de Positron (Propineb + Iprovalicarb) y Gentrol (Dimethomorph + Chlorothalonil).

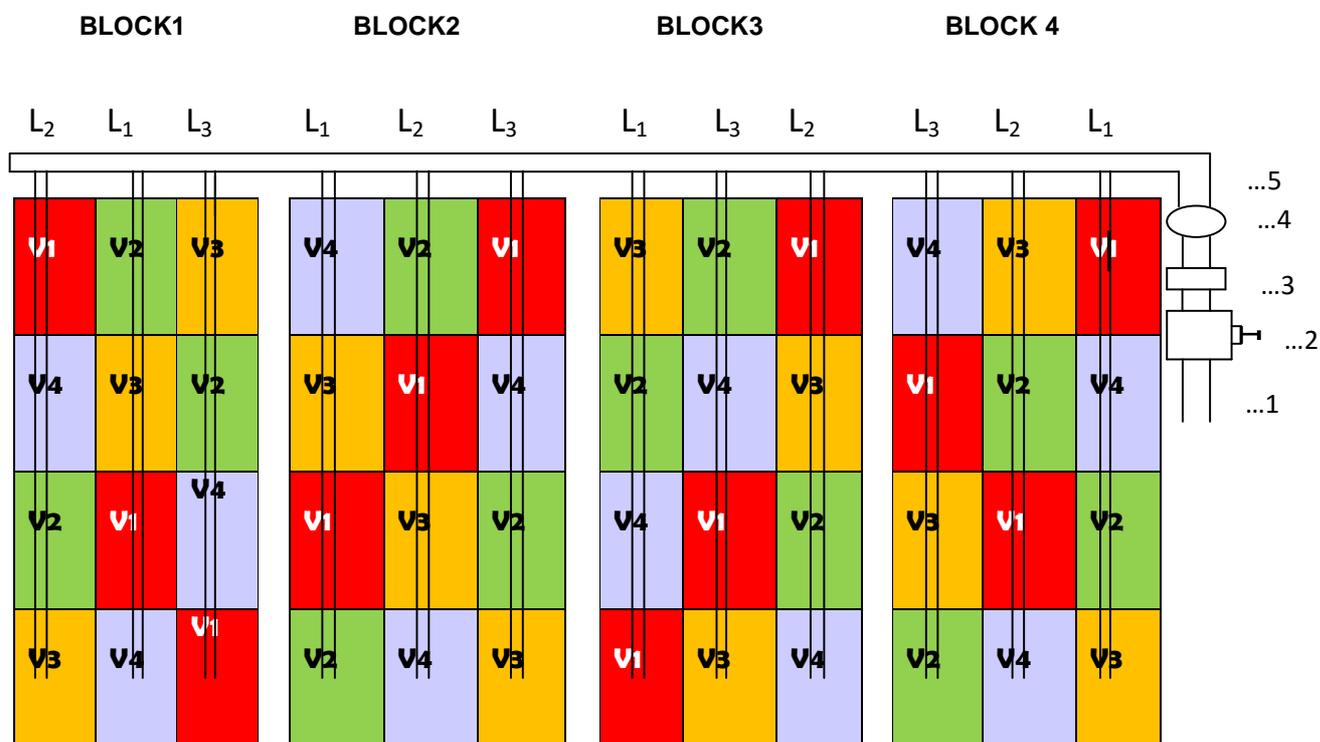
La cosecha se realizó en forma manual, en cada subparcela y consistió en el corte de las panojas, luego de ello se secaron las panojas exponiéndolas al sol y después se procedió a la trilla, limpieza, venteo y finalmente pesado de granos.

La figura 6 muestra la disposición de las parcelas experimentales del ensayo.

Tabla 9: Conducción del ensayo

- Muestreo de suelos para evaluar salinidad y niveles de nutrientes
- Lavado del suelo para desplazar las sales o eliminar la interacción con tratamientos anteriores en el campo y además para facilitar la preparación del terreno
- Limpieza del sistema de riego
- Preparación del terreno (desterronado, formación de camas, nivelado)
- Apertura del sistema de riego
- Siembra
- 1ra aplicación de P, muestreo de humedad del suelo (quincenales)
- Desahije, eliminación de plantas atípicas, deshierbe y primer aporque
- 2da aplicación de P
- 1ra aplicación de N y 3ra de P
- 2da aplicación de N y 4ta de P
- 3ra aplicación de N
- Segundo aporque
- 4ta aplicación de N y 1ra de K
- 5ta aplicación de N y 2da de K
- 6ta aplicación de N y 3ra de K
- 7ma aplicación de N y 4ra de K
- 8va aplicación de N y 5ra de K
- 9na aplicación de N y 6ra de K
- 10ma aplicación de N y 7ma de K
- Aporque definitivo
- 8va aplicación de K
- 9na aplicación de K
- 10ma aplicación de K
- Registro de altura de plantas, conteo de plantas
- Determinación de pesos secos y área foliar
- Cosecha
- Secado de parvas
- Trilla y limpieza de grano

Figura 6: Disposición de las parcelas experimentales



VARIEDADES x LÁMINAS DE RIEGO

V1	INIA 415-Pasankalla	L1: 420 mm	1. Tubería 2. Válvula general
V2	Altiplano-INIA	L2: 336 mm	3. Filtro de anillo 4. Contómetro
V3	Salcedo-INIA	L3: 252 mm	5. Tubería de riego
V4	Kancolla		

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tablas 10,11 y 12 que se presentan y discuten a continuación para las láminas L1, L2 y L3 respectivamente, han sido elaborados en base a las tablas que figuran como anexos, en los cuales se muestran los valores promedios de las variables de crecimiento, del rendimiento y de sus componentes, de la materia seca total y su distribución del cultivo. Se considera el análisis de variancia del combinado de los factores en estudio, la prueba de comparación de medias de Duncan.

4.1 Resultados generales, parámetros agronómicos y programación del riego en cuatro variedades de quinua

Las tablas a continuación presentan los resultados generales y los parámetros agronómicos que caracterizan al cultivo de la quinua; eficiencia de uso de agua (EUA- kg/m^3), índice de cosecha (IC%), índice de área foliar (IAF- m^2/m^2), coeficiente de transpiración (CT-L/kg) y evapotranspiración del cultivo (ETc-mm/campaña) para cuatro variedades de quinua y tres láminas de riego en estudio.

4.1.1 Resultados generales de cuatro variedades de quinua por lámina de riego

Bajo las condiciones de clima, suelo y manejo agronómico del presente ensayo, el cultivo de quinua, con un periodo vegetativo de 145 días desde la siembra (DDS), presentó un rendimiento de grano quinua promedio fue de 1,396 kg/ha, una altura de planta 141.5 cm, 646.4 cm^2 /planta de área foliar, 67.2 g de materia seca total, 12.7 plantas/ m^2 , 9.66 gramos de grano de quinua por panoja, 3.41 gramos peso promedio de 1000 granos. Asimismo, una eficiencia de uso de agua promedio de 0.43 kg/m^3 , 16.8% de índice de cosecha, 0.69 m^2/m^2 de índice de área foliar y 446.1 l/kg de coeficiente de transpiración. Finalmente, el porcentaje promedio de proteínas fue 12.1% y 66.3% de saponina en grano.

Efecto de láminas de riego

Bajo las condiciones de la Lámina L1: ETc = 420 mm/campaña, el rendimiento de grano quinua fue de 1,539 kg/ha, con un requerimiento de riego de 4,670 m^3 /hay una población media de 12.9 plantas/ m^2 . Las plantas alcanzaron una altura de 146.9 cm,

expandieron una superficie foliar de 908.1 cm²/planta y acumularon un total de materia seca de 86.5 g/planta, siendo la relación de hojas: tallos: panoja: de 4.5%, 26%, 69.5%, respectivamente. El peso promedio de grano de quinua por panoja fue 12.35 y el peso promedio de 1000 granos de 3.44 g. Finalmente, el porcentaje promedio de proteínas fue 12.6%, y 67.1% de saponina en grano.

Para la lámina L2: ETc = 336 mm/campaña, el rendimiento de grano quinua fue de 1,473 kg/ha, con un requerimiento de riego de 3,737m³/ha y una población media de 11.95 plantas/m². Las plantas alcanzaron una altura de 143.6 cm, expandieron una superficie foliar de 534.9 cm²/planta y acumularon un total de materia seca de 69.09 g/planta, siendo la relación de hojas: tallos: panoja: de 3.6%, 27.7%, 68.6%, respectivamente. El peso promedio de grano de quinua por panoja fue 7.53, el peso promedio de 1000 granos de 3.41 g. Finalmente, el porcentaje promedio de proteínas fue 12.2% y 68.7% de saponina en grano

Para la lámina L3: ETc = 252 mm/campaña, el rendimiento de grano quinua fue de 1,175 kg/ha, con un requerimiento de riego de 2,804 m³/ha y una población media de 13.18 plantas/m². Las plantas alcanzaron una altura de 133.9 cm, expandieron una superficie foliar de 496.1 cm²/planta y acumularon un total de materia seca de 46.18 g/planta, siendo la relación de hojas: tallos: panoja: de 4.3%, 28.6%, 67.2%, respectivamente. El peso promedio de grano de quinua por panoja fue 9.1, el peso promedio de 1000 granos de 3.38 g. Finalmente, el porcentaje promedio de proteínas fue 11.6% y 62.8% de saponina en grano.

Respuesta de las variedades de quinua

Variedad INIA 415-PASANKALLA

Con un periodo vegetativo del cultivo de 160 días (DDS), los rendimientos grano quinua, en esta variedad fueron 464 kg/ha para L1: ETc= 420 mm, de 316 kg/ha, para L2: ETc = 336 mm y de 336 kg/ha para L3: ETc = 252 mm. Bajo estas condiciones las plantas alcanzan una altura de 149.8 cm para la lámina L1; 150 cm para la lámina L2 y 141.9 para la lámina L3. Asimismo, expanden una superficie foliar de 830.5; 695.3 y 671.9 cm²/planta y el peso de grano por panoja, presentó promedios de 3.8; 2.3 y 2.9 para L1, L2 y L3 respectivamente.

Variedad ALTIPLANO

En esta variedad de quinua, con un periodo vegetativo de 145 días (DDS), los rendimientos de grano quinua fueron 2,857.3 kg/ha para L1: ET_c= 420 mm, de 2,659.8 kg/ha para L2: ET_c = 336 mm y de 2,080.2 kg/ha para L3: ET_c = 252 mm. Bajo estas condiciones las plantas alcanzan una altura de 163 cm. para la L1; 159.5 cm. para L2 y 143.3 para la lámina L3. Asimismo, expande una superficie foliar de 879.3; 567.4 y 378.2 cm²/planta y el peso de grano por panoja, presentó promedios de 23.8; 15.5 y 15.6 g para L1, L2 y L3 respectivamente.

Variedad SALCEDO-INIA

En esta variedad de quinua, con un periodo vegetativo del cultivo de 145 días (DDS), los rendimientos de grano quinua fueron de 1,651.1 kg/ha para L1: ET_c= 420 mm, de 1,683 kg/ha para L2: ET_c = 336 mm y de 1,041.9 kg/ha para L3: ET_c = 252 mm. Bajo estas condiciones, las plantas alcanzan una altura de 145.6 cm. para la L1; 139.9 cm. para L2 y 129.8 para la lámina L3. Asimismo expande una superficie foliar de 1,212.3; 478.9 y 430.9 cm²/planta y el peso de grano por panoja, presentó promedios de 23.8; 15.5 y 15.6 para L1, L2 y L3 respectivamente.

Variedad Kancolla

En esta variedad de quinua, con un periodo vegetativo del cultivo de 145 días (DDS), los rendimientos de grano quinua fueron de 1,184 kg/ha para L1: ET_c= 420 mm, de 1,235.5 kg/ha para L2: ET_c = 336 mm y de 1,244.9 kg/ha para L3: ET_c =252 mm. Bajo estas condiciones, las plantas alcanzan una altura de 129.3 cm para la L1; 125.3 cm para L2 y 120.7 para la lámina L3. Asimismo expande una superficie foliar de 710.4; 398.3 y 503.4 cm²/planta y el peso de grano por panoja, presentó promedios de 9.3; 5.5 y 10.1 para L1, L2 y L3 respectivamente.

4.1.2 Parámetros agronómicos del cultivo de quinua

El comparativo entre láminas de riego indica que para la lámina L1: $ET_c = 420$ mm/campaña con un K_c medio de 0.88 y una ET_c media de 2.74 mm/día la eficiencia de uso de agua (EUA) promedio fue 0.374 kg/m³, el índice de cosecha (IC) de 13.7%, el índice de área foliar (IAF) 0.98 m²/m², y el coeficiente de transpiración (CT) de 441.4 l/kg. Para la lámina L2: 336 mm/campaña, con un K_c de 0.72 y una ET_c media de 2.21 mm/día, la EUA fue 0.439 kg/m³, el IC de 16.9%, el IAF 0.57 m²/m² y el CT de 450 l/kg. Finalmente, para la lámina L3: $ET_c = 252$ mm/campaña, un K_c de 0.56 y una ET_c de 1.67 mm/día la EUA promedio fue 0.467 kg/m³, el IC 19.9%, el IAF 0.53 m²/m² y el CT de 446.9 l/kg.

Eficiencia de Uso de Agua (EUA = kg/m³)

La eficiencia de uso de agua es el principal parámetro agronómico de los cultivos, y relaciona los kilogramos producidos por metro cúbico de agua aplicado en el riego (Anexo 14). Para el cultivo de quinua el valor de la media general es 0.426 kg/m³. En este caso los valores de la EUA para las láminas en estudio indican para L1: 0.37 kg/m³, L2: 0.44 kg/m³ y L3: 0.47 kg/m³, estableciendo una relación indirecta entre el rendimiento y el volumen de agua aplicado. De otro lado, para variedades de quinua, la variedad 415-PASANKALLA, presentó valores de EUA de 0.14 kg/m³ para L1: $ET_c = 420$ mm, de 0.094 kg/m³ para L2; $ET_c = 336$ mm y para L3: $ET_c = 252$ mm de 0.134 kg/m³ respectivamente. Para la variedad ALTIPLANO se encontró valores de EUA de 0.68; 0.792 y 0.825 kg/m³ para L1, L2 y L3, respectivamente. La variedad SALCEDO-INIA presentó valores de EUA de 0.393 kg/m³ para L1, 0.501 kg/m³ para L2 y 0.413 kg/m³ para L3. Finalmente, la variedad KANCOLLA, obtuvo valores de EUA de 0.282 kg/m³ para L1, de 0.368 para L2 y de 0.494 kg/m³ para L3.

Índice de área foliar (IAF=m²/m²)

Parámetro que expresa la relación entre la superficie foliar expuesta a la radiación solar por unidad de terreno y por tanto, un gran estimador de la capacidad de producción del cultivo (Anexo 16). El valor de la media general para el cultivo de quinua es 0.69 m²/m². En este caso los valores del IAF para las láminas en estudio son para L1: 0.98 m²/m², L2: 0.57 m²/m² y para L3: 0.53 m²/m². De otro lado, para variedades de quinua, La variedad 415-PASANKALLA presentó valores del IAF de 0.95; 0.81 y 0.54

m^2/m^2 para las L1 (420mm), L2 (336mm) y L3 (252mm), respectivamente. Asimismo en la variedad ALTIPLANO se encontró valores de IAF de 0.97; 0.57 y 0.47 m^2/m^2 para L1, L2 y L3. La variedad SALCEDO-INIA presentó valores de IAF de 1.25 m^2/m^2 para las L1, 0.42 para la L2 y 0.57 para L3. Finalmente, con la variedad KANCOLLA se obtuvo valores de IAF de 0.75 m^2/m^2 para L1, 0.48 para L2 y de 0.55 m^2/m^2 para L3.

Índice de cosecha (IC%)

El índice de cosecha (IC) expresa la eficiencia del cultivo, relacionando la materia seca del producto cosechado (grano de quinua) respecto de la materia seca total producida (hojas + tallos + panoja) (Anexo 15). Al respecto, la media para el cultivo de quinua en las cuatro variedades alcanza un valor de 16.9%. Para la lámina L1:420 mm/campaña, un valor de 13.8%, para L2: 336 mm/campaña, 17% y para L3: 252 mm/campaña, 19.9%. De otro lado, la variedad 415-PASANKALLA, presentó valores del IC% de 5.1; 3.9 y 5.2% para L1: ETc = 420 mm, L2: ETc = 336 mm y L3: ETc = 252 mm, respectivamente. Asimismo, en la ALTIPLANO de 25.4; 29.7 y 35.5 % para L1, L2 y L3, respectivamente. En la variedad SALCEDO-INIA presentó valores del IC de 11.3% para L1, de 16.7% para L2 y de 18.1% para L3. Finalmente, en la variedad KANCOLLA se obtuvo valores de IC de 13.3% para L1, de 17.5% para L2 y de 20.6% para L3.

Coefficiente de transpiración (CT=l/kg)

Parámetro agronómico que indica la cantidad de agua evapotranspirada (litros) necesaria para producir un kilogramo de materia seca-parte aérea (Anexo 17). Al respecto, la media para el cultivo de quinua en las cuatro variedades alcanza un valor de 446.1 l/kg. Para la lámina L1:420 mm/campaña, un valor de 441.4 l/kg para L2: 336 mm/campaña y de 450 l/kg para L3: 252 mm/campaña de 446.9 l/kg.

Para variedades, 415-PASANKALLA, presentó valores de CT de 560.9; 507.3 y 443.3 l/kg para L1 (420mm), L2 (336mm) y L3 (252mm) respectivamente. Asimismo, la variedad ALTIPLANO presentó valores de CT de 384.4; 361.2 y 455.7 l/kg para L1, L2 y L3, respectivamente. La variedad SALCEDO-INIA de 256.2 l/kg para L1, de 418.7 l/kg para L2 y de 400.5 l/kg para L3. Finalmente, con la variedad KANCOLLA se obtuvo valores de CT de 564.3 l/kg para L1, de 512.9 l/kg para L2 y de 488.1 l/kg para L3.

Tabla 10: Resultados y parámetros agronómicos de cuatro variedades de quinua para L1: 420 mm/campaña

<i>Características</i>	<i>unidad</i>	<i>Variedades de quinua</i>				<i>Promedio</i>
		415-Pasankalla	Altiplano-INIA	Salcedo-INIA	Kancolla	
Rendimiento grano quinua	<i>kg/ha</i>	464.4	2857.3	1651.1	1184.0	1539.2
Variables de crecimiento						
Altura de planta	<i>cm</i>	149.81	163.01	145.56	129.2	146.9
Área foliar	<i>cm²/planta</i>	830.5	879.3	1212.3	710.4	908.13
Materia seca total	<i>g/planta</i>	64.78	91.23	128.46	61.54	86.50
Componentes del rendimiento						
Número de plantas/m ²	<i>plantas</i>	12	12.7	13.8	12.9	12.9
Rendimiento/panoja	<i>g</i>	3.8	23.8	12.5	9.3	12.35
Peso de 1000 granos	<i>g</i>	3.45	4.13	3.49	2.67	3.44
Parámetros agronómicos						
Eficiencia de uso de agua (EUA)	<i>kg/m³</i>	0.140	0.680	0.393	0.282	0.374
Índice de cosecha (IC)	<i>%</i>	5.1	25.4	11.3	13.3	13.78
Índice de área foliar (IAF)	<i>m²/m²</i>	0.95	0.97	1.25	0.75	0.98
Coefficiente de transpiración (CT)	<i>l/kg</i>	560.88	384.39	256.18	564.3	441.44
Variables de calidad de grano						
Porcentaje de proteínas	<i>%</i>	11.9	14.1	12.8	11.4	12.55
Saponina en grano	<i>%</i>	8.3	97.3	84.0	78.6	67.1

Tabla 11: Resultados y parámetros agronómicos de cuatro variedades de quinua para L2: 336 mm/campaña

<i>Características</i>	<i>unidad</i>	<i>Variedades de quinua</i>				<i>Promedio</i>
		415-Pasankalla	Altiplano-INIA	Salcedo-INIA	Kancolla	
Rendimiento grano quinua	<i>kg/ha</i>	316.7	2659.8	1683.0	1235.5	1473.75
Variables de crecimiento						
Altura de planta	<i>cm</i>	150.0	159.5	139.88	125.3	143.67
Área foliar	<i>cm²/planta</i>	695.3	567.4	478.9	398.3	534.98
Materia seca total	<i>g/planta</i>	59.64	82.84	80.33	53.54	69.09
Componentes del rendimiento						
Número de plantas/m ²	<i>plantas</i>	12.3	11.9	10.9	12.7	11.95
Rendimiento/panoja	<i>g</i>	2.3	15.5	6.8	5.5	7.53
Peso de 1000 granos	<i>g</i>	3.27	3.83	3.69	2.83	3.41
Parámetros agronómicos						
Eficiencia de uso de agua (EUA)	<i>kg/m³</i>	0.094	0.792	0.501	0.368	0.439
Índice de cosecha (IC)	<i>%</i>	3.9	29.7	16.7	17.5	16.95
Índice de área foliar (IAF)	<i>m²/m²</i>	0.81	0.57	0.42	0.48	0.57
Coefficiente de transpiración (CT)	<i>l/kg</i>	507.26	361.17	418.66	512.9	450.0
Variables de calidad de grano						
Porcentaje de proteínas	<i>%</i>	9.1	14.4	13.3	12.0	12.2
Saponina en grano	<i>%</i>	3.7	124.1	101.3	45.2	68.7

Tabla 12: Resultados y parámetros agronómicos de cuatro variedades de quinua para L3: 252 mm/campaña

<i>Características</i>	<i>unidad</i>	<i>Variedades de quinua</i>				<i>Promedio</i>
		415-Pasankalla	Altiplano-INIA	Salcedo-INIA	Kancolla	
Rendimiento grano quinua	<i>kg/ha</i>	336.6	2080.2	1041.9	1244.9	1175.9
Variables de crecimiento						
Altura de planta	<i>cm</i>	141.88	143.25	129.75	120.6	133.87
Área foliar	<i>cm²/planta</i>	671.9	378.2	430.9	503.4	496.1
Materia seca total	<i>g/planta</i>	51.0	44.48	45.95	43.27	46.18
Componentes del rendimiento						
Número de plantas/m ²	<i>plantas</i>	11.5	13.8	15.0	12.4	13.18
Rendimiento/panoja	<i>g</i>	2.9	15.6	7.8	10.1	9.1
Peso de 1000 granos	<i>g</i>	3.06	3.90	3.82	2.74	3.38
Parámetros agronómicos						
Eficiencia de uso de agua (EUA)	<i>kg/m³</i>	0.134	0.825	0.413	0.494	0.467
Índice de cosecha (IC)	<i>%</i>	5.2	35.5	18.1	20.6	19.85
Índice de área foliar (IAF)	<i>m²/m²</i>	0.54	0.47	0.57	0.55	0.533
Coeficiente de transpiración (CT)	<i>l/kg</i>	443.28	455.67	400.48	488.1	446.89
Variables de calidad de grano						
Porcentaje de proteínas	<i>%</i>	11.7	11.9	12.0	10.9	11.63
Saponina en grano	<i>%</i>	5.1	93.9	110.7	41.2	62.8

4.1.3 Fenología del cultivo de quinua y uso-consumo de agua de riego

Las tablas 13, 14 y 15 presentan el consumo de agua de riego del cultivo de quinua, por lámina de riego en estudio durante los 145 días que duró el ciclo. Los valores de uso-consumo de agua o requerimiento de riego, por lámina de riego fue para L1:420 mm de 4,670 m³/ha, para L2: 336 mm de 3,737 m³/ha y para L3:252 mm de 2,804 m³/ha. De otro lado, los diferentes estadios fenológicos en las cuatro variedades de quinua se presentaron en la práctica en similares tiempos.

Así, a 9 DDS (días después de la siembra) el cultivo presentó 2 hojas verdaderas, y el consumo de agua por unidad de área para L1, L2 y L3 fue de 194.57 m³, 171.67 m³ y 162.27 m³ respectivamente. La evapotranspiración del cultivo (ETc) en este estadio fue de 1.139 mm/día para L1, de 0.918 mm/día para L2, y de 0.816 mm/día para L3 y el Kc estimado 0.67, 0.54 y 0.48 respectivamente.

A 31 DDS (días después de la siembra) el cultivo presentó 6 hojas verdaderas, y el consumo de agua por unidad de área para L1, L2 y L3 fue de 711.81 m³, 603.35 m³ y 513.05 m³ respectivamente. La evapotranspiración del cultivo (ETc) en este estadio fue de 2.116 mm/día para L1, de 1.766 mm/día para L2, y de 1.435 mm/día para L3 y el Kc estimado 0.74, 0.64 y 0.52 respectivamente.

A 44 DDS ocurre la aparición del órgano floral con 8 hojas verdaderas, y el consumo acumulado de agua para L1, L2 y L3 fue de 1050.67 m³, 886.32 m³ y 736.21m³ respectivamente en ese momento la evapotranspiración del cultivo (ETc) fue de 2.346 mm/día, 1.959 mm/día y 1.545 mm/día y el Kc estimado de 0.85, 0.71 y 0.56 respectivamente.

A 54 DDS al inicio de la elongación del tallo y panoja, el consumo de agua por el cultivo en este estado fue para L1, L2 y L3 fue de 1338.89 m³, 1122.43 m³ y 926.33 m³, en ese momento la evapotranspiración del cultivo fue de 2.594, 2.125 y 1.711 mm/día y el Kc de 0.94, 0.77 y 0.62 respectivamente.

A 69 DDS se inicia la floración. En este momento el consumo parcial de agua en L1, L2 y L3 fue de 1902.05, 1571.93 y 1272.49 m³/ha representando el 40.7%, 42.1% y 45.4% del consumo total respectivamente. En este periodo la evapotranspiración promedio del cultivo para L1, L2 y L3 fue de 3.379, 2.697 y 2.077 mm/día y el Kc de 1.09, 0.87 y 0.67 respectivamente.

A 82 DDS, el cultivo se encuentra en antesis al 50%, siendo el gasto hasta este momento fenológico en L1, L2 y L3 de 2466.25, 2033.14 y 1594.89m³, representando el 52.8%,54.4% y 56.9% del total aplicado. Asimismo, la ETcpromedio fue de 3.906, 3.193 y 2.232mm/día y el Kc de 1.26, 1.03 y 0.72 respectivamente.

A 100 DDS, el cultivo se encuentra en el estadio de formación del grano (grano lechoso), siendo el consumo de agua en L1, L2 y L3 de 3360.12 m³/ha, 2667.14 m³/ha y 2083.69 m³/ha, representando del consumo total el 71.9%, 71.4% y 74.3%. LaETc para L1, L2 y L3 en esta etapa fue de 4.469 mm/día, 3.170 mm/día y 2.444 mm/día y el Kc de 1.17, 0.83 y 0.64 respectivamente.

A 120 DD, el cultivo se encuentra en el estadio de grano pastoso, siendo el gasto parcial de agua para L1, L2 y L3 de 4132.5 mm³/ha, 3286.7 m³/ha y 2499.4 m³/ha, la ETc de 3.476 mm/día, 2.788 mm/día y 1.871 mm/día y el Kc de 0.91, 0.73 y 0.49 respectivamente. Finalmente, a los 135 DDS, en el estadio de grano maduro, finaliza el periodo de riego y el consumo total de agua para L1, L2 Y L3 es 4670.2 m³/ha, 3737.2 m³/ha y 2804.6 m³/ha.

4.1.4 Momentos y niveles del riego en el cultivo de quinua

Al término del ciclo del cultivo cada régimen de riego en estudio presento su propia característica respecto a cuánto y cuando se regó. Bajo las condiciones de L1: ETc = 420 mm/campaña, se aplicó un total de 82 riegos por campaña y el intervalo medio entre riegos fue de 2.3 días. El valor mínimo se presentó a nivel del estadio de grano lechoso (100 DDS) con 1.39 días entre riegos. Para las condiciones impuestas en L2: ETc = 336 mm/campaña, se aplicaron 69 riegos, con un intervalo medio de 2.7 días entre riegos y un intervalo mínimo entre los estadios de antesis al 50% (82 DDS) y grano lechoso (100 DDS) con 1.5 días entre riegos.

Finalmente, en las condiciones del régimen de riego de L3: ETc = 252 mm/campaña, se aplicaron 51 riegos por campaña siendo el intervalo medio de 3.3 días entre riegos consecutivos y presentándose el valor mínimo de manera similar a L1, en el estadio de grano lechoso con 1.9 días entre riegos consecutivos.

Tabla 13: Fenología de la Quinua y requerimiento de riego para L1: ETc = 420 mm

Fecha	Estado fenológico	DDS	Días acumulados	Eo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	RR neto (mm)	RR total (m3/ha)	Intervalo de riego (días)	número de riegos
02-Set	SIEMBRA		-4				4.200*	46.67		
05-Set	0. Emergencia	0	0	1.70	0.45	0.765	3.060	34.00	6.27	0.63
14-Set	1. Crecimiento lento- 2 hojas	9	9	1.70	0.67	1.139	10.251	113.90	4.21	2.13
03-oct	2. Desarrollo de hojas-6 hojas	31	22	2.76	0.74	2.116	46.552	517.24	2.27	9.69
16-oct	3. Aparición del órgano floral-8h	44	13	2.76	0.85	2.346	30.498	338.86	2.04	6.37
26 Oct.	4. Elongación del tallo y panoja	54	10	2.76	0.94	2.594	25.940	288.22	1.85	5.40
10-nov	5. inicio floración	69	15	3.10	1.09	3.379	50.685	563.16	1.42	10.56
23-nov	6. Antesis al 50%	82	13	3.10	1.26	3.906	50.778	564.20	1.23	10.57
11-dic	7. Grano lechoso	100	18	3.82	1.17	4.469	80.449	893.87	1.07	16.82
31-dic	8. Grano pastoso	120	20	3.82	0.91	3.476	69.520	772.44	1.38	10.06
15-ene	9. Grano maduro	135	15	4.36	0.74	3.226	48.390	537.73	1.49	9.93
30-ene	COSECHA	145	10							
Totales y/o promedios				2.99	0.88	2.742	420.3	4670.3	2.32	82.1

* 45 minutos de riego de presembrado ** Eficiencia de riego 90% *** Lámina neta = 4.0 vol. hum. x 60 cm x 0.2 = 4.8 mm

Tabla 14: Fenología de la Quinua y requerimiento de riego para L2: ETc = 336 mm

Fecha	Estado fenológico	DDS	Días acumulados	Eo(mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	RR neto (mm)	RR total (m3/ha)**	Intervalo de riego (días)***	Número de riegos
02-Set	SIEMBRA		-4				4.200*	46.67		
05-Set	0. Emergencia	0	0	1.70	0.45	0.765	3.060	34.00	6.27	0.63
14-Set	1. Crecimiento lento- 2 hojas	9	9	1.70	0.54	0.918	8.262	91.00	5.22	1.72
03-oct	2. Desarrollo de hojas - 6 hojas	31	22	2.76	0.64	1.766	38.852	431.68	2.72	8.09
16-oct	3. Aparición del órgano floral-8h.	44	13	2.76	0.71	1.959	25.467	282.97	2.45	5.30
26 Oct.	4. Elongación del tallo y panoja	54	10	2.76	0.77	2.125	21.250	236.11	2.25	4.44
10-nov	5. inicio floración	69	15	3.10	0.87	2.697	40.455	449.50	1.78	8.42
23-nov	6. Antesis al 50%	82	13	3.10	1.03	3.193	41.509	461.21	1.50	8.67
11-dic	7. Grano lechoso	100	18	3.82	0.83	3.170	57.060	634.00	1.51	11.92
31-dic	8. Grano pastoso	120	20	3.82	0.73	2.788	55.760	619.56	1.72	11.62
15-ene	9. Grano maduro	135	15	4.36	0.62	2.703	40.545	450.50	1.77	8.47
30-ene	COSECHA	145	10							
Totales y/o promedios				2.99	0.72	2.208	336.4	3737.2	2.72	69.3

*45 minutos de riego de presiembra ** Eficiencia de riego 90% *** Lámina neta = 4.0 vol. hum. x 60 cm x 0.2 = 4.8 mm

Tabla 15: Fenología de la quinua y requerimiento de riego para L3: ETc= 252 mm

Fecha	Estado fenológico	DDS	Díasacu- mulados	Eo(mm/día)	Kc	ETc(mm/ día)	RR neto (mm)	**RR total (m3/ha)	Intervalo de riego (días)***	Número de riegos
02-Set	SIEMBRA		-4				4.200*	46.67		
05-Set	0. Emergencia	0	0	1.70	0.45	0.765	3.060	34.00	6.27	0.63
14-Set	1. Crecimiento lento- 2 hojas	9	9	1.70	0.48	0.816	7.344	81.60	5.88	1.53
03-oct	2. Desarrollo de hojas - 6 hojas	31	22	2.76	0.52	1.435	31.570	350.78	3.34	6.58
16-oct	3. Aparición del órgano floral-8 h	44	13	2.76	0.56	1.545	20.085	223.17	3.10	4.19
26 Oct.	4. Elongación del tallo y panoja	54	10	2.76	0.62	1.711	17.110	190.11	2.81	3.55
10-nov	5. inicio floración	69	15	3.10	0.67	2.077	31.155	346.16	2.31	6.49
23-nov	6. Antesis al 50%	82	13	3.10	0.72	2.232	29.016	322.40	2.15	6.04
11-dic	7. Grano lechoso	100	18	3.82	0.64	2.444	43.992	488.80	1.96	9.18
31-dic	8. Grano pastoso	120	20	3.82	0.49	1.871	37.420	415.78	2.56	7.81
15-ene	9. Grano maduro	135	15	4.36	0.42	1.831	27.465	305.16	2.62	5.72
30-ene	COSECHA	145	10							
	Totales y/o promedios			2.99	0.56	1.673	252.4	2804.6	3.30	51.7

*45 minutos de riego de presiembra ** Eficiencia de riego 90% *** Lámina neta = 4.0 vol. hum. x 60 cm x 0.2 = 4.8 mm

4.1.5 Determinación de la humedad del suelo por lámina de riego.

En la tabla 16, se aprecia los valores de humedad del suelo en seis principales estadios fenológicos del cultivo de quinua: crecimiento lento, elongación del tallo y panoja, floración y formación de grano (grano lechoso), grano pastoso y grano maduro por lámina de riego en estudio;

En el crecimiento lento (31 DDS) la humedad media del suelo para los regímenes L1, L2 y L3 fueron; 28.3%, 23.6% y 21.3% humedad volumen, siendo la succión mátrica media, obtenida en base a la curva característica de humedad, de 0.28 bar, 0.84 bar y 2.29 bars respectivamente.

En el estado fenológico de elongación del tallo y panoja (54 DDS) la humedad del suelo para los regímenes L1, L2 y L3 fueron; 27.8%, 21.9% y 23.0% hum.vol., siendo la succión mátrica correspondiente de 0.31 bar, 1.71 bar y 0.98 bar respectivamente.

Para el estado fenológico de floración (69 DDS) la humedad del suelo para L1, L2 y L3 fue 29.2%, 24.2% y 21.5% humedad en volumen, siendo la variación en términos de succión mátrica de 0.25, 0.69 y 2bars respectivamente. Para el estado fenológico de grano lechoso (100 DDS) la humedad del suelo para L1, L2 y L3 fue 28.7%, 20.9% y 20.5% humedad en volumen, siendo la variación entre láminas de riego, en términos de succión mátrica de 0.27 bar, 2.86 bars y 3.43 bars respectivamente.

En el estado fenológico de grano pastoso (120 DDS) la humedad de suelo para los regímenes L1, L2 y L3 fueron; 25.0%, 23.9% y 23.7% hum. vol., siendo la succión mátrica correspondiente de 0.56 bar, 0.76 bar y 0.81 bar respectivamente.

Finalmente, para el estado fenológico de grano maduro (135 DDS) las humedades de suelo para las láminas L1, L2 y L3 fueron 27.0%, 23.9% y 20.4% humedad en volumen siendo la variación en términos de succión mátrica de 0.36, 0.76 y 3.57 bars respectivamente. En general, durante el tiempo que duro ciclo vegetativo del cultivo de quinua los valores de la humedad del suelo (% en volumen) en promedio para todo el ciclo del cultivo, fueron para L1: $ET_c = 420$ mm/campaña de 27.7%, siendo la succión mátrica de 0.31 bar. Para L2: $ET_c = 336$ mm/campaña, de 23.1%, siendo la succión mátrica de 0.95 bar y para L3: $ET_c = 252$ mm/campaña con una humedad volumétrica media de 21.7%, la succión mátrica media fue de 1.86 bar.

Tabla 16: Muestreo de humedad del suelo en diferentes estados fenológicos del cultivo de la quinua

Lámina de riego	Fecha	06/10/2014			31/10/2014			18/11/2014			13/12/2014			22/12/2014			10/01/2015			Prom. general %Hg	Prom. general %Hv
		Crecimiento lento			Elongación de tallo y panoja			Floración			Grano lechoso			Grano pastoso			Grano maduro				
	Prof. (cm)	%Hg	%Hv	Prom. %Hv	%Hg	%Hv	Prom. %Hv	%Hg	%Hv	Prom. %Hv	%Hg	%Hv	Prom. %Hv	%Hg	%Hv	Prom. %Hv	%Hg	%Hv	Prom. %Hv		
L1	15	17.52	24.87	28.28	16.48	23.41	27.83	18.86	26.79	29.20	17.38	24.67	28.71	15.59	22.13	25.04	17.08	24.25	26.99	18.17	27.67
	30	19.76	30.24		18.22	27.88		18.89	28.90		19.51	29.84		16.24	24.85		17.73	27.13			
	45	18.47	29.74		20.00	32.20		19.82	31.90		19.63	31.60		17.48	28.15		18.37	29.57			
L2	15	14.80	21.02	23.57	14.48	20.57	21.86	15.58	22.13	24.23	12.85	18.25	20.93	15.60	22.15	23.93	13.75	19.53	23.90	15.13	23.07
	30	15.30	23.41		13.98	21.39		16.17	24.74		13.29	21.34		16.01	24.50		16.73	25.59			
	45	16.32	26.27		14.67	23.63		16.04	25.82		14.66	23.20		15.61	25.13		16.51	26.57			
L3	15	13.27	18.84	21.31	14.10	20.02	23.03	14.06	19.96	21.50	11.18	18.98	20.52	14.53	20.64	23.73	13.10	18.60	20.37	13.99	21.74
	30	14.24	21.78		15.62	23.89		13.42	20.54		12.26	20.76		15.20	23.25		13.58	20.77			
	45	14.47	23.30		15.64	25.18		14.91	24.01		11.87	21.81		16.95	27.29		13.50	21.74			

4.2 Variables de crecimiento del cultivo de quinua

Para las variables altura de planta, área foliar y diámetro de tallo, el análisis de variancia muestra diferencias significativas para láminas de riego. Solo, la altura de planta muestra diferencias altamente significativas para variedades de quinua. Los resultados de las variables de crecimiento se muestran en la tabla 17.

Altura de planta (cm)

Para esta variable (Figura 7), la prueba de comparación de medias de Duncan presenta medias estadísticamente similares en L1(420 mm) y L2(336mm) pero estadísticamente diferentes a L3 (252mm), El mayor valor de 146.9 cm caracteriza L1, siendo las diferencias porcentuales de 2.2% y de 9.7% respecto de L2 y L3. Existe alta correlación positiva entre el rendimiento de grano y la altura de planta (**Rivero, 1985**), **Timaná (1992)** encontró esta misma correlación positiva en la línea Avanzada 5 actualmente variedad 'La Molina 89'. Asimismo, respecto a las variedades de quinua, la prueba de Duncan indica que Altiplano, PASANKALLA-415, SALCEDO-INIA y KANCOLLA, son estadísticamente diferentes entre sí. La variedad Altiplano se caracteriza por presentar la mayor altura de planta con 155.2 cm. KANCOLLA presenta el menor valor con 125.1cm.

Área foliar (cm²/planta)

Respecto a esta variable (Figura 8), la prueba de comparación de Duncan para el efecto de las láminas de riego indica que L1 presenta la mayor área foliar con 908.1 cm²/planta, diferente estadísticamente a L2 y L3, las cuales son similares estadísticamente entre sí, siendo las diferencias porcentuales de 69.7% y de 92.7% respectivamente. Respecto al promedio de variedades, Duncan indica que las medias son estadísticamente similares, presentando el mayor valor en la variedad Salcedo con 707.4 cm²/planta y el valor más bajo, la variedad KANCOLLA con 537.4 cm²/planta, siendo la diferencia porcentual de 31.6%. **Echegaray (2003)**, ensayando con las variedades La Molina 89 y Amarilla de Marangani halló que el área foliar es mayor con el riego indirecto (**Barnett, 2005**).

Tabla 17: Variables de crecimiento del cultivo de quinua

Factor en estudio	Altura de planta (cm)	Área foliar (cm²/planta)	Diámetro de tallo(cm)	
Láminas de riego (mm)				
L1: 420	134.85	908.1	1.31	
L2: 336	143.40	534.9	1.28	
L3: 252	125.74	421.3	1.11	
Variedades				
V1: INIA 415-Pasankalla	147.23	682.4	1.29	
V2: Altiplano-INIA	155.25	596.1	1.23	
V3: Salcedo-INIA	138.40	692.3	1.28	
V4: Kancolla	125.08	515.0	1.13	
Promedio General	141.49	621.5	1.23	
Análisis de Variancia				
Fuentes de variación	GL	Significación		
Lámina riego (LL)	2	*	*	*
Variedad (VV)	3	**	NS	NS
Interacción (Lámina x Variedad)	6	NS	NS	NS
CV (%)		2.8	35.9	13.6

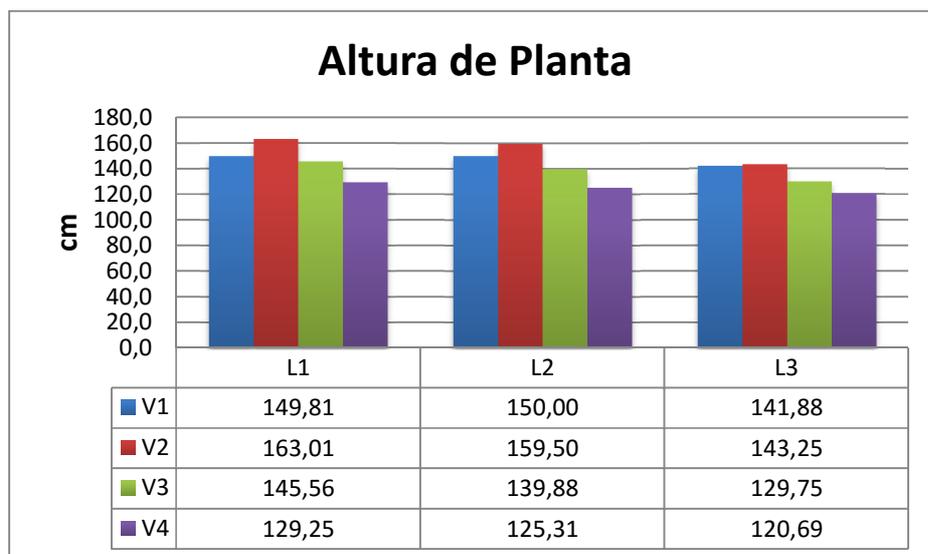


Figura 7: Efecto de la lámina de riego en la altura de planta- Anexo 1

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de la lámina de riego en la altura de planta

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	146.90	A	109.7
L2: 336 mm	143.67	A	107.3
L3:252 mm	133.89	B	100.0

Promedio de la variedad de quinua en la altura de planta

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V2 Altiplano-INIA	155.25	A	124.1
V1 415-Pasankalla	147.22	B	117.7
V3 Salcedo -INIA	138.39	C	110.6
V4 Kancolla	125.08	D	100.0

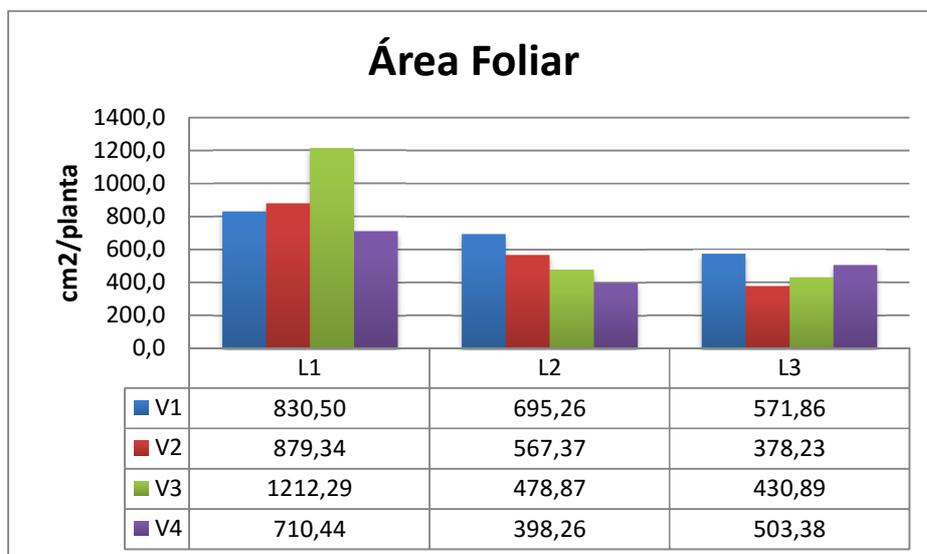


Figura 8: Efecto de la lámina de riego en el área foliar- Anexo 2

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de la lámina de riego en el área foliar

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	908.1	A	192.8
L2: 336 mm	534.9	B	113.5
L3: 252 mm	471.1	B	100.0

Promedio de la variedad de quinua en el área foliar

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V3 Salcedo -INIA	707.35	A	131.6
V1 415-Pasankalla	699.21	A	130.1
V2 Altiplano-INIA	608.31	A	113.2
V4 Kancolla	537.36	A	100.0

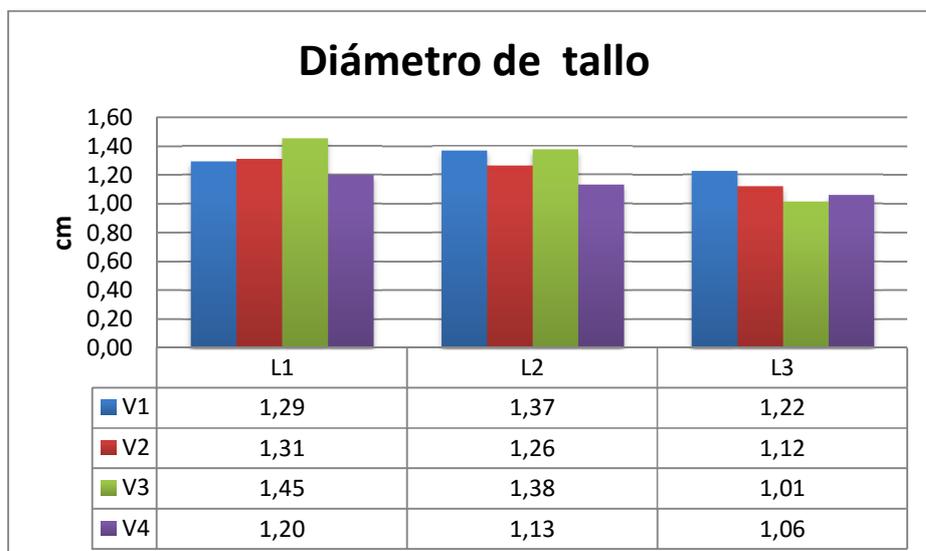


Figura 9: Efecto de la lámina de riego en el diámetro de tallo- Anexo 3

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de la lámina de riego en el diámetro de tallo

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	1.31	A	118.9
L2: 336 mm	1.28	A	116.1
L3: 252 mm	1.10	B	100.0

Promedio de la variedad de quinua en el diámetro de tallo

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V1 415-Pasankalla	1.29	A	114.5
V3 Salcedo -INIA	1.28	A	113.3
V2 Altiplano-INIA	1.23	AB	108.9
V4 Kancolla	1.13	B	100.0

Diámetro de tallo (cm)

Para esta variable (Figura 9) las pruebas de comparación de Duncan para el efecto de la aplicación de tres láminas de riego indica que las medias de L1 (420 mm) con 1.31 cm y L2 (336 mm) con 1.28 cm son estadísticamente similares, pero difieren estadísticamente de L3 (252 mm) que presenta un valor de 1.11 cm. Respecto a las variedades, la prueba de Duncan indica que las medias de PASANKALLA, y SALCEDO son estadísticamente similares, pero difieren estadísticamente de KANCOLLA, que presenta el menor valor con 1.13 cm.

4.3 Materia seca total y componentes

En la tabla 18, se presenta los resultados de la aplicación de tres láminas de riego, sobre la materia seca total y de sus componentes; materia seca de hojas, materia seca de tallos y materia seca de panoja.

Materia seca de hojas (g/planta)

Para esta variable (Figura 10), la prueba de comparación de Duncan para láminas de riego, indica que la media de L1 (420 mm) que tiene el mayor valor de 3.9 g/planta difiere estadísticamente de L2 (336 mm) y de L3 (252 mm), y ambas difieren estadísticamente de. Asimismo, respecto a las medias de materia seca de hojas que resulta de las variedades, Duncan indica que la variedad KANCOLLA difiere estadísticamente de las demás variedades, teniendo el menor valor de 1.9 g/planta, el mayor valor 3.14 g/planta es para INIA 415-PASANKALLA representando un 62% de incremento respecto a KANCOLLA.

Materia Seca de Tallo (g/planta)

En cuanto a la variable materia seca de tallos (Figura 11), la prueba de comparación de medias de Duncan presenta medias estadísticamente similares en L1; 420 mm y L2; 336mm, pero estadísticamente diferente a L3; 252 mm. El mayor valor de 22.48 g/panta caracteriza a la L1, con un valor de 19.15 g/panta y 45% de incremento porcentual respecto de L3 con 13.19 g/panta.

De otro lado para las variedades de quinua, Duncan indica que la variedad Kancolla es

diferente estadísticamente a INIA 415-PASANKALLA, ALTIPLANO, SALCEDO-INIA, estadísticamente similares entre sí. La variedad PASANKALLA-415 presenta el mayor valor (20.8g) representando 69.4% de incremento respecto al menor valor (12.28g) que caracteriza a la variedad KANCOLLA.

Materia Seca de Panoja (g/planta)

Respecto a esta variable (Figura 12), la prueba de Duncan para las láminas de riego, indica que las medias son diferentes estadísticamente entre sí, el mayor valor caracteriza la L1 de 420mm con un valor de 60.09 g/planta, representando un incremento de 93.7% respecto a L3 de 252 mm. Asimismo, la prueba de comparación de Duncan, indica que no existen diferencias estadísticas en las variedades KANCOLLA Y PASANKALLA-415, sin embargo, las variedades SALCEDO-INIA y ALTIPLANO-INIA son diferentes estadísticamente. La variedad SALCEDO-INIA presenta el mayor valor (62.09 g/planta) representando un 79.9% de incremento respecto al menor valor (34.52 g/planta) que caracteriza la variedad 415-PASANKALLA.

Materia Seca total (g/planta)

Respecto a esta variable (Figura 13), la prueba de Duncan para las tres láminas de riego, indica que las medias son diferentes estadísticamente entre sí, el mayor valor caracteriza la L1 de 420 mm con un valor de 86.50 g/planta, representando un incremento de 87.3% respecto a L3 de 252 mm. Asimismo, la prueba de comparación de Duncan para las variedades, indica que no existe diferencia significativa para las variedades KANCOLLA e INIA 415-PASANKALLA, respecto a la materia seca total, sin embargo las variedades SALCEDO-INIA y ALTIPLANO-INIA si presentan diferencias estadísticas.

La variedad SALCEDO-INIA presenta el mayor valor (84.91 g/planta) representando 60.9% de incremento respecto al menor valor (52.79 g/planta) que caracteriza la variedad INIA 415-PASANKALLA. **Rivero (1985)**, halló alta correlación positiva entre el rendimiento de grano y el rendimiento de broza. Después de la cosecha, la quinua presenta una materia seca de 16 ton/ha aproximadamente (incluido grano, tallos y broza); el índice de cosecha promedio en quinua es de 0.30, con una variación de 0.21 a 0.45 dependiendo de las variedades (**Canahua et al., 2001**).

Tabla 18: Materia seca de quinua y componentes (g/planta)

Factor en estudio	Materia seca total (g/planta)	Materia seca de hojas (g/planta)	Materia seca de tallo (g/planta)	Materia seca de panoja (g/planta)
Láminas de riego (mm)				
L1: 420	86.50	3.93	22.48	60.09
L2: 336	69.09	2.51	19.15	47.42
L3: 252	46.18	1.97	13.19	31.02
Variedades				
V1: INIA 415-Pasankalla	58.47	3.14	20.81	34.52
V2: Altiplano-INIA	72.85	3.13	20.19	49.53
V3: Salcedo-INIA	84.91	3.00	19.82	62.09
V4: Kancolla	52.79	1.94	12.28	38.56
Promedio General	67.26	2.80	18.28	46.18
Análisis de Variancia				
Fuentes de variación	GL	Significación		
Lámina riego (LL)	2	**	**	NS
Variedad (VV)	3	**	*	**
Interacción (Lámina x Variedad)	6	**	*	NS
CV (%)		13.2	34.5	22.9
				12.9

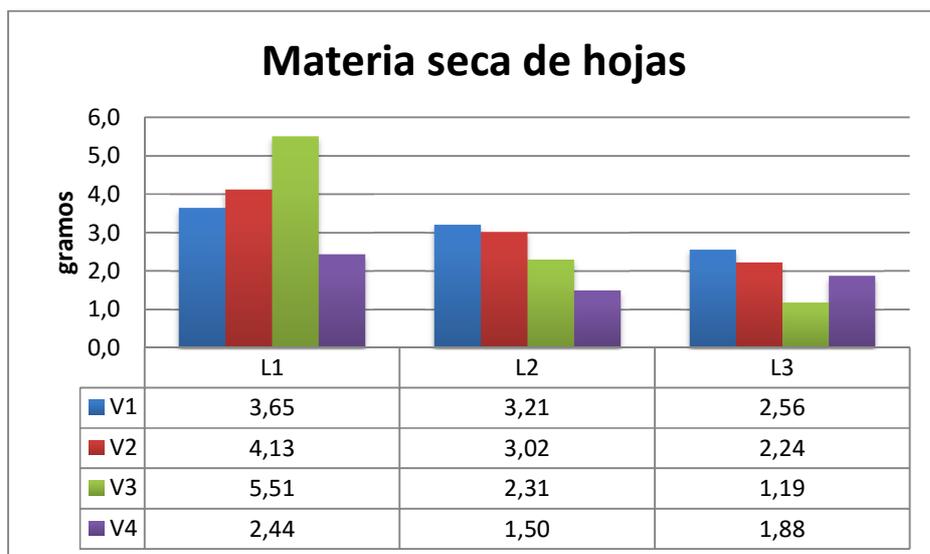


Figura 10: Efecto de la lámina de riego en la materia seca de hojas- Anexo 4

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de la lámina de riego en la materia seca de hojas

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	3.93	A	199.8
L2: 336 mm	2.51	B	127.6
L3: 252 mm	1.96	B	100.0

Promedio de la variedad de quinua en la materia seca de hojas

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V1 Pasankalla-415	3.14	A	162.0
V2 Altiplano-INIA	3.12	A	161.3
V3 Salcedo -INIA	3.00	A	154.8
V4 Kancolla	1.94	B	100.0

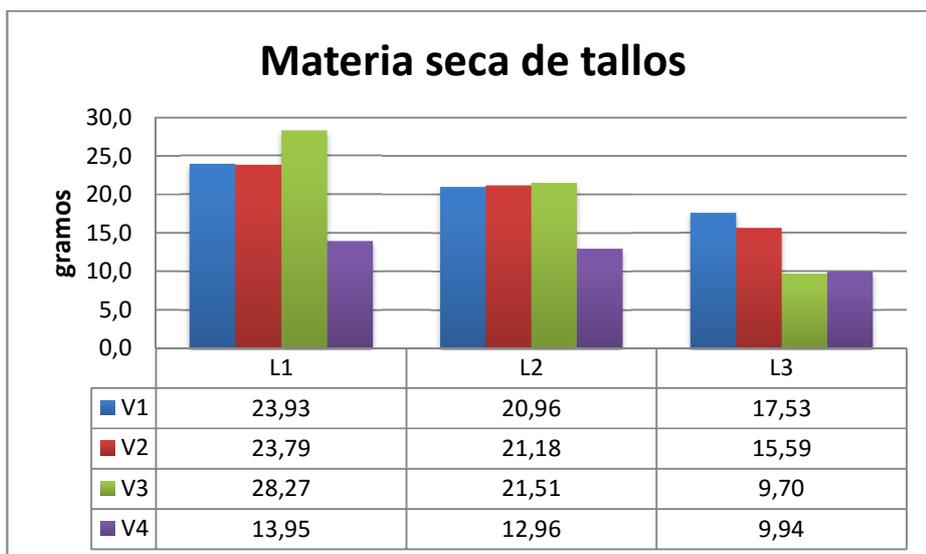


Figura 11: Efecto de la lámina de riego en la materia seca de tallos- Anexo 5

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de la lámina de riego en la materia seca de tallos

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	22.48	A	170.5
L2: 336 mm	19.15	A	145.2
L3: 252 mm	13.19	B	100.0

Promedios de la variedad de quinua en la materia seca de tallos

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V1 415-Pasankalla	20.80	A	169.4
V2 Altiplano-INIA	20.18	A	164.3
V3 Salcedo -INIA	19.82	A	161.4
V4 Kancolla	12.28	B	100.0

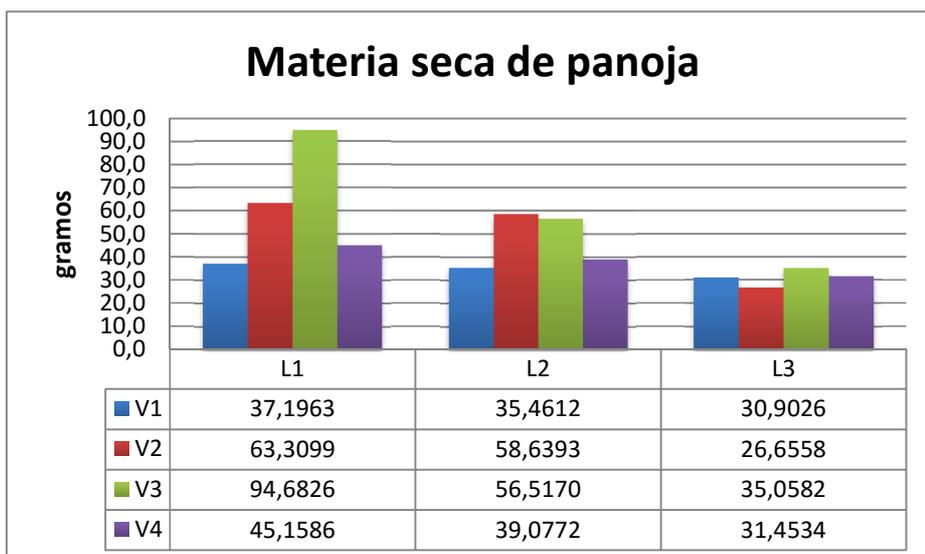


Figura 12: Efecto de la lámina de riego en la materia seca de la panoja - Anexo 6

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de lámina de riego en la materia seca de panoja

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	60.08	A	193.7
L2: 336 mm	47.42	B	152.9
L3: 252 mm	31.01	C	100.0

Promedio de la variedad de quinua en materia seca de panoja

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V3 Salcedo -INIA	62.08	A	179.9
V2 Altiplano-INIA	49.53	B	143.5
V4 Kancolla	38.56	C	111.7
V1 415-Pasankalla	34.52	C	100.0

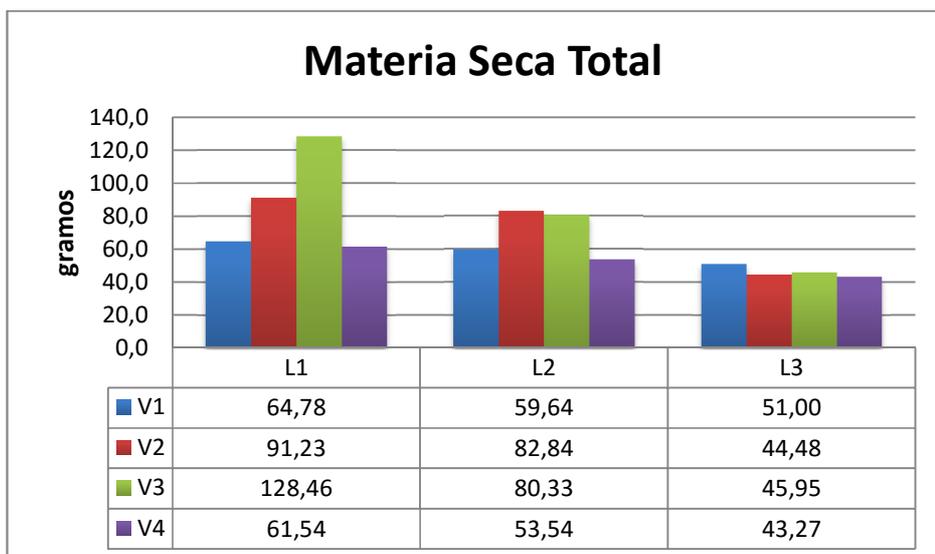


Figura 13: Efecto de la lámina de riego en la materia seca total- Anexo 7

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de la lámina de riegos en la materia seca total

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	86.50	A	187.3
L2: 336 mm	69.08	B	149.6
L3: 252 mm	46.17	C	100.0

Promedio de la variedad de quinua en la materia seca total

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V3 Salcedo -INIA	84.91	A	160.9
V2 Altiplano-INIA	72.85	B	138.0
V1 415-Pasankalla	58.47	C	110.8
V4 Kancolla	52.78	C	100.0

4.4 Rendimiento de grano de quinua (kg/ha-14% humedad)

En la tabla 19, se aprecian los resultados en la variable Rendimiento de grano de quinua, por efecto de la aplicación de tres láminas de riego en cuatro variedades de quinua. Al respecto, el análisis de variancia para probarlos efectos del régimen de riego en el rendimiento de grano de quinua, muestran diferencias significativas para láminas de riego y altamente significativas para variedades de quinua.

Al respecto, la prueba de comparación de Duncan (Figura 14) indica que las medias del rendimiento de quinua para láminas de riego; L1: ETc = 420mm con un rendimiento de 1,539.2 kg/ha de grano y L2: ETc = 336 mm con 1,473.8 kg/ha son similares estadísticamente, y ambas, diferentes estadísticamente a L3: ETc = 252 mm que presenta un rendimiento de 1,175.9 kg/ha. El mayor valor que caracteriza a L1 presenta un incremento de 30.9% respecto L3. Para efectos de variedades de quinua, la prueba de comparación de Duncan indica que no existen diferencias estadísticas entre SALCEDO-INIA y KANCOLLA, sin embargo, la variedad ALTIPLANO-INIA con un rendimiento de 2,532.4 kg/ha de grano-quinua es estadísticamente diferente de SALCEDO-INIA y PASANKALLA, presentando un incremento de 579.7% respecto a la variedad INIA 415-PASANKALLA, que presenta el menor rendimiento con 372.6 kg/ha de quinua-grano y una diferencia porcentual de 73.6% con SALCEDO-INIA y de 103.7% con KANCOLLA.

Los efectos de interacción entre laminas x variedades no es significativa y en general, los menores rendimientos se presentan con la variedad PASANKALLA en las tres láminas en estudio. De otro lado, los mayores rendimientos caracterizan a SALCEDO-INIA, donde los rendimientos de la lámina L1 no difieren estadísticamente de la lámina L2 en esta variedad.

Tabla 19: Rendimiento de grano de quinua (14% Humedad) kg/ha.

Factor en estudio	Rendimiento de quinua grano (kg/ha)	
Láminas de riego (mm)		
L1: 420	1,539.2	
L2: 336	1,473.8	
L3: 252	1,175.9	
Variedades		
V1: INIA 415- PASANKALLA	372.6	
V2: ALTIPLANO-INIA	2,532.4	
V3: SALCEDO-INIA	1,458.7	
V4: KANCOLLA	1,221.5	
Promedio general	1,396.3	
Análisis de variancia		
Fuentes de variación	GL	Significación
Lámina de Riego (LL)	2	*
Variedad (VV)	3	**
Interacción (Lámina x Variedad)	6	NS
CV (%)	30.6	

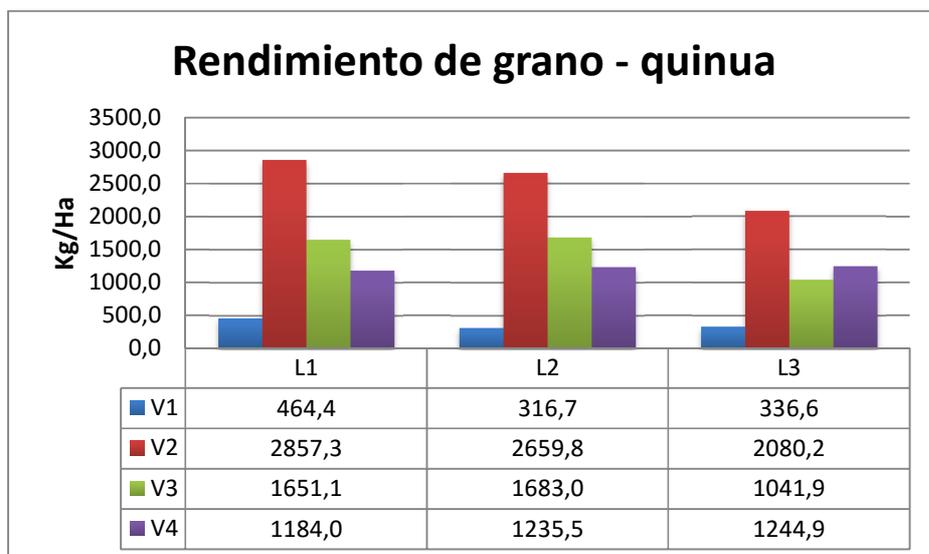


Figura 14: Efecto de la lámina de riego en el rendimiento de grano-quinua (14% Humedad) kg/ha.- Anexo 8

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de láminas de riego en el rendimiento de grano- quinua

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	1,539.2	A	130.9
L2: 336 mm	1,473.7	A	125.3
L3: 252 mm	1,175.9	B	100.0

Promedio de variedades de quinua en el rendimiento de grano

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V2 Altiplano-INIA	2,532.4	A	679.7
V3 Salcedo -INIA	1,458.7	B	391.5
V4 Kancolla	1,221.5	B	327.8
V1 415-Pasankalla	372.6	C	100.0

4.5 Componentes del Rendimiento de la quinua

La tabla 20 presenta los resultados para los componentes del rendimiento del cultivo de quinua; número de plantas/m² (Figura 15), rendimiento g/panoja (Figura 10) y peso de 1000 granos (Figura 11), por efecto de la aplicación de tres láminas de riego L1: ETc = 420 mm, L2: ETc = 336 mm y L3: ETc = 252 mm en cuatro variedades de quinua; INIA 415-PASANKALLA, ALTIPLANO-INIA, SALCEDO-INIA y KANCOLLA.

Al respecto, no se presentan diferencias estadísticas para láminas de riego en las tres variables evaluadas. En general, los valores más elevados caracterizan a L1: ETc = 420 mm. Respecto al número de plantas a la cosecha, se manejaron en promedio 125,000 plantas por ha. Para la variable rendimiento por panoja, L1 presenta el mayor valor con 12.1 g con incrementos porcentuales de 64% respecto de L2: ETc = 336 mm y de 35.2 % respecto de L3: ETc = 252 mm.

Respecto a la variable rendimiento por panoja no existe diferencias estadísticas para los efectos de láminas de riego, sin embargo, el mayor valor de 12.34 g corresponde a L1: ETc = 420mm y el menor rendimiento por panoja con 9.07 g para la lámina L3: ETc = 252mm, con diferencias porcentuales de 35.1%.

Para variedades de quinua, ALTIPLANO presenta el mayor rendimiento por panoja con 20.25 g, presentando diferencias porcentuales de 84.4 % respecto de SALCEDO-INIA, de 110.7% de KANCOLLA y de 549.0% de INIA 415-PASANKALLA.

Para la variable Peso de 1000 g, las medias son similares estadísticamente para láminas de riego, en cambio para variedades de quinua ALTIPLANO Y SALCEDO son similares estadísticamente y presentan los mayores valores y a su vez se diferencian de 415-PASANKALLA Y KANCOLLA, con incrementos del 44%. Al respecto, según **Canahua et. al., 2001**, el peso de 1000 semillas varía de 1.93 a 3.35 g con un promedio de 2.30 g y el peso de 1000 semillas promedio de toda la zona productora del altiplano peruano es en promedio de 3.75 a 3.84 g/1000 semillas, el tamaño de granos predominante es de 1 y 1.1 mm de diámetro (**Lescano, 1994**).

Tabla 20: Componentes del rendimiento de quinua

Factor en estudio	Número de plantas/ m ²	Rendimiento/ panoja (g)	Peso de 1000 granos (g)
Láminas de riego (mm)			
L1: 420	12.9	12.33	3.43
L2: 336	11.9	11.56	3.40
L3: 252	13.2	9.07	3.38
Variedades			
V1: INIA 415-Pasankalla	11.92	3.12	3.26
V2: Altiplano-INIA	12.79	20.25	3.96
V3: Salcedo-INIA	13.25	10.98	3.66
V4: Kancolla	12.65	9.61	2.74
Promedio General	12.65	9.64	3.41
Análisis de Variancia			
Fuentes de variación	GL	Significación	
Lámina riego (LL)	2	NS	NS
Variedad (VV)	3	NS	**
Interacción (Lámina x Variedad)	6	NS	NS
CV (%)	61.6	35.4	11.8

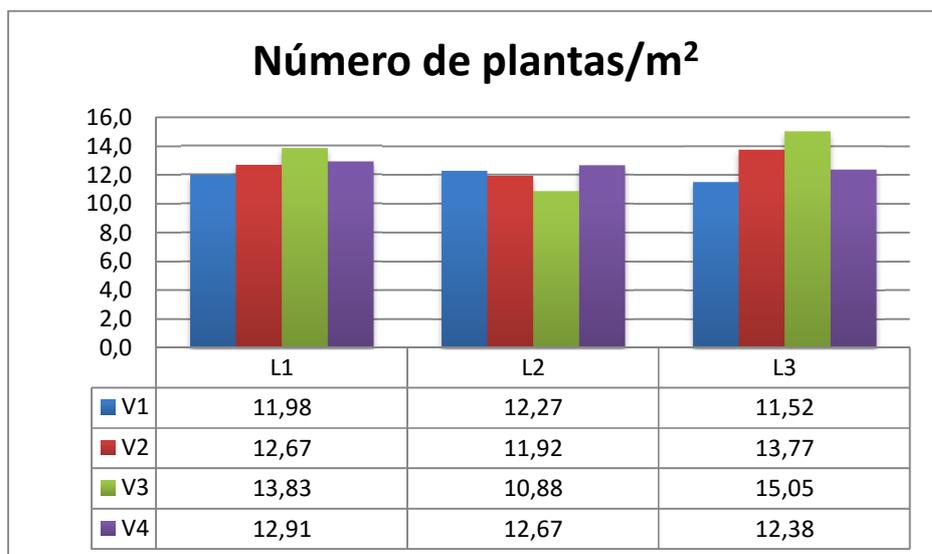


Figura 15: Efecto de la lámina de riego en el número de plantas por m² - Anexo 9

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de láminas de riego en el número de plantas/m²

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L3: 252 mm	13.18	A	110.4
L1: 420 mm	12.85	A	107.6
L2: 336 mm	11.93	A	100.0

Promedio de variedades de quinua en el número de plantas / m²

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V3 Salcedo -INIA	13.25	A	111.2
V2 Altiplano-INIA	12.79	AB	107.3
V4 Kancolla	12.65	AB	106.2
V1 415-Pasankalla	11.92	B	100.0

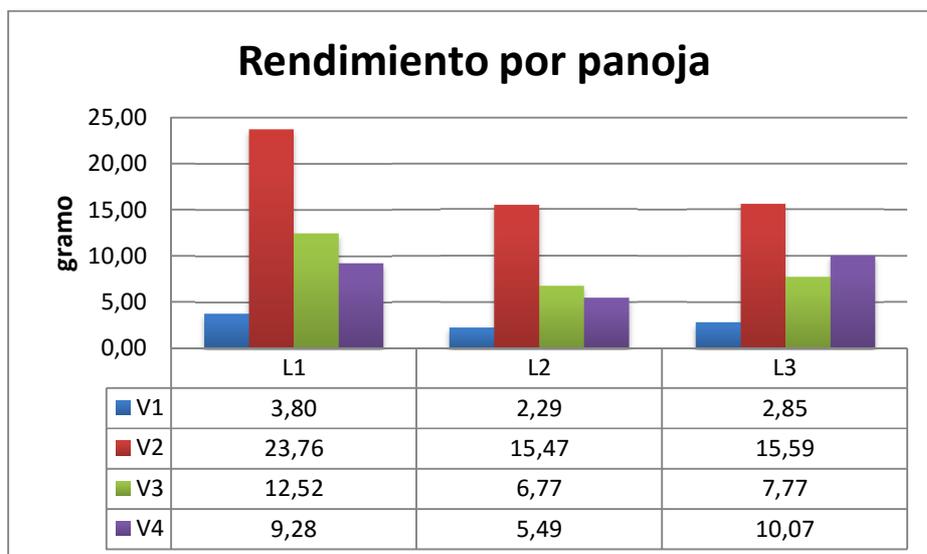


Figura 16: Efecto de la lámina de riego en el rendimiento por panoja - Anexo 10

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de láminas de riego en el rendimiento por panoja

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	12.336	A	136.0
L2: 336 mm	11.567	A	127.5
L3: 252 mm	9.072	B	100.0

Promedio de variedades de quinua en el rendimiento por panoja

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V2 Altiplano-INIA	20.254	A	649.2
V3 Salcedo -INIA	10.988	B	352.2
V4 Kancolla	9.606	B	307.9
V1 415-Pasankalla	3.120	C	100.0

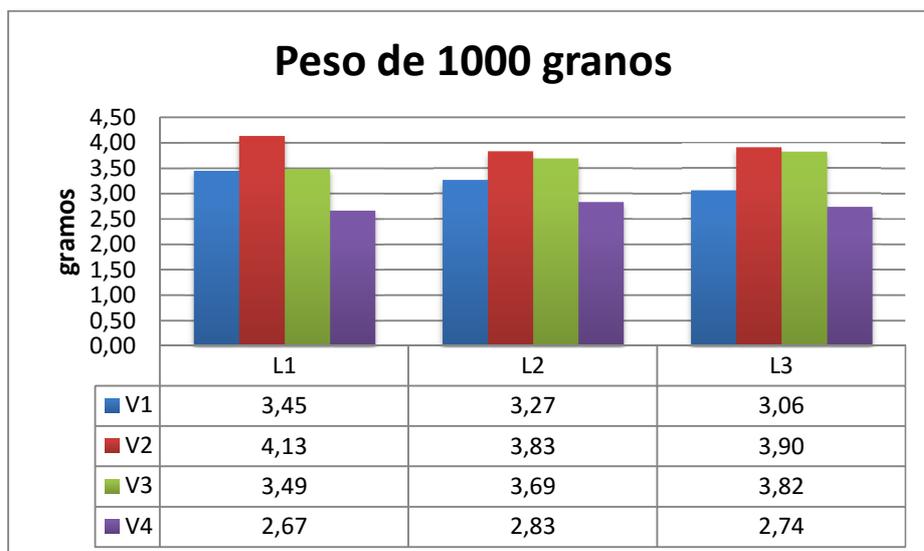


Figura 17: Efecto de la lámina de riego en el peso de 1000 granos- Anexo 11

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de láminas de riego en el peso de 1000 granos.

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	3.433	A	101.6
L2: 336 mm	3.403	A	100.7
L3: 252 mm	3.379	A	100.0

Promedio de variedades de quinua en el peso de 1000 granos.

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V2 Altiplano	3.955	A	144.1
V3 Salcedo -INIA	3.664	A	133.5
V1 415-Pasankalla	3.257	B	118.7
V4 Kancolla	2.744	C	100.0

4.6 Características de calidad de grano

En la tabla 21, se aprecian los resultados para las características de calidad de grano. Para el contenido de proteína en grano (Figura 18), la prueba de DUNCAN no presenta diferencias estadísticas para láminas de riego, sin embargo, el valor más alto caracteriza a L1: ET_c = 420 mm con un promedio de 12.56%.

Entre variedades de quinua se presentan diferencias estadística significativas. La variedad ALTIPLANO-INIA presenta el mayor valor más elevado de contenido proteínico con 13.48%, mostrando incrementos porcentuales del 23.5% de 415 PASANKALLA, de 17.9% de KANCOLLA y de 6.1% de SALCEDO-INIA. Al respecto, el contenido de proteína hallado en diversas evaluaciones llevadas a cabo en Perú, es de 14 a 22% (**Canahua et al., 2001**). El 35 a 40% de la proteína del grano se halla en el embrión y 6 a 8% en el epispermo (**Canahua et al., 2001**).

En general, el contenido de proteínas es más elevado en la variedad ALTIPLANO, en condiciones de L1 y L2 sin diferencias estadísticas. Los valores menores caracterizan siempre a la variedad 415 PASANKALLA.

Respecto a la variable saponinas en grano (Figura 19), no existen diferencias estadísticas entre regímenes de riego, en cambio, las diferencias son altamente significativas entre variedades. Así mismo, se registra efecto de interacción entre los factores en estudio, el más alto nivel de saponinas con 124.1% caracteriza a la variedad ALTIPLANO-INIA bajo las condiciones de L2: ET_c = 336 mm, similar a la variedad SALCEDO-INIA y el menor tenor de saponinas siempre en la variedad INIA 415-PASANKALLA, igual en todos los regímenes de riego en estudio.

Tabla 21: Características de calidad de grano

Factor en estudio		Porcentaje de proteína (%)	Saponina en grano (%)
Láminas de riego (mm)			
L1: 420		12.56	67.11
L2: 336		12.21	69.79
L3: 252		11.63	61.76
Variedades			
V1: INIA 415-Pasankalla		10.92	5.61
V2: Altiplano-INIA		13.48	104.55
V3: Salcedo-INIA		12.71	99.20
V4: Kancolla		11.43	53.74
Promedio General		12.13	67.11
Análisis de Variancia			
Fuentes de variación	GL	Significación	
Lámina riego (LL)	2	NS	NS
Variedad (VV)	3	*	**
Interacción (Lámina x Variedad)	6	NS	*
CV (%)		17.4	28.9

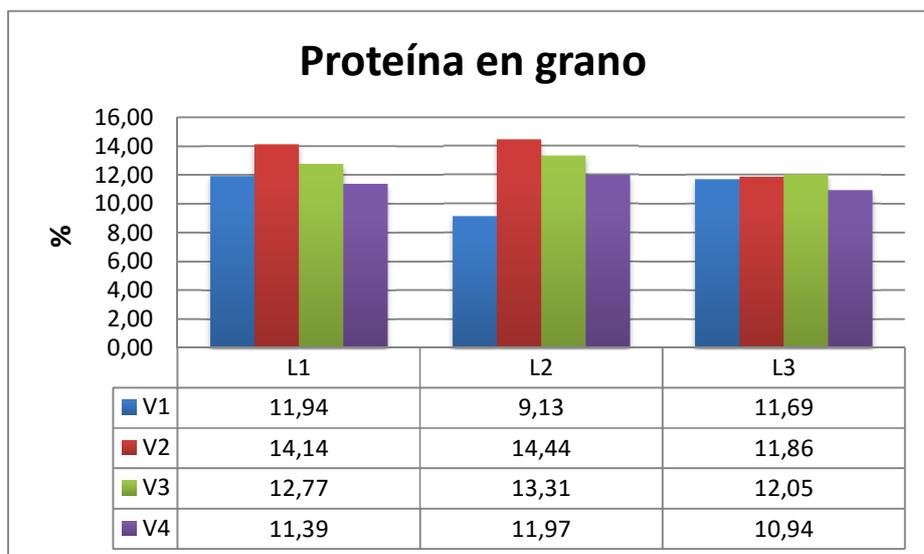


Figura 18: Efecto de la lámina de riego en el porcentaje de proteínas en el grano- Anexo 12

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de láminas de riego en el porcentaje de proteína del grano

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L1: 420 mm	12.5588	A	108.0
L2: 336 mm	12.2111	A	105.0
L3: 252 mm	11.6330	A	100.0

Promedio de variedades de quinua en el porcentaje de proteína del grano

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V2 Altiplano-INIA	13.4793	A	123.5
V3 Salcedo -INIA	12.7084	AB	116.4
V4 Kancolla	11.4325	B	104.7
V1 415-Pasankalla	10.9168	B	100.0

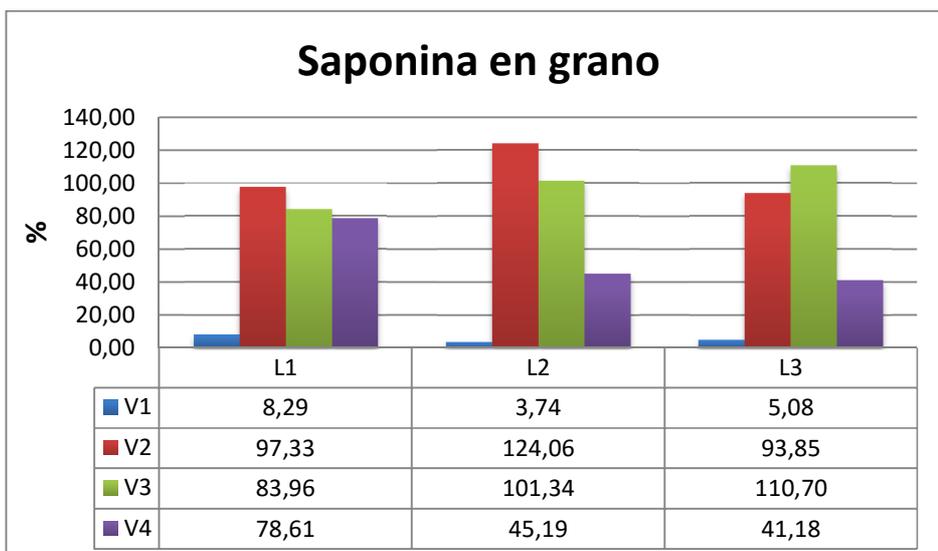


Figura 19: Efecto de la lámina de riego en el contenido de saponinas en grano- Anexo 13

PRUEBA DE DUNCAN (alfa = 0.05)

Promedio de láminas de riego en el promedio de saponina en grano

Lámina de Riego	Media	DUNCAN	% Δ
L2: 336 mm	68.5829	A	109.4
L1: 420 mm	67.0455	A	106.9
L3: 252 mm	62.7005	A	100.0

Promedio de variedades de quinua en el contenido de saponina en grano

Variedad	Media	DUNCAN	% Δ
V2 Altiplano-INIA	105.0802	A	1842.2
V3 Salcedo -INIA	98.6631	A	1729.7
V4 Kancolla	54.9911	B	964.1
V1 415-Pasankalla	5.7041	C	100.0

V. ANÁLISIS AGRO-ECONÓMICO

En la tabla 22, se muestran los resultados del análisis económico para las cuatro variedades del cultivo de quinua: 415-PASANKALLA, ALTIPLANO, SALCEDO-INIA y KANCOLLA, bajo tres láminas de riego: L1:ETc = 420 mm, L2: ETc = 336 mm y L3: ETc = 252 mm, teniendo como base los rendimientos del cultivo y sus respectivos costos de producción, determinando así los índices de rentabilidad. En general, para variedades de quinua 415-PASANKALLA presenta índices de rentabilidad negativos (-42%), en cambio, los mayores valores caracterizan a la variedad ALTIPLANO-INIA con un IR medio de 289%. Para la variedad SALCEDO-INIA el IR es de 124%.

Para láminas de riego, el mayor índice de rentabilidad caracteriza a L1 (ETc = 420 mm) con un IR promedio de 136% y una utilidad neta de 7,604 soles y el menor índice de rentabilidad caracteriza a L3 (ETc = 252 mm) con un IR promedio de 82%, con una utilidad neta media de 4,554 soles.

De otro lado, el tratamiento que presenta el mayor índice de rentabilidad es la variedad ALTIPLANO bajo las condiciones de la lámina L1: ETc = 420 mm, con un IR de 337% y 18,913 soles de utilidad neta y el menor índice de rentabilidad se presenta con la variedad INIA 415-PASANKALLA con un IR negativo de -42.6 sin presentar diferencias entre láminas de riego.

Los costos de producción de cultivo de quinua se muestran en el anexo 18.

Tabla 22: Análisis agro-económico del cultivo de quinua

Tratamientos		Rendimiento (kg/ha)	Valor bruto de la Producción (S/.)	Costo total de la Producción (S/.)	Utilidad Neta (S/.)	Índice de Rentabilidad (%)	Índice promedio de Rentabilidad (%)
L1	V1	464.38	3,984.38	5,602.3	-1,617.9	-28.9	135.7
	V2	2,857.29	24,515.55	5,602.3	18,913.2	337.6	
	V3	1,651.12	14,166.61	5,602.3	8,564.3	152.9	
	V4	1,184.03	10,158.98	5,602.3	4,556.7	81.3	
L2	V1	316.69	2,717.20	5,568.7	-2,851.5	-51.2	127.1
	V2	2,659.85	22,821.51	5,568.7	17,252.8	309.8	
	V3	1,682.98	14,439.97	5,568.7	8,871.3	159.3	
	V4	1,235.55	10,601.02	5,568.7	5,032.3	90.4	
L3	V1	336.64	2,888.37	5,535.1	-2,646.7	-47.8	82.3
	V2	2,080.18	17,847.94	5,535.1	12,312.8	222.5	
	V3	1,041.93	8,939.76	5,535.1	3,404.7	61.5	
	V4	1,244.87	10,680.98	5,535.1	5,145.9	93.0	

Precio 2.6 dólares/kg (Tendencias y perspectivas del comercio internacional de la quinua, documento conjunto FAO-ALADI, Santiago 2014)

L1: 420 mm V1: INIA 415-Pasankalla

L2: 336 mm V2: Altiplano-INIA

L3: 252 mm V3: Salcedo-INIA

V4: Kancolla

VI. CONCLUSIONES

Para láminas de riego el mayor rendimiento caracteriza a L1: 420 mm, con una media de 1,539 kg/ha de grano-quinua, mostrando incrementos porcentuales del 4.5% respecto de L2:336 mm y de 30.9% de L3: 252 mm.

Para variedades de quinua, el mayor rendimiento caracteriza a ALTIPLANO, con 2,532 kg/ha de quinua-grano, con diferencias porcentuales de 73.6% respecto de SALCEDO, de 107.3% respecto de KANCOLLA y de 579.6% respecto de PASANKALLA, que presenta el menor rendimiento con 372 kg/ha quinua-grano.

En general, las variables del crecimiento, el área foliar y la materia seca de quinua presentan diferencias estadísticas para láminas de riego y para variedades. Los mayores valores se presentan en L1:420 mm y en las variedades ALTIPLANO y SALCEDO.

La calidad del grano muestra que el porcentaje de proteínas en grano para L1:452 mm es 12.5%, para L2:336 mm de 12.2% y para L3: 252 mm de 11.6%. Para variedades, PASANKALLA presenta 10.9%, ALTIPLANO 13.5%, SALCEDO 12.7% y KANCOLLA 11.8%.

Para saponinas en el grano, L1: 420 mm presenta una media de 67.1%, L2: 336 mm de 68.7% y L3: 252 mm de 62.8%. Para variedades de quinua, PASANKALLA-415 presenta una media de 5.7%, ALTIPLANO de 105.0%, SALCEDO-INIA de 98.7% y KANCOLLA de 54.8%

En L1: 420 mm/campaña, se aplicaron 4,670 m³/ha en 82 riegos por campaña con un intervalo medio entre riegos de 2.3 días. Para L2: 336 mm/campaña, se aplicaron 3,737 m³/ha en 69 riegos, con un intervalo medio de 2.7 días. Finalmente, en L3: 252 mm/campaña, se aplicaron 2,804 m³/ha en 51 riegos por campaña con 3.3 días de intervalo entre riegos.

Bajo las condiciones del ensayo, los parámetros agronómicos que caracterizan al cultivo de quinua indican una baja eficiencia de uso de agua (EUA) de 0.43 kg/m³, un bajo índice de cosecha (IC) de 16.8 %, un bajo índice de área foliar de 0.69 m²/m² y un alto coeficiente de transpiración de 446 l/kg.

Para variedades PASANKALLA presenta el menor índice de cosecha con 4.7% y la menor eficiencia de uso de agua (EUA) con 0.12 kg/m³, en cambio, ALTIPLANO el mayor IC con 30.2% y la mayor EUA con 0.76 kg/m³.

Finalmente, el mayor índice de rentabilidad se presenta con la variedad ALTIPLANO bajo las condiciones de la lámina L1: 420 mm, con un IR de 337% y el menor índice de rentabilidad se presenta con la variedad PASANKALLA con un IR negativo de -42.6 %, sin mostrar diferencias entre láminas de riego.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Alvien, P. (1957). Economía del agua en las plantas. Rev. Agro. Vol. XXIV (91): 44 – 59. UNA – La Molina.

Apaza T. (1995). Efecto de densidad y niveles de fertilización en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinua* Wild) en costa central. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.

Arnon I. (1974). Crop Production in Dry Regions. Leonard Hill Books, London.

Barnett , A. 2005. Efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo riego por goteo. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. 138 p

Bonifacio, A, Mujica, A, Alvarez A, y Roca W. Mejoramiento Genético, Germoplasma y Producción de Semilla. En: **Mujica Angel, Jacobsen Sven E., Izquierdo Juan, Marathee Jean P. 2001.** Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. Santiago, Chile. FAO. 350 p.

Canahua A., A. Mujica y Saravia 2001. Agronomía del Cultivo de la Quinua. En: Food and Agricultural Organization (FAO), “Quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro” Cap II Versión 1.0 en CD ROM. Santiago, Chile. pp 18.

Cardoso, A.; Tapia, M. 1979. Valor Nutritivo. In: Quinua y Kañiwa, Cultivos Andinos, M. Tapia, H. Gandarillas; S. Alandia, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, V. Otazu, J. Rea, B. Salas y E. Zanabria (autores). Centro Internacional para el Desarrollo, Bogota, Colombia. pp. 149 - 192.

Coila J., P Quispe y A. Mujica 2001. Aspectos Económicos de la Producción de Quinua. En: Food and Agricultural Organization (FAO), “Quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro” Cap X. Versión 1.0 en CD ROM. Santiago, Chile. pp 24.

Echegaray B. (2003). Evaluación de Métodos de Cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) bajo condiciones de Costa. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Lima, Perú.

FAO (1999). 1er taller Internacional sobre Quinoa. Libro de resúmenes. Lima, Perú.

FAO (2014). Tendencias y perspectivas del comercio internacional de la quinoa, documento conjunto FAO-ALADI, Santiago, Chile.

Gandarillas, H. 1968. Razas de Quinoa. Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agrícolas. Instituto Boliviano de Cultivos Andinos. La Paz - Bolivia. pp. 53.

Gandarillas, H. 1979. Genética y origen. En: Quinoa y Kañiwa, Cultivos Andinos, M. Tapia, H. Gandarillas; S. Alandia, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, V. Otazu, J. Rea, B. Salas y E. Zanabria (autores). Centro Internacional para el Desarrollo, Bogota, Colombia.
pp. 45 - 64.

Gómez, L. (2003). La Quinoa. Original en internet:
<http://www.samconet.com/productos/producto44/descripcion44.htm>

Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson (1999). Soil Fertility and fertilizers and Introduction to Nutrient Management. Prentice Hall Inc. New Jersey, USA.

Hsiao, T., and Acevedo, E. 1974. Plant responses to water deficits, water use efficiency and drought resistance. *AgricMeteorol.* 14: 59 – 84.

Hurtado, L. (2003). Manejo y Conservación de Suelo Fundamentos y Prácticas. PRONAMACHCS. Lima, Perú.

Izquierdo J., A. Mujica y R. Saravia (2001). Resistencia a Factores Adversos de la Quinoa. En: Food and Agricultural Organization (FAO), "Quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro" Cap VII Versión 1.0 en CD ROM. Santiago, Chile. pp 22.

Jacobsen, S, A. Mujica (1999). I Curso Internacional sobre Fisiología de la Resistencia en Quinoa (*Chenopodium quinua Wild.*) Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú.

Jacobsen S., J. Risi (2001). Distribución Geográfica de la Quina Fuera de los países Andinos. En: Food and Agricultural Organization (FAO), “Quinoa (*Chenopodiumquinua Wild.*) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro” Cap III Versión 1.0 en CD ROM. Santiago, Chile. pp 14.

Kamisato, J.(2004). Evaluación del efecto de tres niveles de fertilización y dos niveles de riego en el comportamiento de dos variedades de kiwicha(*Amaranthuscaudatus*) en costa central. Tesis Mag. Sc. Lima 55p.

Kramer, P. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna. Edit. Edutex, México.

Lescano, R. (1994). Genética y Mejoramiento de Cultivos andinos. Convenio INADE/PELT-COTESU. La Paz, Bolivia.

Martin de Santa Olalla, M. 2005. Agronomía del Riego. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. 732. p.

Mengel K. y E. Kirby (1987). Principios de Nutrición vegetal 4ta edición. I.P.I., Suiza.

Mujica S. A. (1993). Cultivo de Quinoa. INIA-DGIA. Serie Manual N°11-93 Lima, Perú.

Mujica, S, J. Izquierdo y J.Marathee (2001). Origen y Descripción de la Quinoa. En: Food and Agricultural Organization (FAO), “Quinoa (*Chenopodiumquinoa Wild.*) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro” Cap IX Versión 1.0 en CD ROM. Santiago, Chile. pp 14.

Pizarro, C. (1996). Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF). 3ra Edición., Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Quillatupa, C.(2009). Caracterización de las fases fenológicas, determinación de unidades de color y rendimiento de 16 geotipos de quinoa (*Chenopodiumquinoa Wild.*) en condiciones de la Molina. Tesis Ing. Agrónomo Lima-UNALM. 158 p.

Rea L., M. Tapia y A. Mujica (1979). Prácticas Agronómicas. Quinua y Kañihua. Cultivos andinos. Serie de libros y Materiales Educativos N° 49 p 83 -120. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Bogotá, Colombia.

Richards, L. A. 1965.Physical condition of water in soil.In Black, C. A. ed. Method of soil analysis. I. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.Madinson, Wisc., American Society of Agronomy.Pp 12-15.

Rivero, L. (1985).Efecto del distanciamiento entre surcos y entre plantas sobre e rendimiento y otras características de dos ecotipos de quinua(*Chenopodium quinua Wild.*) bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Tesis Magister Scientiae UNALM. Lima, Perú.

Rojas W. (2003).Multivariate Analysis of Genetics Diversity of Bolivian Quinoa Germoplasm.FoodReviews International Vol. 19, N° 1y2, pp. 923.

Tapia M. (1979). Historia y distribución geográfica. In M.E. Tapia (ed.). Quinua y Kañihua. Cultivos Andinos, M. Tapia, H. Gandarillas;S. Alandía, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, V. Otazu, J. Rea, B. Salas y E. Zanabria (autores). Centro Internacional para el Desarrollo, Bogotá, Colombia. pp. 11 - 19.

Tapia, M. (1997). Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación. Segunda Edición. Food and Agriculture Organization (FAO) Santiago, Chile.

Tapia M., A. Mujica y A. Canahua (1980). Origen, distribución Geográfica y Sistemas de Producción de la Quinua I. Reunión sobre genética y fitomejoramiento de la quinua. Proyecto de Investigación de los sistemas de Cultivos Andinos Publicación N°1. Puno, Perú.

Timana S. (1992). Dosis y momentos de aplicación de Cycocel y su efecto frente a niveles de creciente nitrógeno en el rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinua Wild.*) Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.

Navarro y Navarro, (2000).Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid – España.

VII. ANEXOS

Anexo 1: Altura de planta (cm)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	152.00	152.75	144.00	150.50	149.81	115.9
Altiplano	168.80	164.50	157.25	161.50	163.01	126.1
Salcedo INIA	151.25	150.00	144.00	137.00	145.56	112.6
Kancolla	140.50	129.50	121.50	125.50	129.25	100.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	149.50	150.50	143.00	157.00	150.00	119.7
Altiplano	160.50	151.00	156.50	170.00	159.50	127.3
Salcedo INIA	131.00	140.50	141.50	146.50	139.88	111.6
Kancolla	126.25	121.00	123.00	131.00	125.31	100.0

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	146.00	136.50	142.00	143.00	141.88	117.6
Altiplano	153.50	142.50	142.00	135.00	143.25	118.7
Salcedo INIA	134.50	128.50	125.50	130.50	129.75	107.5
Kancolla	123.50	118.00	117.00	124.25	120.69	100.0

ANALISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	296.38557	98.795191	1.19	4.76	ns
Láminas de Riego	2	1,470.09125	735.04563	8.84	5.14	*
Error (A)	6	498.61958	83.1032638			
Variedades de quinua	3	6,013.71474	2004.57158	125.03	2.96	**
Interacción LRxVar	6	251.40292	41.9004862	2.61	2.46	*
Error (B)	27	432.88422	16.0327489			
Total	47	8,530.21406				

Anexo 2: Área foliar (cm²/planta)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	1208.95	683.52	661.74	767.81	830.50	116.9
Altiplano	790.71	877.76	890.91	958.00	879.34	123.8
Salcedo INIA	1500.88	979.11	640.81	1728.36	1212.29	170.7
Kancolla	629.57	533.43	344.00	1334.76	710.44	100.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	980.56	558.14	576.00	666.33	695.26	174.6
Altiplano	652.83	449.13	476.42	691.09	567.37	142.5
Salcedo INIA	262.09	429.25	332.87	891.27	478.87	120.2
Kancolla	348.74	572.33	371.96	300.00	398.26	100.0

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	874.63	373.55	517.70	521.56	571.86	151.2
Altiplano	209.11	755.84	341.56	206.41	378.23	100.0
Salcedo INIA	385.76	400.00	520.38	417.41	430.89	113.9
Kancolla	615.86	529.63	431.68	436.34	503.38	133.1

ANALISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	409,067.78	136355.925	1.66	4.76	ns
Láminas de Riego	2	1,783,342.22	891671.112	10.87	5.14	*
Error (A)	6	492,325.184	82054.197			
Variedades de quinua	3	234,787.89	78262.629	1.49	2.96	ns
Interacción LRxVar	6	599,076.50	99846.084	1.90	2.46	ns
Error (B)	27	1,419,261.45	52565.239			
Total	47	4,937,861.02				

Anexo 3: Diámetro de tallo (cm)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	1.3	1.3	1.40	1.17	1.3	107.7
Altiplano	1.0	1.3	1.36	1.58	1.3	109.2
Salcedo INIA	1.8	1.2	1.27	1.54	1.5	121.0
Kancolla	1.0	1.2	1.10	1.50	1.2	100.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	1.20	1.30	1.40	1.56	1.4	120.8
Altiplano	1.20	1.10	1.20	1.55	1.3	111.7
Salcedo INIA	1.00	1.40	1.60	1.50	1.4	120.8
Kancolla	0.90	1.10	1.27	1.25	1.1	100.0

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	1.4	1.3	1.1	1.1	1.2	120.7
Altiplano	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	110.3
Salcedo INIA	0.9	0.9	1.2	1.1	1.0	100.0
Kancolla	1.0	1.0	1.2	1.1	1.1	104.4

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	0.2712563	0.09041875	2.92	4.76	ns
Láminas de Riego	2	0.4066292	0.20331459	6.56	5.14	*
Error (A)	6	0.1858375	0.03097292			
Variedades de quinua	3	0.1996729	0.06655764	2.37	2.96	ns
Interacción LRxVar	6	0.1860208	0.03100347	1.10	2.46	ns
Error (B)	27	0.7581313	0.02807894			
Total	47	2.007548				

Anexo 4: Materia Seca de Hojas (g/planta)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	5.10	2.80	3.70	3.01	3.65	149.7
Altiplano	1.84	3.48	5.35	5.83	4.13	169.2
Salcedo INIA	7.17	0.10	3.84	10.94	5.51	225.9
Kancolla	1.32	2.38	1.53	4.54	2.44	100.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	4.91	2.64	2.38	2.93	3.21	214.1
Altiplano	2.96	2.94	1.58	4.62	3.02	201.6
Salcedo INIA	1.56	0.79	1.92	4.95	2.31	153.7
Kancolla	1.49	1.60	1.54	1.37	1.50	100.0

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	4.69	1.51	2.45	1.61	2.56	215.3
Altiplano	2.83	3.09	1.48	1.54	2.24	187.7
Salcedo INIA	0.71	0.02	2.25	1.78	1.19	100.0
Kancolla	2.82	2.27	1.64	0.79	1.88	157.9

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	2.47123717	0.823745723	1.66	4.76	ns
Láminas de Riego	2	32.94330643	16.47165322	33.11	5.14	**
Error (A)	6	2.98482001	0.49747000			
Variedades de quinua	3	12.07948494	4.02649498	4.29	2.96	*
Interacción LRxVar	6	18.71567575	3.119279292	3.33	2.46	*
Error (B)	27	25.32311172	0.937893027			
Total	47	94.51763602				

Anexo 5: Materia Seca de Tallo (g/planta)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	27.60	18.05	25.17	24.90	23.93	171.6
Altiplano	15.80	20.23	23.15	35.98	23.79	170.6
Salcedo INIA	34.57	21.28	25.91	31.30	28.27	202.7
Kancolla	13.10	14.00	12.97	15.71	13.95	100.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	20.28	18.74	17.16	27.67	20.96	161.7
Altiplano	22.06	14.37	16.46	31.82	21.18	163.4
Salcedo INIA	21.21	12.81	23.81	28.20	21.51	165.9
Kancolla	6.92	9.57	17.87	17.49	12.96	100.0

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	22.67	18.46	12.56	16.43	17.53	180.80
Altiplano	20.63	16.40	9.64	15.70	15.59	160.80
Salcedo INIA	8.49	6.65	10.90	12.75	9.70	100.00
Kancolla	10.56	11.49	10.23	7.48	9.94	102.50

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	309.8373667	103.2791222	2.94	4.76	ns
Láminas de Riego	2	709.2846000	354.6423000	10.10	5.14	ns
Error (A)	6	210.6917833	35.11529722			
Variedades de quinua	3	580.5050167	193.5016722	11.01	2.96	**
Interacción LRxVar	6	254.4451333	42.40752222	2.41	2.46	ns
Error (B)	27	474.616900	17.5784037			
Total	47					

Anexo 6: Materia Seca de Panoja (g/planta)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	36.69	44.88	31.48	35.74	37.20	100.0
Altiplano	48.30	61.40	67.31	76.23	63.31	170.2
Salcedo INIA	95.34	93.48	89.15	100.76	94.68	254.5
Kancolla	40.53	42.01	40.72	57.38	45.16	121.4

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	33.11	32.68	37.02	39.03	35.46	100.0
Altiplano	56.02	50.06	55.32	73.16	58.64	165.4
Salcedo INIA	48.64	61.56	64.19	51.68	56.52	159.4
Kancolla	36.16	30.23	42.03	47.89	39.08	110.2

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	32.24	28.63	26.56	36.19	30.90	115.9
Altiplano	26.19	27.16	23.31	29.96	26.66	100.0
Salcedo INIA	37.64	32.98	37.20	32.41	35.06	131.5
Kancolla	35.33	29.36	33.90	27.22	31.45	118.0

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	339.037600	113.0125333	2.27	4.76	ns
Láminas de Riego	2	6797.558317	3398.779159	68.31	5.14	**
Error (A)	6	298.546652	49.75777533			
Variedades de quinua	3	5498.71255	1832.904183	51.86	2.96	**
Interacción LRxVar	6	4144.835492	690.8059153	19.55	2.46	**
Error (B)	27	954.26777	35.34325074			
Total	47	18,032.958381				

Anexo 7: Materia Seca Total (g/planta)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	69.390	65.724	60.350	63.651	64.779	105.3
Altiplano	66.942	85.111	95.807	117.049	91.227	148.2
Salcedo INIA	137.074	119.858	118.901	138.008	128.460	208.7
Kancolla	54.954	58.381	55.211	77.626	61.543	100.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	58.296	54.065	56.559	69.622	59.6357	111.4
Altiplano	81.034	67.376	74.363	108.592	82.8412	154.7
Salcedo INIA	71.408	77.158	89.926	82.831	80.3307	150.0
Kancolla	44.568	41.393	61.445	66.755	53.5402	100.0

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	58.600	49.603	41.565	54.222	50.9975	117.9
Altiplano	49.651	46.657	34.434	47.195	44.4842	102.8
Salcedo INIA	46.840	40.651	49.358	46.939	45.9469	106.2
Kancolla	47.713	43.126	45.761	36.496	43.2740	100.0

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	1,226.541320	408.847107	2.84	4.76	ns
Láminas de Riego	2	13090.43918	6545.21959	45.48	5.14	**
Error (A)	6	863.40935	143.901558			
Variedades de quinua	3	7555.59177	2518.53059	31.84	2.96	**
Interacción LRxVar	6	6679.97032	1113.32839	14.07	2.46	**
Error (B)	27	2135.73164	79.1011719			
Total	47	31,551.683580				

Anexo 8: Rendimiento de grano-quinua (kg/ha)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	360.2	357.4	451.2	688.7	464.4	100.0
Altiplano	2348.5	2615.1	2515.2	3950.3	2857.3	615.3
Salcedo INIA	1014.8	1145.5	2944.7	1499.5	1651.1	355.6
Kancolla	1336.4	1124.0	846.2	1429.5	1184.0	255.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	366.6	307.3	300.5	292.4	316.7	100.0
Altiplano	2286.0	2697.3	2748.7	2907.3	2659.8	839.9
Salcedo INIA	1673.7	1015.3	1614.7	2428.3	1683.0	531.4
Kancolla	1276.3	1504.6	1200.1	961.2	1235.5	390.1

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	424.8	282.9	368.1	270.8	336.6	100.0
Altiplano	2115.5	2138.1	2281.8	1785.3	2080.2	617.9
Salcedo INIA	959.6	1012.9	1036.2	1159.1	1041.9	309.5
Kancolla	1025.9	899.0	1239.3	1815.2	1244.9	369.8

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	978,324.24	326108.08	5.18	4.76	*
Láminas de Riego	2	1,199,923.55	599961.78	9.54	5.14	*
Error (A)	6	377,376.20	62896.03			
Variedades de quinua	3	28,478,992.70	9492997.57	51.91	2.96	**
Interacción LRxVar	6	1,209,251.00	201541.83	1.10	2.46	ns
Error (B)	27	4,937,207.06	182859.52			
Total	47					

Anexo 9: Número de plantas/m²

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	13.19	14.12	11.57	9.03	11.98	100.0
Altiplano	15.28	15.28	10.42	9.72	12.67	105.8
Salcedo INIA	16.44	17.36	11.57	9.95	13.83	115.4
Kancolla	12.50	15.97	13.43	9.72	12.91	107.8

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	11.57	14.81	10.19	12.50	12.27	112.8
Altiplano	13.19	14.81	10.19	9.49	11.92	109.6
Salcedo INIA	12.96	12.50	9.72	8.33	10.88	100.0
Kancolla	13.89	12.96	11.57	12.27	12.67	116.5

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	10.88	13.19	10.42	11.57	11.52	100.0
Altiplano	15.28	13.66	10.65	15.51	13.77	119.5
Salcedo INIA	15.28	17.59	11.57	15.74	15.05	130.6
Kancolla	11.11	16.44	10.65	11.34	12.38	107.5

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	124.091358	41.3637861	6.80	4.76	*
Láminas de Riego	2	13.3077875	6.65389375	1.09	5.14	ns
Error (A)	6	36.4710792	6.0785132			
Variedades de quinua	3	10.9615417	3.65384723	1.98	2.96	ns
Interacción LRxVar	6	32.0974958	5.34958263	2.90	2.46	*
Error (B)	27	49.8058625	1.84466157			
Total	47					

Anexo 10: Rendimiento de grano por panoja (14% hum-g)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	2.632	2.560	3.802	6.190	3.796	100.0
Altiplano	18.140	20.199	21.813	34.871	23.756	625.8
Salcedo INIA	6.936	7.686	22.281	13.158	12.515	329.7
Kancolla	9.910	7.753	6.820	12.619	9.275	244.3

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	2.170	2.621	2.409	3.642	2.292	100.0
Altiplano	21.054	23.979	25.818	14.798	15.467	674.8
Salcedo INIA	7.528	14.253	22.229	6.713	6.766	295.2
Kancolla	11.046	10.113	7.964	8.744	5.487	239.4

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	3.642	2.292	3.193	2.281	2.852	100.0
Altiplano	14.798	15.467	19.674	12.430	15.593	546.7
Salcedo INIA	6.713	6.766	8.731	8.860	7.768	272.4
Kancolla	8.744	5.487	10.686	15.383	10.075	353.3

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	93.439417	31.1464723	1.14	4.76	ns
Láminas de Riego	2	93.185088	46.592544	1.71	5.14	ns
Error (A)	6	163.455794	27.2426323			
Variedades de quinua	3	1,796.092424	598.697475	39.40	2.96	**
Interacción LRxVar	6	114.605827	19.1009712	1.26	2.46	ns
Error (B)	27	410.317597	15.196948			
Total	47	2,671.096147	56.8318329			

Anexo 11: Peso de 1000 granos (g)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	3.410	3.193	4.239	2.947	3.447	129.2
Altiplano	3.770	4.343	3.959	4.461	4.133	154.9
Salcedo INIA	3.224	3.620	3.473	3.628	3.486	130.7
Kancolla	3.016	2.825	2.061	2.772	2.669	100.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	3.357	3.054	3.129	3.531	3.268	115.5
Altiplano	3.928	3.883	3.442	4.068	3.830	135.4
Salcedo INIA	3.373	3.217	4.359	3.793	3.686	130.3
Kancolla	2.755	3.266	2.925	2.370	2.829	100.0

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	3.380	2.605	2.736	3.509	3.058	111.7
Altiplano	3.625	4.316	3.811	3.863	3.904	142.7
Salcedo INIA	3.850	3.826	3.727	3.876	3.820	139.6
Kancolla	2.702	2.939	2.912	2.391	2.736	100.0

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	0.0336026	0.0112009	0.78	4.76	ns
Láminas de Riego	2	0.0239268	0.0119634	0.84	5.14	ns
Error (A)	6	0.0859001	0.0143167			
Variedades de quinua	3	9.9414733	3.3138244	20.29	2.96	**
Interacción LRxVar	6	0.7576470	0.1262745	0.77	2.46	ns
Error (B)	27	4.4086492	0.1632833			
Total	47	15.2511990				

Anexo 12: Proteína en Grano (%)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	12.63	12.63	12.44	10.06	11.94	104.8
Altiplano	14.88	13.13	16.81	11.75	14.14	124.1
Salcedo INIA	12.25	13.81	11.88	13.13	12.77	109.4
Kancolla	10.88	12.63	9.81	12.25	11.39	100.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	10.13	7.50	7.50	11.38	9.13	100.0
Altiplano	14.19	14.50	13.50	15.56	14.44	158.2
Salcedo INIA	14.38	12.63	11.38	14.88	13.31	145.9
Kancolla	12.94	14.50	11.00	9.44	11.97	131.2

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	12.44	9.81	10.13	14.38	11.69	106.9
Altiplano	9.13	10.31	14.50	13.50	11.86	108.4
Salcedo INIA	9.13	10.31	14.38	14.38	12.05	110.1
Kancolla	12.94	13.81	7.00	10.00	10.94	100.0

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	4,493.097	1497.69902	0.42	4.76	ns
Láminas de Riego	2	6,997.632	3498.81577	0.98	5.14	ns
Error (A)	6	21,479.406	3579.901022			
Variedades de quinua	3	49,361.675	16453.89174	3.68	2.96	*
Interacción LRxVar	6	33,671.061	5611.843577	1.25	2.46	ns
Error (B)	27	120,820.038	4474.816226			
Total	47	236,822.910				

Anexo 13: Saponina en Grano (%)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	0.27	2.94	21.66	8.29	8.29	100.0
Altiplano	131.28	88.50	56.42	112.57	97.19	1172.6
Salcedo INIA	120.59	72.46	77.81	64.44	8382	10113
Kancolla	115.24	48.40	61.76	88.50	78.48	946.8

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	5,61	0,27	2,94	5,61	3,61	100,0
Altiplano	158,02	101,87	120,59	115,24	123,93	3433,3
Salcedo INIA	120,59	83,16	117,91	83,16	101,20	2803,7
Kancolla	37,70	45,72	29,68	67,11	45,05	1248,1

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	8,29	5,61	0,27	5,61	4,95	100,0
Altiplano	125,94	93,85	45,72	109,89	93,85	1897,3
Salcedo INIA	88,50	91,18	139,30	123,26	110,56	2235,1
Kancolla	48,40	56,42	21,66	37,70	41,04	829,7

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	5.69167	1.89722	5.05	4.76	*
Láminas de Riego	2	0.41292	0.20646	0.55	5.14	ns
Error (A)	6	2.25208	0.37535			
Variedades de quinua	3	106.56833	35.52278	55.92	2.96	**
Interacción LRxVar	6	9.48042	1.58007	2.49	2.46	*
Error (B)	27	17.15125	0.63523			
Total	47	141.55667				

Anexo 14: Eficiencia de Uso de Agua (kg/m³)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	0.0858	0.0851	0.1074	0.1640	0.1106	100.0
Altiplano	0.5592	0.6226	0.5989	0.9406	0.6803	615.1
Salcedo INIA	0.2416	0.2727	0.7011	0.3570	0.3931	355.4
Kancolla	0.3182	0.2676	0.2015	0.3404	0.2819	254.9

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	0.1091	0.0915	0.0894	0.0870	0.0943	100.0
Altiplano	0.6804	0.8028	0.8181	0.8653	0.7916	839.4
Salcedo INIA	0.4981	0.3022	0.4806	0.7227	0.5009	531.2
Kancolla	0.3798	0.4478	0.3572	0.2861	0.3677	389.9

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	0.1686	0.1122	0.1461	0.1074	0.1336	100.0
Altiplano	0.8395	0.8484	0.9055	0.7085	0.8255	617.9
Salcedo INIA	0.3808	0.4019	0.4112	0.4599	0.4135	309.5
Kancolla	0.4071	0.3568	0.4918	0.7203	0.4940	369.8

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	0.07498540	0.024995133	9.70	4.76	*
Láminas de Riego	2	0.08519204	0.04259602	16.54	5.14	**
Error (A)	6	0.01545529	0.002575882			
Variedades de quinua	3	2.58769406	0.862564687	61.80	2.96	**
Interacción LRxVar	6	0.08113663	0.013522772	0.97	2.46	ns
Error (B)	27	0.37686256	0.013957873			
Total	47	3.22132598				

Anexo 15: Índice de cosecha (%)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	3.261	3.350	5.418	8.364	5.098	100.0
Altiplano	33.233	26.679	24.746	16.938	25.399	498.2
Salcedo INIA	4.083	13.258	22.838	4.836	11.254	220.7
Kancolla	18.958	11.421	10.623	12.384	13.347	261.8

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	4.939	3.452	4.842	2.312	3.886	100.0
Altiplano	17.501	48.443	37.933	14.943	29.705	764.4
Salcedo INIA	22.815	17.424	11.151	15.564	16.738	430.7
Kancolla	22.858	24.743	13.495	8.923	17.505	450.4

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	5.344	4.978	7.509	2.834	5.166	100.0
Altiplano	25.632	28.510	69.246	18.691	35.520	687.5
Salcedo INIA	15.670	28.178	8.498	20.085	18.108	350.5
Kancolla	15.760	12.376	18.104	36.248	20.622	399.2

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	267.982078	89.3273593	1.49	4.76	ns
Láminas de Riego	2	295.892452	147.946226	2.46	5.14	ns
Error (A)	6	360.415274	60.0692123			
Variedades de quinua	3	3,935.296552	1311.76552	11.99	2.96	**
Interacción LRxVar	6	126.440900	21.0734833	0.19	2.46	ns
Error (B)	27	2,953.680126	109.39556			
Total	47	7,939.707382				

Anexo 16: Índice de Área Foliar (m^2/m^2)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	1.5951	0.9652	0.7659	0.4667	0.9482	126.7
Altiplano	0.6664	1.3410	0.9280	0.9314	0.9667	129.2
Salcedo INIA	2.4667	0.0806	0.7417	1.7204	1.2523	167.3
Kancolla	0.3826	0.8520	0.4619	1.2977	0.7485	100.0

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	1.1349	0.8269	0.5867	0.6883	0.8092	191.0
Altiplano	0.8614	0.6654	0.1147	0.6559	0.5743	135.6
Salcedo INIA	0.3397	0.2885	0.3236	0.7427	0.4236	100.0
Kancolla	0.4844	0.7419	0.3088	0.3681	0.4758	112.3

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	0.9516	0.4929	0.5393	0.3708	0.5886	125.3
Altiplano	0.3195	1.0323	0.2075	0.3201	0.4698	100.0
Salcedo INIA	0.3136	0.7037	0.6023	0.6570	0.5691	121.1
Kancolla	0.6843	0.8705	0.4597	0.1908	0.5513	117.3

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	0.751700	0.25056664	2.11	4.76	ns
Láminas de Riego	2	1.89788768	0.94894384	8.00	5.14	*
Error (A)	6	0.71149428	0.11858238			
Variedades de quinua	3	0.25948827	0.08649609	0.47	2.96	ns
Interacción LRxVar	6	0.63904873	0.10650812	0.57	2.46	ns
Error (B)	27	5.00728544	0.18545502			
Total	47	9.266904				

Anexo 17: Coeficiente de transpiración (CT-l/kg)

L1: 420 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	458.7	452.6	601.3	730.9	560.88	218.9
Altiplano	410.7	366.0	420.8	340.0	384.39	150.0
Salcedo INIA	173.8	288.5	305.2	257.3	256.18	100.0
Kancolla	747.4	450.4	566.6	493.0	564.36	220.3

L2: 336 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	601.1	419.5	708.5	299.9	507.26	140.5
Altiplano	279.7	395.3	443.6	326.0	361.17	100.0
Salcedo INIA	363.0	570.0	384.3	357.4	418.66	115.9
Kancolla	542.8	626.2	472.5	410.3	512.93	142.0

L3: 252 mm

Variedad	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	PROMEDIO	%
415-Pasankalla	395.3	428.2	582.0	367.6	443.28	110.7
Altiplano	332.2	395.5	777.6	317.4	455.67	113.8
Salcedo INIA	352.1	558.4	318.5	372.8	400.48	100.0
Kancolla	475.3	402.2	466.2	608.8	488.12	121.9

ANÁLISIS DE VARIANCIA

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcal	Ftab	Significación
Bloques	3	62,748.1442	20916.0481	1.92	4.76	ns
Láminas de Riego	2	599.8588	299.9294	0.03	5.14	ns
Error (A)	6	65506.7246	10917.7874			
Variedades de quinua	3	226002.1742	75334.0581	5.22	2.96	**
Interacción LRxVar	6	122017.6046	20336.2674	1.41	2.46	ns
Error (B)	27	389742.9663	14434.9247			
Total	47	866,617.4727				

Anexo 18: Costo de producción del cultivo de quinua

Módulo de riego US\$ 1.00 = S/. 3.02

Área 100 x 100	= 10000 m
Distanciamiento entre cintas	= 1.6 m
Largo de camas	= 100 m
Número de camas	= 62
Largo de cintas de goteo por cama	= 100 m
Longitud total de cinta de riego	= 7100 m
Duración del equipo de riego	= 5 años

	UNIDAD	CANTIDAD (ha)	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
Manguera PE 16 mm	M	6,200.00	0.10	620.00
Goterros Kattif (2.1 l/hora)	Unidad	23,667.00	0.08	1,893.36
Contómetro 1 ½"	Unidad	1.00	50.50	50.50
Válvulas 1 ½"	Unidad	2.00	32.00	64.00
Conector inicial y empaque de 16 mm	Unidad	63.00	0.22	13.86
Tubería de conducción de PVC 3"	M	50.00	7.00	350.00
Tubería de alimentación de PVC 2.1/2"	M	200.00	1.3	260.00
Conector de manguera de 16 mm	Unidad	62.00	0.12	7.44
Terminal de línea 16 mm	Unidad	62.00	0.12	7.44
Manómetro	Unidad	1.00	17.00	17.00
Venturi 1 ½"	Unidad	1.00	115.00	115.00
Filtro de malla 2 ½"	Unidad	1.00	45.00	45.00
Costo de Instalación				200.00
Subtotal				3,643.6

Presupuesto de depreciación-amortización

Sistema de riego : 3,643.6

1 año : 728.7

Campaña (6 meses) : 364.4

Jornal US\$ 9 US\$ 1.00 = S/. 3.02

Tracción mecánica US\$ 30

Costos de producción del cultivo de quinua

A. Gastos de cultivo

	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Costo
Preparación del terreno				
Aradura	hr-maq	4	30	120
Despaje	jornal	3	7	21
Camas de Producción	hr-maq	2	30	60
Siembra	jornal	4	7	28
Labores culturales				
Aporque	jornal	9	7	63
Riego y fertilización	jornal	10	7	70
Deshierbo	jornal	7	7	49
Control Fitosanitario	jornal	17	7	119
Cosecha				
Corte, trillado, venteado	jornal	40	7	280
Subtotal				810

B. Gastos Especiales: Insumos

L1: 420 mm

	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Costo
Insumos				
Semilla	kg	0.05	13.25	0.7
Agua	m ³	4200	0.04	168
Pesticidas				350
Costo del sistema de riego				630
Subtotal				1148.7

L2: 336 mm

	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Costo
Insumos				
Semilla	kg	0.05	13.25	0.7
Agua	m ³	3360	0.04	134.4
Pesticidas				350
Costo del sistema de riego				630
Subtotal				1115.1

L3: 252 mm

	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Costo
Insumos				
Semilla	kg	0.05	13.25	0.7
Agua	m ³	2520	0.04	100.8
Pesticidas				350
Costo del sistema de riego				630
Subtotal				1081.5