

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y EVALUACIÓN DEL PERIODO DE  
MADURACIÓN DE GRANOS EN DIEZ VARIEDADES DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa* Willd.), EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE  
CHOQUENAIRA**

**AURORA PATTI CHOQUE**

La Paz - Bolivia

2010

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y EVALUACIÓN DEL PERIODO DE  
MADURACIÓN DE GRANOS EN DIEZ VARIEDADES DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa* Willd.), EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE  
CHOQUENAIRA**

*Tesis de Grado presentado como requisito  
parcial para obtener el título de  
Ingeniero Agrónomo*

**AURORA PATTI CHOQUE**

**TUTOR:**

Ing. Ph. D. Jean Pierre Raillaac .....

**ASESOR:**

Ing. M.Sc. Félix Mamani Reynoso .....

**TRIBUNAL EXAMINADOR:**

Ing. Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores .....

Ing. Ph. D. Magali García Cárdenas .....

Ing. Ph. D. Jean Joinville Vacher .....

**APROBADA**

**Presidente Tribunal Examinador:** .....

## DEDICATORIA

*A mis queridos padres Víctor Patti Choque y Juana Choque,  
por brindarme amor, comprensión y confianza,  
de forma especial a mi hermana Maria,  
de quien siempre recibí su apoyo,  
a mis hermanitas Bilma, Martha, Sandra, Lizeth,  
Jéssica, Noemí, y a mi querido sobrino William.  
A mi esposo Edwin Quisbert Bustillos*

*¡Gracias! por todo el apoyo y confianza.*

*El desafío forma al triunfador  
y no cabe desafío sin riesgo,  
pues el éxito y el fracaso  
son un tejido de la misma textura.*

**Cornejo**

*Ser excelente es trazarse un plan  
y lograr los objetivos deseados  
a pesar de todas las circunstancias*

**Cornejo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios, por acompañarme en todo momento, por permitirme llegar a esta etapa de mi vida.

Al IRD (Instituto de Investigaciones para el Desarrollo), por darme la oportunidad de realizar la tesis de grado.

A mi tutor Dr. Jean Pierre Raillaac, por su asesoramiento, paciencia y apoyo durante la realización del presente trabajo de investigación, por ser una gran persona y un profesional digno de admirar.

A mi asesor Ing. M.Sc. Félix Mamani, por sus consejos, por su orientación, por brindarme su tiempo en la revisión y corrección del presente documento.

Al tribunal revisor: Ing. Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores, Ing. Ph.D. Magali García Cárdenas y Ing.Ph. D. Jean Vacher, por el tiempo brindado en la revisión y corrección del presente documento.

Asimismo, hago extensible mi agradecimiento a la Ing. M. Sc. Carmen del Castillo e Ing. Juan José Vicente, por sus consejos y colaboración brindada en la realización del presente documento.

Un agradecimiento especial a Gustavo Palma, Ronald Veizaga, Freddy Melendez, Venancio Tazola, Gabriela Huasco, Sonia Quenta y Edgar Condori, por su amistad y colaboración.

A mis amigas y amigos, con los que pasamos momentos inolvidables durante la vida universitaria: María Huanca, Flor Patricia, Julia, Gabriela, Janeth, Claudia, Yenny, Celia, Oswaldo, Edil, Antonio, Eduardo, Jorge, Omar, Venancio, Rudy, Álvaro, Octavio y Wilson.

## CONTENIDO

	<i>Página</i>
ÍNDICE DE TEXTO.....	<i>i</i>
ÍNDICE DE CUADROS.....	<i>vi</i>
ÍNDICE DE FIGURAS.....	<i>vii</i>
RESUMEN.....	<i>ix</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
3.1. Origen de la quinua.....	3
3.2. Importancia y Usos de la quinua.....	3
3.3. Taxonomía del cultivo de quinua.....	4
3.4. Descripción botánica de la planta de quinua.....	5
3.4.1. Raíz.....	5
3.4.2. Tallo.....	5
3.4.3. Hojas.....	5
3.4.4. Flores.....	6
3.4.5. Inflorescencia.....	6
3.4.6. Fruto.....	6
3.4.7. Semilla.....	6
3.5. Fenología del cultivo de la quinua.....	7
3.6. Madurez del grano.....	10
3.6.1. Madurez morfológica (Estado lechoso).....	10
3.6.2. Madurez fisiológica (Estado de masa).....	10
3.6.3. Madurez tecnológica o madurez completa.....	10
3.7. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo.....	11
3.7.1. Suelo y pH del suelo.....	11
3.7.2. Precipitación y temperatura.....	12
3.7.3. Radiación.....	13
3.7.4. Altitud.....	13
3.7.5. Fotoperiodo.....	13
3.7.6. Humedad relativa.....	13
3.8. Aspectos fisiológicos de la planta.....	14
3.9. Crecimiento y desarrollo de las plantas.....	14

3.9.1. Componentes del análisis del crecimiento .....	14
3.9.1.1. Tasa de crecimiento de absoluto (TCA) .....	14
3.9.1.2. Tasa de crecimiento relativo (TCR) .....	15
3.9.1.3. Relación de área foliar (RAF) .....	15
3.9.1.4. Área foliar específica (AFE).....	15
3.9.1.5. Índice de área foliar (IAF).....	17
3.9.2. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos .....	18
3.10. Prácticas de cultivo .....	18
3.10.1. Preparación del terreno .....	18
3.10.2. Siembra y método de siembra .....	19
3.10.3. Época de siembra.....	20
3.10.4. Densidad de siembra .....	20
3.10.5. Labores culturales.....	20
3.10.6. Cosecha y poscosecha.....	22
3.11. Rendimiento.....	22
3.11.1. Componentes de rendimiento.....	22
3.12. Índice de cosecha .....	23
3.13. Producción de quinua .....	23
3.13.1. Producción Mundial .....	23
3.13.2. Producción en Bolivia .....	23
3.13.2.1. Superficie cultivado, producción y rendimiento de la quinua .....	23
3.13.2.2. Zonas de producción en Bolivia .....	24
<b>4. LOCALIZACIÓN .....</b>	<b>26</b>
4.1. Ubicación geográfica .....	26
4.2. Descripción de la zona.....	27
4.2.1. Clima .....	27
4.2.2. Fisiografía .....	27
4.2.3. Suelo.....	27
4.2.4. Vegetación .....	28
<b>5. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>28</b>
5.1. Materiales .....	28

5.1.1. Material biológico .....	28
5.1.2. Material de laboratorio.....	31
5.1.3. Material de campo.....	31
5.1.4. Material de gabinete.....	32
<b>5.2. Métodos.....</b>	<b>32</b>
5.2.1. Procedimiento experimental en campo.....	32
5.2.1.1. Preparación del terreno.....	32
5.2.1.2. Siembra.....	32
5.2.1.3. Evaluación de las variables de respuesta .....	32
5.2.1.4. Labores culturales.....	33
5.2.1.5. Cosecha y poscosecha .....	34
5.2.2. Diseño experimental .....	34
5.2.2.1. Análisis estadístico.....	35
5.2.3. Croquis del experimento .....	35
5.2.4. Variables evaluadas.....	35
5.2.4.1. Aspectos climáticos.....	35
5.2.4.2. Variables agronómicas.....	36
5.2.4.3. Variables fenológicas .....	39
5.2.4.4. Maduración de granos.....	39
5.2.4.5. Variables fisiotécnicas.....	41
5.2.4.6. Variables de rendimiento.....	45
5.2.4.7. Rendimiento en grano .....	47
5.2.4.8. Índice de cosecha.....	47
5.2.4.9. Componentes de rendimiento .....	47
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>50</b>
6.1. Aspectos climáticos .....	50
6.1.1. Precipitaciones pluviales.....	50
6.1.1.1. Precipitación acumulada durante el ciclo de cultivo .....	50
6.1.1.2. Precipitación pluvial en periodo de cinco días.....	51
6.1.1.3. Precipitación diaria .....	52
6.1.2. Temperatura.....	53
6.1.3. Suelo del sitio experimental .....	53
6.1.3.1. Propiedades físicas .....	54
6.1.3.2. Propiedades químicas.....	54
6.1.3.3. Materia orgánica del suelo .....	54

<b>6.2.</b>	<i>Variables agronómicas</i> .....	55
<b>6.2.1.</b>	<i>Porcentaje de germinación en laboratorio</i> .....	55
<b>6.2.1.1.</b>	<i>Comparación de promedios</i> .....	56
<b>6.2.2.</b>	<i>Estimación del número de granos sembrados</i> .....	57
<b>6.2.3.</b>	<i>Porcentaje de emergencia en campo</i> .....	57
<b>6.2.3.1.</b>	<i>Número de plantas por metro lineal</i> .....	58
<b>6.2.4.</b>	<i>Altura de planta</i> .....	59
<b>6.2.4.1.</b>	<i>Comparación de promedios</i> .....	61
<b>6.2.4.2.</b>	<i>Velocidad de crecimiento</i> .....	61
<b>6.2.5.</b>	<i>Diámetro de tallo principal</i> .....	62
<b>6.2.5.1.</b>	<i>Comparación de promedios</i> .....	63
<b>6.2.6.</b>	<i>Número de hojas presentes en el tallo principal</i> .....	64
<b>6.2.6.1.</b>	<i>Comparación de promedios</i> .....	65
<b>6.2.7.</b>	<i>Ritmo de emisión de hojas del tallo principal</i> .....	66
<b>6.2.8.</b>	<i>Porcentaje de defoliación</i> .....	67
<b>6.2.9.</b>	<i>Número de ramas secundarias</i> .....	68
<b>6.3.</b>	<i>Variables fenológicas</i> .....	69
<b>6.3.1.</b>	<i>Días a la floración</i> .....	69
<b>6.3.1.1.</b>	<i>Comparación de promedios</i> .....	70
<b>6.3.2.</b>	<i>Días a la madurez fisiológica</i> .....	71
<b>6.3.2.1.</b>	<i>Comparación de promedios</i> .....	72
<b>6.4.</b>	<i>Maduración del grano de quinua</i> .....	72
<b>6.4.1.</b>	<i>Seguimiento del peso seco del grano (mg)</i> .....	73
<b>6.4.2.</b>	<i>Contenido hídrico absoluto del grano de quinua (mg)</i> .....	74
<b>6.4.3.</b>	<i>Porcentaje de humedad (%) del grano de quinua</i> .....	75
<b>6.5.</b>	<i>Variables fisiotécnicas</i> .....	77
<b>6.5.1.</b>	<i>Tasa de crecimiento absoluto (TCA)</i> .....	77
<b>6.5.2.</b>	<i>Tasa de crecimiento relativo (TCR)</i> .....	78
<b>6.5.3.</b>	<i>Área foliar de hojas (cm<sup>2</sup>)</i> .....	80
<b>6.5.4.</b>	<i>Área foliar específica (AFE)</i> .....	81
<b>6.5.5.</b>	<i>Relación de área foliar (RAF)</i> .....	83
<b>6.5.6.</b>	<i>Índice de área foliar (IAF)</i> .....	85
<b>6.6.</b>	<i>Variables de rendimiento</i> .....	87
<b>6.6.1.</b>	<i>Biomasa seca aérea por unidad de superficie (g/m<sup>2</sup>)</i> .....	87

6.6.2.	<i>Biomasa seca aérea por unidad de planta (g/planta)</i> .....	89
6.6.3.	<i>Porcentaje de materia seca (%MS)</i> .....	90
6.6.4.	<i>Partición de materia seca (%)</i> .....	91
6.7.	<i>Rendimiento en grano (kg/ha)</i> .....	94
6.7.1.	<i>Rendimiento de grano por unidad de superficie (kg/ha)</i> .....	94
6.7.1.1.	<i>Rendimiento de grano con práctica de raleo (g/m<sup>2</sup>, kg/ha)</i> .....	94
6.7.1.2.	<i>Rendimiento de grano sin práctica de raleo (g/m<sup>2</sup>, kg/ha)</i> .....	96
6.7.2.	<i>Rendimiento de grano por unidad de planta (g/planta)</i> .....	98
6.8.	<i>Índice de cosecha</i> .....	99
6.9.	<i>Componentes de rendimiento</i> .....	101
6.9.1.	<i>Peso de 1000 semillas</i> .....	101
6.9.2.	<i>Longitud de panoja (cm)</i> .....	102
6.9.3.	<i>Diámetro de panoja (cm)</i> .....	104
6.9.4.	<i>Volumen de panoja (cm<sup>3</sup>)</i> .....	105
6.9.5.	<i>Peso de grano según diámetro</i> .....	106
6.9.5.1.	<i>Peso de granos en plantas con práctica de raleo y con protección de panojas</i> .....	106
6.9.5.2.	<i>Peso de granos en plantas sin práctica de raleo y con protección de panojas</i> .....	108
6.9.5.3.	<i>Peso de granos en plantas sin práctica de raleo y sin protección de panojas</i> .....	109
6.9.6.	<i>Número de granos por panoja</i> .....	110
6.9.6.1.	<i>Efecto de la protección de las panojas sobre el peso de los granos por panoja (%)</i> .....	111
6.10.	<i>Componentes de rendimiento correlacionadas con el rendimiento en grano</i> ...	113
7.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	114
8.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	117
9.	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	119
10.	<b>ANEXOS</b> .....	128

## ÍNDICE DE CUADROS

Nº Cuadro	Página
1. Requerimientos de precipitación y temperatura, según los grupos agroecológicos de quinua.....	12
2. Composición porcentual de la textura del suelo, del sitio experimental.....	54
3. Prueba de Duncan al 5%, para porcentaje de germinación a 12 horas después de la siembra .....	56
4. Número teórico de semilla sembrada por metro lineal, en 10 variedades de quinua	57
5. Prueba de Duncan al 5% para altura de la planta (cm) a 152 días después de la siembra, en 10 variedades de quinua .....	61
6. Prueba de Duncan al 5% para diámetro del tallo principal (mm) a 152 días después de la siembra en 10 variedades de quinua .....	64
7. Prueba de Duncan al 5% para número de hojas del tallo principal a 45 DDS en 10 variedades de quinua .....	65
8. Prueba de Duncan al 5% para días a la floración en 10 variedades de quinua.....	70
9. Prueba de Duncan al 5% para días a la madurez fisiológica.....	72
10. Tasa de Crecimiento absoluto (g/día) para 10 variedades de quinua.....	77
11. Tasa de Crecimiento Relativo (g/g día) para 10 variedades de quinua .....	79
12. ....	.....
13. Área Foliar (cm <sup>2</sup> /hoja) de hojas de rangos 12, 16 y 20.....	80
14. Área Foliar Específica (cm <sup>2</sup> /g) de 10 variedades de quinua .....	81
15. Relación de Área Foliar (cm <sup>2</sup> /g) en 10 variedades de quinua.....	83
16. Índice de Área Foliar, evaluado a 60, 90 y 120 días después de la siembra .....	85
17. Biomasa seca aérea por unidad de superficie (g/m <sup>2</sup> ), en 10 variedades.....	88
18. Biomasa seca aérea por unidad de planta (g/planta), en 10 variedades.....	89
19. Porcentaje de materia seca en 10 variedades de quinua .....	90
20. Prueba de Duncan al 5%, para Rendimiento en grano con efecto de raleo (kg/ha).	95
21. Prueba de Duncan al 5% de significancia para Rendimiento en grano sin efecto de raleo (kg/ha) en 10 variedades de quinua.....	97
22. Prueba de Duncan al 5% de significancia, para peso de 1000 semillas (mg) en 10 variedades de de quinua .....	102
23. Peso seco de granos por panoja (g), en plantas con práctica de protección de panoja y sin protección de panojas, en 10 variedades de quinua .....	112
24. Coeficientes de correlación múltiple de componentes de rendimiento .....	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº	Página
1. Semilla de quinua .....	7
2. Ubicación de la Estación Experimental de Choquenaira .....	26
3. Hoja de quinua, de rango 16- variedad Huganda, junto a un calibre circular.....	43
4. Precipitación pluvial registrada durante la campaña agrícola 2005 - 2006 en la E.E Choquenaira .....	50
5. Precipitaciones mensuales de gestiones anteriores de la E.E. Choquenaira y el promedio histórico de 19 años (1987-2006) del Municipio de Viacha.....	51
6. Registro de precipitación pluvial en periodos de cinco días del 24 de octubre de 2005 al 22 de abril de 2006 en E.E. Choquenaira .....	52
7. Registro pluviométrico diario a nivel de cultivo del 24 de octubre 2005 al 19 de abril de 2006.....	52
8. Temperatura diaria (máxima, mínima y media), registrada a nivel de cultivo desde la siembra hasta la cosecha.....	53
9. Evolución del porcentaje de germinación en 10 variedades de quinua en laboratorio.....	55
10. Evolución del porcentaje de emergencia en campo .....	58
11. Evolución del número de plantas por metro lineal, desde la siembra hasta los 32 días después de la siembra, en 10 variedades de quinua.....	59
12. Evolución de la altura de planta (cm) de 10 variedades de quinua.....	60
13. Curva de velocidad de crecimiento (mm/día) en 10 variedades de quinua.....	62
14. Evolución del diámetro de tallo (mm) en 10 variedades quinua.....	63
15. Evolución del número de hojas del tallo principal a lo largo del ciclo vegetativo .....	64
16. Ritmo de emisión diaria de hojas del tallo principal en 10 variedades de quinua durante el ciclo del cultivo.....	66
17. Porcentaje de defoliación de hojas del tallo principal en 10 variedades de quinua ..	67
18. Evolución del número de ramificaciones, en 10 variedades de quinua .....	68
19. Días a la floración en 10 variedades de quinua .....	69
20. Días a la madurez fisiológica en 10 variedades de quinua .....	71
21. Evolución del peso del grano (mg) en 10 variedades de quinua .....	73
22. Contenido hídrico absoluto del grano de quinua (mg) en 10 variedades.....	74
23. Evolución de la humedad del grano (%), en 10 variedades de quinua .....	75
24. Tasa de Crecimiento absoluto (TCA), (g/día) para 10 variedades de quinua .....	77
25. Tasa de Crecimiento Relativo (g/g día) para 10 variedades de quinua .....	79
26. ....	
27. Desarrollo del área foliar de hoja, en hojas de rangos 12,16 y 20.....	80
28. Evolución del Área Foliar Específica (cm <sup>2</sup> /g) evaluados en hojas N <sup>o</sup> 12, 16 y 20.....	81
29. Relación Área Foliar (cm <sup>2</sup> /g) evaluado en 3 periodos a lo largo del ciclo de cultivo ..	84
30. Índice de área foliar, evaluado en 3 periodos a lo largo del ciclo de cultivo.....	86
31. Evolución de biomasa seca aérea por unidad de superficie (g/m <sup>2</sup> ), evaluado en 3 periodos de tiempo .....	88
32. Evolución de biomasa seca aérea por unidad de planta (g/planta) .....	90
33. Evolución del porcentaje de materia seca, evaluado a los 60, 90 y 120 días después de la siembra.....	91
34. Distribución de materia seca (%) en diferentes órganos de una planta promedio ....	93

35. Rendimiento en grano (kg/ha, g/m <sup>2</sup> ) para plantas con práctica de raleo .....	94
36. Rendimiento en grano (kg/ha, g/m <sup>2</sup> ) para plantas sin práctica de raleo.....	96
37. Efecto del raleo sobre el rendimiento de grano por planta.....	98
38. Índice de Cosecha para diez variedades de quinua .....	99
39. Peso de 1000 semillas (mg) de 10 variedades de quinua .....	101
40. Longitud de panoja (cm), con efecto de raleo y protección de panojas .....	103
41. Diámetro de panoja (cm, con efecto de raleo y protección de panojas.....	105
42. Volumen de panoja (cm <sup>3</sup> )con efecto de raleo y protección de panojas a la cosecha .....	106
43. Peso de grano según el tamaño de los granos de una planta promedio, con práctica de raleo y con protección de panojas, en 10 variedades de quinua.....	107
44. Peso de grano según el tamaño de los granos de una planta promedio, sin práctica de raleo y con protección de panojas, en 10 variedades de quinua.....	108
45. Peso de grano según el tamaño de los granos de una planta promedio, sin práctica de raleo y sin protección de panojas, en 10 variedades de quinua.....	109
46. Número de granos por panoja, en 10 variedades de quinua .....	110
47. Porcentaje de pérdida de granos por panoja, en 10 variedades de quinua.....	112
48. Coeficientes de correlación múltiple de variables de rendimiento con el rendimiento en grano.....	113

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

### **Anexo N°**

- A. 1. Análisis físico-químico del suelo del sitio experimental
- A. 2. Croquis del ensayo experimental.
- A. 3. Características técnicas del ensayo experimental
- A. 4. Promedio del porcentaje de germinación en laboratorio.
- A. 5. Análisis de varianza para porcentaje de germinación a 120 horas después de la siembra.
- A. 6. Análisis de varianza para altura de planta (cm) a los 152 días después de la siembra.
- A. 7. Análisis de varianza para diámetro de tallo principal (mm) a los 152 días después de la siembra, en diez variedades de quinua.
- A. 8. Análisis de varianza para número de hojas del tallo principal a los 45 días después de la siembra, en diez variedades de quinua.
- A. 9. Análisis de varianza para días a la floración, en 10 variedades de quinua.
- A. 10. Análisis de varianza para días a la Madurez fisiológica, en 10 variedades de quinua.
- A. 11. Análisis de varianza para Rendimiento de grano, con efecto de raleo (kg/ha)
- A. 12. Análisis de varianza para Rendimiento de grano (kg/ha) sin efecto de raleo.
- A. 13. Análisis de varianza para peso de 1000 semillas (mg) en 10 variedades de quinua.
- A. 14. Gráficas de la dinámica de acumulación de materia seca del grano de quinua, en mg y del % de humedad, en función del tiempo desde la formación de grano.
- A. 15. Variedades de quinua.
- A. 16. Siembra en el sitio experimental.
- A. 17. Germinación de semilla de quinua.
- A. 18. Medición de diámetro de tallo de la variedad Chucapaca (plantas con raleo).
- A. 19. Protección de panojas.
- A. 20. Vunteo de los granos en venteadota eléctrica.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, titulado “Comportamiento agronómico y periodo de maduración de granos en diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)” se realizó en predios de la Estación Experimental de Choquenaira, Municipio de Viacha, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, durante la campaña agrícola 2005 - 2006.

El objetivo principal fue evaluar el comportamiento agronómico de 10 variedades de quinua en relación a las condiciones medioambientales de la zona de estudio, en base a variables agronómicas, fenológicas, fisiotécnicas y de rendimiento. Además de evaluar la evolución de la maduración de granos.

Los tratamientos en estudio fueron 10 variedades de quinua: Chucapaca (V01), Surumi (V02), Kamiri (V03), Huganda (V04), Jiwaki (V05), Kurmi (V06), K'ellu (V07), Real blanca (V08), Toledo rojo (V09) y Pandela (V10), establecidos bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar, con 4 repeticiones. Para la comparación entre medias de tratamientos se utilizó la prueba de Duncan al 5 % de significancia.

De los datos climáticos registrados durante la campaña agrícola 2005-2006, la precipitación acumulada total (461 mm) estuvo dentro los requerimientos del cultivo, mientras la temperatura media diaria registrada llegó en promedio a 11.2°C, con una máxima de 21.8 °C (formación de hojas) y una mínima de -3.6 °C (fase de emergencia). Asimismo, el análisis físico-químico del suelo fue clasificado como franco arcillo arenoso, de textura moderadamente fina, pobre en contenido orgánico (15.40 g/kg).

De la interpretación de los resultados se tiene que: las variedades Chucapaca, Surumi, (Altiplano Centro), Huganda (Altiplano Norte) y Pandela (Altiplano Sur), presentaron un mejor crecimiento y desarrollo respecto al resto de las variedades, las cuales alcanzaron: mayor altura de planta, con un rango de 97.45 cm (Chucapaca) a 89.7cm (Huganda); mayor diámetro de tallo, con 11.59 mm (Chucapaca) a 10.79 mm (Pandela); mayor número de hojas a inicios de panojamiento, con 16 hojas (Chucapaca) y con 15 hojas las variedades Surumi, Kamiri y Huganda. Asimismo, los mayores porcentajes de emergencia lo obtuvieron las variedades Kamiri y Jiwaki con 38.8% y 38.1% respectivamente.

Respecto a las variables fenológicas la variedad K'ellu fue la primera en alcanzar la floración, a 78 días después de la siembra (DDS) con el 50% de floración. Asimismo, la variedad K'ellu fue la primera en obtener la madurez fisiológica, a los 153 DDS, considerada como semiprecoz, le siguieron las variedades Real blanca con 156 días, Jiwaki con 157 días y Toledo rojo con 159 días, ubicándose como semiprecoces. En tanto, las variedades Kurmi y Surumi, fueron las más tardías con un tiempo de 179 y 176 días respectivamente.

En referencia a la maduración de granos, las variedades del Altiplano Sur fueron las primeras en estabilizar su peso que sucedió entre 136 a 150 DDS, sobresaliendo Real blanca con un peso máximo de 5.29 mg de grano seco. En tanto, las variedades del Altiplano Norte y Centro alcanzaron sus pesos máximos entre los 156 a 173 DDS, destacándose las variedades Surumi y Kurmi, con 4.15 y 4.14 mg de grano seco respectivamente.

En cuanto a las variables fisiotécnicas los máximos incrementos de material vegetal por unidad de tiempo (TCA) se registraron entre los 60 a 90 DDS, en la mayoría de las variedades, excepto Pandela, Jiwaki, Kamiri y Kurmi, que alcanzaron altos promedios de TCA entre los 90-120 DDS, sobresaliendo Kurmi, con una TCA de 0.262 g/día. Asimismo, los máximos valores de superficie de hoja se registraron en hojas de rango 12 (hojas inferiores), en la mayoría de las variedades, excepto Chucapaca y Kamiri, alcanzando un promedio de 22.7 cm<sup>2</sup>/hoja, destacando la variedad Kurmi con la máxima superficie de hoja de 29.4 cm<sup>2</sup>/hoja.

A su vez, los máximos promedios de AFE, para las 10 variedades, se registraron en hojas de rango 12 y 16, con promedios de 134.09 y 127.37 cm<sup>2</sup>/g, respectivamente. Asimismo, entre los 90 DDS (fase de floración e inicio de grano lechoso), las variedades Kamiri, Jiwaki, Toledo rojo y Pandela, alcanzaron los máximos índices de área foliar (IAF), con un máximo de 6.2 (Kamiri) y un mínimo de 1.9 (Kurmi).

La mayor acumulación de biomasa seca aérea por unidad de superficie se registró entre los 120 DDS, en la mayoría de las variedades, logrando un promedio de 382.16 g/m<sup>2</sup>, destacándose la variedad Surumi con 520 g/m<sup>2</sup>. También, durante este periodo, las 10 variedades, excepto K'ellu, alcanzaron los máximos promedios de materia seca por unidad

de planta, con un promedio de 7.73 g/planta, destacando Real blanca con el máximo peso de 9.01 g/planta.

La evolución de la acumulación de materia seca en los diferentes órganos aéreos de una planta promedio, se presentó de forma cambiante en el primer periodo de evaluación (60 DDS) concentrándose en las hojas, con un porcentaje promedio de 37.8%, para las 10 variedades. A los 90 DDS, se acumuló en los tallos con un promedio de 45.8 %, para las 10 variedades. Finalmente, a los 120 DDS, la mayor acumulación de materia seca se registró en las panojas, con un promedio de 43.9%, excepto las variedades Kurmi y Pandela, que registraron mayor %MS en hojas.

El mayor rendimiento de grano lo obtuvo la variedad Kamiri con 1655 kg/ha, sin efecto del raleo. En tanto la variedad Huganda, alcanzó el mayor rendimiento por unidad de planta con 9.38 g/planta con práctica de raleo.

El mayor índice de cosecha, traducida en mayor productividad, se manifestó en las variedades del Altiplano Centro, donde sobresalieron Kamiri y Kurmi con índices de cosecha igual a 0.65 y 0.62 respectivamente, le siguieron las variedades del Altiplano Norte, en tanto que las variedades del Sur registraron bajos índices de cosecha.

El mayor peso de granos lo obtuvieron los granos de 2.0 a 2.5 mm de diámetro, asimismo fueron los de mayor predominancia, alcanzando un peso promedio de 8.28 g, representando el 64.3% del peso total de los granos, le siguieron los granos de diámetro entre 2.0 a 1.4 mm con 2.85g (23.5%), posteriormente los granos de diámetro mayor a 2.5 mm con 1.44g (11.8%) y por último granos de diámetro menor a 1.4 mm que representó el 0.4 %.

## 1. INTRODUCCIÓN

Bolivia se caracteriza por ser uno de los mayores productores de quinua a nivel mundial. A su vez, el 60 % de la producción proviene de la zona Intersalar (Uyuni - Coipasa) entre los departamentos de Oruro y Potosí, donde se cultiva la Quinua Real, considerada la de mayor calidad del mundo, debido al tamaño del grano.

Además, la quinua Real, es exclusiva de Bolivia y hasta el momento no ha podido ser replicada en otros países, a pesar de esfuerzos reiterados de investigación en Perú, Estados Unidos, Canadá y Ecuador. La ventaja de Bolivia, en ese sentido se encuentra en la particularidad de las condiciones climáticas, especialmente la radiación solar y la altura de sus zonas productoras. Sin embargo, el poco trabajo de investigación respecto a su adaptabilidad a determinadas condiciones climáticas, no han permitido su diversificación en otras zonas del Altiplano, pese a la demanda de este producto, tanto por consumidores como por agricultores.

La demanda creciente de la quinua, en el mercado nacional e internacional, ha motivado a diversificar su cultivo. Sin embargo, el poco conocimiento sobre el comportamiento agronómico de las diferentes variedades de quinua, existentes en Bolivia, frente a determinadas condiciones medioambientales, no han permitido la diversificación del cultivo, limitando la producción a determinadas variedades. Por tanto, el agricultor no tiene muchas referencias técnicas sobre que variedades se adaptarían mejor a su región.

En este sentido, el propósito del trabajo de investigación, que forma parte de la Red de Investigación en el Cultivo de Quinua, dirigido por el IRD (Instituto de Investigación por el Desarrollo), es el de identificar variedades, procedentes de tres regiones (Altiplano Norte, Central y Sur) de mejor adaptabilidad a las condiciones edafo-climáticas de la zona de estudio. Asimismo, contribuir con material bibliográfico, de carácter científico, sobre el comportamiento agronómico y maduración de granos de 10 variedades de quinua, evaluada a través de variables fisiotécnicas, agronómicas, componentes de rendimiento. También, conocer sobre la adaptabilidad de la quinua Real a un ecosistema diferente de su Centro de origen, considerando que el medio ambiente influye en la fisiología de los seres vivos condicionando su desarrollo y crecimiento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar el comportamiento agronómico y periodo de maduración de granos, en diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en la Estación Experimental de Choquenaira dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas a lo largo del ciclo del cultivo, de diez variedades de quinua frente a las condiciones medio ambientales de la E.E de Choquenaira.
- Evaluar y comparar los niveles de biomasa en tres etapas vegetativas de las diez variedades.
- Establecer la curva de maduración de granos para diez variedades de quinua.
- Determinar el rendimiento final en grano, con efecto del raleo de plantas y protección de panojas, en diez variedades de quinua.
- Evaluar los componentes del rendimiento en grano, en diez variedades de quinua.

### **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Origen de la quinua**

La mayoría de los autores coinciden en señalar que la quinua es originaria de los Andes de Perú y Bolivia, basándose en la teoría de Vavilov<sup>4</sup>. Al respecto, Tapia *et al.*, (1979), señala que la mayor variación de quinuas cultivadas se encuentra alrededor del lago Titicaca, entre Cuzco - Perú y el lago Poopó – Bolivia. Asimismo, Mujica *et al.*, (2004), coincide en señalar que la quinua presenta mayor diversidad de genotipos y de progenitores silvestres en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia.

A su vez, CIRNMA (1997), destaca áreas específicas conocidas como subcentros de origen, los cuales se generan a partir del intercambio de especies entre zonas, donde se adapta diversidad de variedades del cultivo de quinua. Cada uno de estos centros de origen tiene características diferentes en cuanto a latitud, altitud, suelo, vegetación y clima. Al respecto, Borja y Soraide (2007), destacan a la Quinua Real como la variedad originaria del Altiplano Sur de Bolivia.

#### **3.2 Importancia y usos de la quinua**

Para la FAO (2006), la importancia de la quinua radica en la nutrición humana, catalogándola como un alimento de gran futuro en el ámbito mundial, señalando que su contenido de proteínas la convierte en un buen sustituto de la carne, los lácteos y los huevos. Asimismo, AEDES (2006), destaca su alto contenido de proteína (14 a 20%), y su contenido completo de aminoácidos esenciales.

Según Saravia y Aroni (2001), la quinua es de vital importancia para la seguridad alimentaria de los pobladores andinos, y también constituye una fuente de ingresos económicos. En opinión de León (2003), la quinua se constituye en un aporte de la cultura andina para el mundo entero, por su diversidad y utilidad.

---

<sup>4</sup> Nicolai I. Vavilov, agrónomo ruso, elaboró el “Método diferencial botánico geográfico” para determinar el centro de origen de una especie. Según este método el centro de origen de una planta cultivada es aquella región con la mayor diversidad tanto de plantas cultivadas como de sus progenitores silvestres (Sevilla y Holle, 2004).

En el campo de la agricultura, su importancia radica en sus características agronómicas, por ser un cultivo tolerante a las adversidades climáticas y edafológicas extremas como la sequía y bajas temperaturas, salinidad de suelos y suelos pobres en nutrientes (Muñoz y Acevedo, 2000). En el ámbito de salud, sus beneficios radican en la prevención de algunas enfermedades tales como la osteoporosis, cáncer de mama, enfermedades del corazón, diabetes, artritis, entre otros (Borja y Soraide, 2007).

Respecto al uso de la quinua, el grano se utiliza principalmente como alimento humano, pudiéndose consumir en mermeladas, helados, dulces, masitas, licores, jarabes y menús variados (Solobolivia, 2000). Sus hojas tiernas e inflorescencias se consumen en reemplazo de las hortalizas de hoja e inflorescencias (Ayala, s/f).

Asimismo, Ayala (1999), destaca algunos platos tradicionales como kispíños (panecillos elaborados con harina de quinua y cal cocida al vapor), katawi lawa (mazamorra a la que se le agrega cal viva como saborizante y leche), p'esqe (espesado del grano de quinua a la que se agrega ocasionalmente trozos de queso y leche).

Los subproductos de la quinua, como la saponina, se utilizan en elaboración de champus y jabones (Repo *et al.*, 1999). También se emplean para el control de plagas y parásitos en animales domésticos (Infoquinua, 2008). Además otros subproductos (tallos y restos de la planta) se utilizan como leña y forraje para la alimentación del ganado (Brenes, 2001).

### **3.3 Taxonomía del cultivo de la quinua**

Según León (2003), la quinua taxonómicamente se clasifica al Reyno vegetal; División Fanerógamas; Clase Dicotiledóneas; Sub-clase Angiospermas; Orden Centrospermales, Familia: Chenopodiaceae, Género: *Chenopodium*, Sección: Chenopodia, Subsección Cellulata, Especie: *Chenopodium quinua* Willd. A su vez, el mismo autor adscribe que la quinua fue descrita por primera vez por el científico alemán Luís Christian Willdenow.

### **3.4 Descripción botánica de la planta**

Mujica *et al.*, (2004), describen a la quinua como una planta herbácea de cosecha anual, erguida, de altura variable (30 a 250 cm), con un período vegetativo que varía entre 90 a 240 días.

#### **3.4.1 Raíz**

León (2003), menciona que la raíz es pivotante, a un inicio, y luego ramificado, llegando a medir entre 25 a 30 cm de longitud, según el ecotipo<sup>5</sup>, tipo de suelo, y altura de la planta. Al respecto Fonturbel (2005), indica que la raíz puede alcanzar hasta 1.80 m de profundidad en casos de sequía. A su vez, Pacheco *et al.*, (1978) mencionan que la longitud de la raíz es proporcional con la altura de planta.

#### **3.4.2. Tallo**

Tapia y Frías (2007), describen el tallo como cilíndrico (a la altura del cuello de la raíz) y angular (a la altura de las ramas y hojas), de médula blanda en plantas jóvenes y esponjosas y huecas en plantas maduras. A medida que la planta crece, primero nacen las hojas y de las axilas de éstas las ramas (Tapia *et al.*, 1979).

#### **3.4.3. Hojas**

Gandarillas (2001), describe las hojas como simples, alternas (según inserción de las hojas en el tallo), pecioladas, sin estípulas, de carácter polimorfo (diferentes formas en una misma planta), de forma romboidal en la base inferior y lanceolada o triangular en la parte superior. A su vez, León (2003) y Zamudio, (2006), mencionan que las hojas presentan oxalatos de calcio, los cuales captan la humedad atmosférica nocturna y reflejan los rayos luminosos del sol (disminuyendo la radiación directa sobre las hojas), evitando así la transpiración excesiva en caso de sequías.

---

<sup>5</sup> CIRNMA, (1997), definen ecotipo como especie en proceso de mejoramiento, pero que aún expresa variabilidad genética. Según Soto *et al.*, (2006), ecotipos son variedades de una misma especie determinada, que han desarrollado adaptaciones morfológicas y fisiológicas particulares al ecosistema donde viven sin que haya cambios del material genético. Para una especie determinada, los diferentes ecotipos tienen el mismo material cromosómico y difieren por sus adaptaciones morfológicas y fisiológicas.

#### **3.4.4. Flores**

Gandarillas (2001), menciona que las flores son incompletas (carecen de pétalos), por lo que los sépalos protegen las anteras y los pistilos. Pueden ser hermafroditas (terminales) o femeninas (pistiladas), presentan un perigonio, cinco sépalos, un androceo con cinco estambres cortos y curvos, un gineceo con estigma central plumoso; ovario elipsoidal, súpero, unilocular, según la descripción de Erquínigo, citado por Mujica *et al.*, (2004).

#### **3.4.5. Inflorescencia**

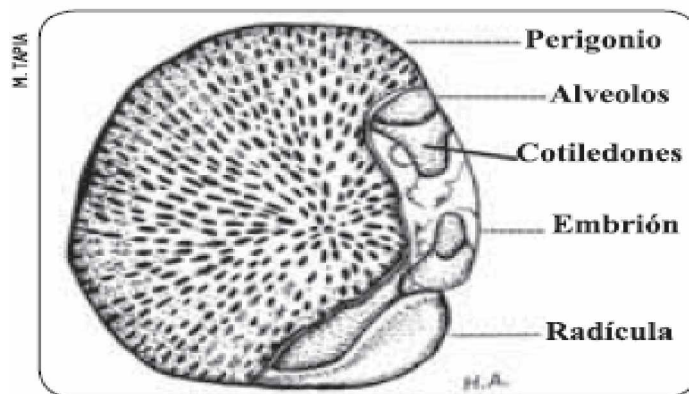
Según Tapia y Fries (2007), la inflorescencia es de tipo racimosa, por la disposición de las flores en el racimo se la denomina panoja. Destacan dos tipos de panoja: glomerulada (los ejes glomerulados nacen de los ejes secundarios del tallo principal) y amarantiforme (el eje glomerular nace directamente del eje principal). También mencionan que las inflorescencias densas y de mayor tamaño (70 cm) pueden llegar a un rendimiento de 220 gramos de granos por planta. A su vez, Mujica *et al.*, (2004), señalan que la panoja alcanza entre 30 cm a 80 cm de largo y entre 5 cm a 30 cm de diámetro. Y el número de semillas por panoja varía de 100 a 3000, encontrando panojas grandes que rinden hasta 500 gramos de semilla por inflorescencia.

#### **3.4.6. Fruto**

Tapia *et al.*, (2000), describen al fruto como un aquenio, cubierto por el perigonio que se desprende fácilmente al frotarlo cuando está maduro. El diámetro del grano varía de 1.5 a 4 mm, el contenido de humedad del fruto a la cosecha es de 14.5% (Gallardo, citado por Mujica *et al.*, 2004).

#### **3.4.7. Semilla**

Villacorta y Talavera, citado por Mujica *et al.*, (2004), mencionan que la semilla constituye el fruto maduro sin el perigonio, de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, el cual presenta tres partes bien definidas: episperma, embrión y perisperma.



Fuente: Tapia, 1979.

**Figura 1. Semilla de quinua**

El epispermo, a su vez, presenta cuatro capas: una externa que determina el color de la semilla, de superficie quebradiza y seca, que se desprende fácilmente al frotarla, en ella se ubica la saponina<sup>6</sup> que le da el sabor amargo al grano; el color de la segunda se observa sólo cuando la primera capa es translúcida; la tercera capa es una membrana delgada, opaca de color amarillo; la cuarta capa es translúcida y está formada por una hilera de células que cubre el embrión.

### 3.5 Fenología del cultivo de quinua

Según Mújica *et al.*, (2004), la quinua presenta 12 fases fenológicas bien diferenciadas, las cuales permiten identificar los cambios que ocurren durante el desarrollo de la planta, estas son:

- **Emergencia:** es cuando la plántula sale del suelo y extiende las hojas cotiledonales entre los 7 a 10 días después de la siembra, siendo este periodo muy susceptible al ataque de aves, pues las dos hojas cotiledonales emergen protegidas por el episperma y pareciera mostrar la semilla encima del talluelo facilitando el consumo de las aves.

<sup>6</sup> Saponina (del latín sapon = jabón), grupo de glucósidos que se disuelven en agua y disminuyen la tensión superficial de ésta, formando una espuma abundante y relativamente estable. Sustancia blanca, amarga que se encuentra en el epispermo del fruto (IICA, PNUD, 1991; Tapia *et al.*, 2000).

- **Dos Hojas Verdaderas:** es cuando aparecen dos hojas verdaderas extendidas de forma lanceolada, fuera de las hojas cotiledonales lo cual ocurre entre los 15 a 20 días después de la siembra.
- **Cuatro hojas verdaderas:** es cuando se observan dos pares de hojas verdaderas extendidas y aún están presentes las hojas cotiledonales aún de color verde, encontrándose en botón foliar las siguientes hojas del ápice. Esta fase ocurre entre los 25 a 30 días después de la siembra, y es una fase donde la plántula muestra buena resistencia al frío y sequía.
- **Seis hojas verdaderas:** en esta fase se observan tres pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas cotiledonales se tornan de color amarillento. Esta fase ocurre entre los 35 a 45 días después de la siembra.
- **Ramificación:** es cuando se observa ocho hojas verdaderas extendidas con presencia de hojas axilares hasta el tercer nudo, las hojas cotiledonales se caen y dejan cicatrices en el tallo, también se nota presencia de inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto la panoja, ocurre de los 45 a 50 días de la siembra.
- **Inicio de panojamiento:** es cuando la inflorescencia va emergiendo del ápice de la planta, con aglomeración de hojas pequeñas, las cuales van cubriendo a la panoja en sus tres cuartas partes, ocurre de 55 a 60 días de la siembra. Así mismo, se aprecia el amarillamiento del primer par de hojas verdaderas y se produce elongación y engrosamiento del tallo. También ocurre el ataque de la primera generación de *Eurysacca melanocampta* (qhona qhona), formando nidos y enrollando las hojas.
- **Panojamiento:** es cuando la inflorescencia sobresale con claridad por encima de las hojas, notándose los glomérulos que la conforman, ocurre de 65 a los 70 días después de la siembra. A partir de esta etapa hasta el inicio de grano lechoso se puede consumir las inflorescencias en reemplazo de las hortalizas de inflorescencias.

- **Inicio de floración:** es cuando la flor hermafrodita apical se abre mostrando los estambres separados, ello ocurre de los 75 a 80 días de la siembra, en esta fase es bastante sensible a la sequía y heladas.
- **Floración o antesis:** es cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas, ello ocurre de los 90 a 100 días después de la siembra, y esto puede observarse a medio día, ya que en horas de la mañana y al atardecer se encuentran cerradas. Esta fase es muy sensible a las condiciones climáticas especialmente a las heladas, pudiendo resistir solo hasta -2 °C, y pueden ocurrir abortos de las flores con temperaturas mayores a 38 °C, en invernaderos o zonas desérticas y calurosas.
- **Grano lechoso:** es cuando los frutos que se encuentran en los glomérulos de la panoja explotan y dejan salir un líquido lechoso, al ser presionados, lo cual ocurre de los 100 a 130 días después de la siembra, en esta fase el déficit hídrico es sumamente perjudicial para el rendimiento, disminuyéndolo drásticamente.
- **Grano pastoso:** es cuando los frutos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco, ocurre de los 130 a 160 días de la siembra, en esta fase el ataque de la segunda generación de *Eurysacca melanocampta* (qhona qhona) causa daños considerables al cultivo formando nidos y consumiendo el grano.
- **Madurez fisiológica:** es cuando el grano formado, presionado por las uñas, presenta resistencia a la penetración, lo cual ocurre de los 160 a 180 días después de la siembra y donde el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16%, y se presenta un amarillamiento completo de la planta y una gran defoliación.

Por otro lado Espíndola (1994), define nueve etapas morfo-anatómicas distinguibles: etapa cotiledonar, etapa de las hojas basales, etapa de cinco hojas alternas (diferenciación panicular), 13 hojas alternas (pre - despunte panicular), despunte de panoja, floración, etapa de grano lechoso, estado masoso y etapa de grano pastoso duro (madurez fisiológica).

AEDES (2006), destaca 13 fases fenológicas de la quinua: emergencia, hojas falsas o cotiledonales, dos hojas verdaderas, cuatro hojas verdaderas, seis hojas verdaderas, ramificación, inicio de panojamiento, panojamiento, inicio de floración, floración o antesis, grano lechoso, grano pastoso y madurez fisiológica.

### **3.6 Madurez del grano**

GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001), divide a la madurez de cultivo en tres fases: madurez morfológica, madurez fisiológica y madurez tecnológica y las describen de la siguiente forma:

#### **3.6.1 Madurez morfológica (Estado lechoso)**

En este estado todas las sustancias de reserva, necesarias para la germinación, ya están almacenadas en el grano. La planta todavía está verde, el grano es suave y aplastándole sale una masa lechosa. El contenido de agua está alrededor de 50%. Es una fase crítica para daños por sequía.

#### **3.6.2 Madurez fisiológica (Estado de masa)**

Es cuando la planta pierde su coloración original, se torna amarilla, caen casi todas sus hojas, comenzando de las basales. El grano presenta resistencia a la uña. El contenido de agua es de 20 a 25%. Momento apto para la cosecha manual.

#### **3.6.3 Madurez tecnológica (estado de madurez completa)**

Es cuando la planta esta completamente amarilla, con pérdida total de sus hojas. El contenido de agua es de 14 a 16 %. Es el momento apto para la cosecha mecánica.

A su vez, Andersen (1983), utiliza el término madurez de cosecha o madurez desgranable para caracterizar la etapa en la que se puede separar el grano simplemente pasando la mano hacia arriba por la inflorescencia. También correlaciona las pérdidas por desgrane con porcentajes de humedad del grano de 12%, permitiendo realizar la trilla con facilidad.

Asimismo, Mujica (1997), menciona que si se cosecha con una humedad del grano mayor a 18% se corre el riesgo de fermentación en las parvas, por el contrario, si se cosecha cuando la humedad del grano es menor a 12 % existe pérdidas considerables por desgrane.

A su vez, Abeledo *et al.*, (2004), ostenta la madurez desde dos perspectivas:

- Madurez desde el punto de vista fisiológico, momento en el cual se estabiliza el peso seco del grano. A partir de allí, es posible realizar la cosecha del cultivo sin comprometer los niveles de rendimiento. Sin embargo, en este estadio fenológico, el alto contenido de humedad de los granos no los hace aptos para ser directamente almacenados. Es por ello que, desde el punto de vista comercial, el parámetro considerado para caracterizar la madurez es el contenido de humedad del grano.
- Madurez desde el punto de vista comercial, determinada por medio del contenido de humedad del grano.

### **3.7 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo**

#### **3.7.1 Suelo y pH del suelo**

Según Hernández y León (1992), el cultivo de quinua prefiere suelos francos, semiprofundos, con buen drenaje, provistos de nutrientes y pH de 4,5 (ácidos) hasta 9,5 (alcalinos) según los ecotipos. A su vez, Mujica *et al.*, (2001), indican que también se adapta a suelos franco arenosos, arenosos o franco arcillosos, siempre que se dote de nutrientes y no exista la posibilidad de encharcamiento, por ser muy susceptible al exceso de humedad, sobre todo en las primeras etapas del cultivo.

### 3.7.2 Precipitación y temperatura

Según León (2003), la precipitación óptima para el cultivo de la quinua es de 300 a 500 mm y como máximo 600 a 800 mm. Al respecto, Borja y Soraide (2007), señalan que las precipitaciones, en el Altiplano Norte, fluctúan entre 400 a 800 mm. Y bajas precipitaciones medias anuales que varían de 212 mm al Norte del Salar de Uyuni y 110 mm al Sur Este del Salar, concentradas en los meses de diciembre a abril, con un clima frío y temperaturas medias mensuales que varían entre 8 y 20°C, con 200 a 250 días de heladas al año.

A su vez, Tapia (2000), describe los requerimientos de precipitación y temperatura según los grupos agroecológicos (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Requerimientos de precipitación y temperatura, según los grupos agroecológicos de quinua.**

<b>GRUPO AGROECOLÓGICO</b>	<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>	<b>TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO (°C)</b>
Valle	700 - 1500	3
Altiplano	400 - 800	0
Salares	250 - 400	-1
Nivel del mar	800 - 1500	5
Yungas	1000 - 2000	7

Fuente: Tapia, 2000.

Respecto a la temperatura GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001), señalan que se obtiene buenas producciones de quinua en un rango de temperatura promedio anual de 9 °C a 16 °C, y para una germinación aceptable una temperatura mínima de 5°C. A su vez, Fontúrbel (2005), describe los requerimientos de temperatura según las fases de desarrollo: fase de germinación con un requerimiento de 1 a 3 °C; fase de primeras hojas, de 5 a 8 °C; fase de ramificación, de 8 a 16 °C; fase de floración de 16 a 22 °C y la fase de madurez con un requerimiento de 16 a 22 °C.

Según Mujica *et al.*, (2004), la fase de ramificación es más tolerante a las bajas temperaturas, soportando hasta -5°C y las fases de floración y llenado de grano, las más susceptibles. También indica que temperaturas mayores a 15 °C causan pérdidas por respiración, traen el riesgo de ataques de insectos (sí las condiciones son secas) u hongos (sí las condiciones son húmedas).

### **3.7.3 Radiación**

Frere *et al.*, (1975), indica que en el altiplano central de Bolivia (Oruro), la radiación alcanza a 489 cal/cm<sup>2</sup>/día y en La Paz 433 cal/cm<sup>2</sup>/día, con una radiación neta (RN) promedio de 154 y 164 respectivamente.

### **3.7.4 Altitud**

Según Zamudio (2006), el cultivo de quinua prospera bien entre los 2000 y 3500 metros sobre el nivel del mar (msnm), siendo el óptimo entre 2200 y 3000 msnm. Al respecto, IICA, PNUD (1991), indican que la quinua Real da en condiciones extremas de hasta 4100 msnm.

### **3.7.5 Fotoperiodo**

La quinua, presenta genotipos de días cortos, largos e incluso indiferentes al fotoperiodo. Prospera adecuadamente con tan solo 12 horas diarias en el hemisferio sur, sobre todo en Los Andes de sudamérica, mientras que en el hemisferio Norte y zonas australes hasta 14 horas luz, con un promedio de 12.19 horas luz por día y un acumulado de 146.3 horas luz al año (Frere *et al.*, 1975).

### **3.7.6 Humedad relativa**

La quinua crece sin mayores inconvenientes desde 40% de humedad, en el altiplano, hasta el 100% de humedad relativa en la costa. La alta humedad relativa se presenta en los meses de mayor desarrollo de la planta (enero y febrero), lo que facilita un rápido desarrollo de las enfermedades fungosas, como es el caso del mildiu (Mujica *et al.*, 2001).

### **3.8 Aspectos fisiológicos de la planta**

Tapia (2000), menciona que la quinua ha sido clasificada como una planta de tipo C<sub>3</sub> o ineficiente, por la poca eficiencia en la fijación de CO<sub>2</sub> a diferencia de otros cultivos de tipo C<sub>4</sub>; corresponde a fotoperiodo de día corto.

### **3.9 Crecimiento y Desarrollo de las plantas**

Salisbury *et al.*, (2000), define crecimiento como el aumento de tamaño, y desarrollo como el crecimiento y diferenciación de células para formar tejidos, órganos y organismos. En tanto, Lira (1994) define crecimiento como el incremento natural en tamaño de los seres orgánicos, y puede medirse como longitud, grosor o área, volumen, masa o peso (ya sea fresco o seco), mientras desarrollo como el cambio ordenado o progreso. Al respecto, Collao y Gabriel (1992), definen desarrollo como el conjunto de transformaciones que corresponden a la creación de nuevos órganos.

#### **3.9.1 Componentes del análisis de crecimiento**

Para Beadle (1988), los principales componentes del análisis de crecimiento son: Tasa de crecimiento de cultivo (TCC), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa foliar unitaria (TFU), razón de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e índice de área foliar (IAF). También señala que para el análisis de crecimiento se necesitan dos tipos de mediciones: el peso de la planta (materia orgánica o el contenido de energía) y el tamaño del sistema asimilatorio, frecuentemente es el área foliar (m<sup>2</sup>), pero puede ser el contenido de proteína o clorofila de las hojas.

##### **3.9.1.1 Tasa de crecimiento absoluto (TCA)**

Rodríguez (1997), define la TCA “como el incremento en peso de material vegetal que experimenta una planta o un cultivo por unidad de tiempo”, expresada como g día<sup>-1</sup> o semana<sup>-1</sup>. Y presenta la siguiente ecuación:

$$\text{TCA} = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{g día}^{-1})$$

**Donde:** TCA = Tasa de crecimiento absoluto de una planta o cultivo  
P<sub>1</sub> = Peso seco de planta en tiempo 1.  
P<sub>2</sub> = Peso seco de planta en tiempo 2.  
t<sub>1</sub> = tiempo de muestreo 1 (expresado en días después de la siembra)  
t<sub>2</sub> = tiempo de muestreo 2 (expresado en días después de la siembra)

### 3.9.1.2 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Rodríguez (1997), define la TCR, “como el incremento en peso de material vegetal que experimenta una planta o un cultivo por unidad de material vegetal presente y por unidad de tiempo”, expresada como gg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> o gg<sup>-1</sup>semana<sup>-1</sup>(kg kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Y presenta la siguiente de ecuación:

$$\text{TCR} = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{gg}^{-1} \text{ día}^{-1})$$

**Donde:** In = Logaritmo natural  
P<sub>2</sub> = Peso seco de planta en T<sub>2</sub>  
P<sub>1</sub> = Peso seco de planta en T<sub>1</sub>  
t<sub>2</sub> = t<sub>1</sub> Periodo de tiempo considerado en días.

Según Beadle (1988), la tasa de crecimiento relativo se define en cualquier instante del tiempo (t) como el incremento del material presente y señala que es el único componente del análisis del crecimiento que no requiere el conocimiento del tamaño del sistema asimilatorio.

### 3.9.1.3 Relación de Área Foliar (RAF)

Beadle (1988), indica que la RAF es la relación del material asimilatorio por unidad de material vegetal presente, y es un componente morfofisiológico. A su vez, Collao *et al.* (1992), mencionan que la relación de área foliar es el área foliar que esta siendo utilizada para producir un gramo de materia seca.

En tanto, Palomo *et al.*, (2003), indica que la RAF estima la magnitud del aparato fotosintético de la planta y resulta de la relación entre el área foliar y el peso seco total de la planta:

$$RAF = \frac{AF}{PS} \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1} \text{ de PS)}$$

**Donde:**     **AF** = Área foliar de la planta  
              **PS** = Peso Seco Total

#### 3.9.1.4 Área Foliar Específica (AFE)

Palomo *et al.*, (2003), indica que el área foliar específica mide el grosor de la hoja y representa la superficie foliar por gramo de hoja, y es calculada con la siguiente relación:

$$AFE = AF / PSAF \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1})$$

**Donde:**     **AF**    = Área Foliar  
              **PSAF** = Peso seco del área foliar

A su vez, Rodríguez (1997), define el AFE, “como la relación o el cociente entre la superficie foliar y el peso de las mismas hojas”, y señala que es el índice del costo energético o material para la formación de una unidad de superficie foliar. También menciona que las Xerófitas (plantas que crecen en ambiente seco) tienen un AFE menor que las Mesófitas (plantas que viven bajo condiciones intermedias de humedad y temperatura) e Higrófitas (plantas que crecen en medio de elevada humedad ambiental).

Asimismo, Hunt, citado por Pérez *et al.*, (2004), señala que el AFE que es un índice del espesor y densidad de la hoja, o bien, la medida de la foliosidad de la planta con base en el peso seco. El AFE varía con la intensidad lumínica o época del año, especies más demandantes de luz presentan una elevada área foliar específica y concentraciones altas de nitrógeno en las hojas (Lee y Heuvelink, citado por Pérez *et al.*, 2004).

Según Rodríguez *et al.*, (2006), el AFE está influenciado por la exposición de las hojas a la radiación solar brillante o difusa, cuando la luz solar es brillante la fotosíntesis y la respiración es con mayor rapidez y consecuentemente hay más azúcar y menos agua en comparación a la hoja que crece a la sombra. En tanto, Palomo y Godoy, citado por Palomo *et al.*, (2003), concluyen que el área foliar específica (AFE) es útil en el establecimiento de diferencias entre variedades en cuanto al grosor de la hoja y vigor de la planta, pues a medida que se incrementa el vigor de la planta decrece el grosor de la hoja.

### 3.9.1.5 Índice de Área Foliar (IAF)

Rodríguez (1997), menciona que el IAF valora la velocidad con que el área foliar ocupa el área del suelo disponible, y la define como la relación entre el área foliar de la planta y la superficie del suelo ocupada por la planta, calculada por la siguiente fórmula:

$$\text{IAF} = \frac{\text{Área foliar por planta}}{\text{Área del suelo por planta}} \quad (\text{m}^2/\text{m}^2), (\text{cm}^2/\text{cm}^2)$$

A su vez, Cárcova *et al.*, (2004), definen el IAF como la superficie foliar fotosintéticamente activa por unidad de superficie de suelo ocupado, el cual se genera con la aparición y expansión de las hojas y es producto del número de hojas y del tamaño de las mismas. Asimismo, Beadle (1988), indica que el IAF permite conocer la productividad de un cultivo. Mejorpasto (2005), señala que un valor de IAF 4 indicaría que sobre 1 m<sup>2</sup> de suelo hay 4 m<sup>2</sup> de hojas. También menciona que es una forma de expresar la densidad de hojas presente en la planta.

Rodríguez *et al.*, (2006), señalan que el IAF es un indicador importante para el seguimiento del desarrollo de un cultivo. También señala que para un índice foliar dado, la duración y conservación de su actividad fotosintética es importante ya que ello determina la capacidad de producción de biomasa. Y el IAF óptimo difiere según la especie, variedad y la influencia del medio ambiente; aproximadamente 6 para las plantas con porte erecto como el arroz, y 3 a 4 para las plantas con porte extendido como la papa.

### **3.9.2 Factores que regulan el desarrollo de los cultivos**

Miralles *et al.*, (2004), mencionan que los procesos que regulan la tasa de desarrollo del cultivo, en cada fase fenológica particular, constituye un elemento indispensable para predecir el comportamiento agronómico y el rendimiento en un área de régimen climático conocido. Estos procesos son complejos, debido a que responden a factores tanto genéticos como ambientales: la temperatura, el fotoperiodo (duración del día) y la vernalización (requerimientos de horas de frío).

### **3.10 Prácticas de cultivo**

#### **3.10.1 Preparación del terreno**

La preparación del terreno implica las labores que se realizan para la instalación de un cultivo, por lo tanto, consta de los siguientes pasos: roturado del terreno, rastrado, desterronado, nivelado y surcado, según CIRNMA (1997) y León (2003):

- a) Roturado del terreno, se realiza después de cosechar el cultivo anterior, y cuando el suelo aun esta húmedo. Se puede realizar con arados de disco o reja (vertedera fija o movable) a una profundidad de 20 cm a 25 cm y en algunos casos con yunta y/o chaquitajillas. La finalidad es oxigenar el suelo, recuperar nutrientes de la capa inferior del suelo, se evita el desarrollo de malezas y la propagación de plagas (se elimina pupas y larvas de insectos al exponerlos al sol).
- b) Rastrado del suelo, se recomienda cuando el suelo esta húmedo y cuando las semillas de las malezas hayan germinado, para así poder eliminarlas, se rastra en forma cruzada para lograr una buena nivelación y mullido del suelo logrando así la uniformidad en la germinación de las semillas.
- c) Desterronado, se realiza cuando todavía quedan terrones en el suelo, consiste en romper los terrones hasta que el terreno este mullido.

- d) Nivelado, con el nivelado se empareja todos los desniveles y vacíos que se encuentran en la superficie. Se puede emplear una cuchilla niveladora en grandes extensiones, con rieles o tabloncillos cuando se siembra en pequeñas extensiones.
- e) Surcado, se efectúa con surcos distanciados entre 35 a 40 cm, con yunta, al cual se le adiciona ramas en forma transversal a la reja, para que efectúe una mejor expansión del surco, debiendo tener una profundidad aproximado de 20 cm.

Asimismo, Bonifacio (s/f), menciona que en el Altiplano Centro y Norte las prácticas de preparación se realizan con las últimas lluvias del año agrícola (febrero). En tanto, en el Altiplano Sur, el preparado del suelo se realiza durante los meses de enero y febrero, y el roturado del suelo se realiza en las "kanonas", donde anteriormente se cosechó papa (Aroni, 1999). Al respecto, CICRA (2006), menciona que para la preparación del suelo se debe tomar en cuenta la rotación de cultivos, tomando en cuenta como antecesor el cultivo papa, haba, arveja o tarwi.

### **3.10.2 Siembra y método de siembra**

La siembra se puede realizar en forma manual (al voleo o en líneas a chorro continuo) a una profundidad de 2 a 5 cm, o en forma mecanizada (con sembradora) con un distanciamiento entre surcos de 40 a 60 cm y de 35 – 40 cm con yunta, según León (2003). A su vez, Bonifacio (1999), indica que para la siembra, en el Altiplano Centro y Norte, por lo menos, se requiere una precipitación mayor a 12 mm, ocurrida en menos de 24 horas, el cual permite sembrar por lo menos durante un día.

GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001), destacan los siguientes métodos de siembra: a) siembra al voleo, se vierte la semilla en todo el terreno; b) siembra en surcos, a una distancia de 30 a 50 cm, se vierte la semilla a chorro continuo en las hileras y luego se efectúa un ligero tapado; c) siembra en hoyos, consiste en la apertura de hoyos (hasta encontrar tierra húmeda) a una distancia de 50 a 100 cm, de 10 a 20 cm de profundidad, con un diámetro de 4 cm, se deposita de 15 a 40 semillas por hoyo.

### **3.10.3 Época de siembra**

Según León (2003), la época de siembra varía de acuerdo a la zona, las variedades que se van a cultivar (precoces o tardías), de la presencia de la lluvia y del grado de humedad del suelo. Así por ejemplo, variedades precoces (140 a 150 días de periodo vegetativo) recomienda sembrar en los meses de octubre a primera semana de noviembre; variedades semitardías (170 días) en octubre, y variedades tardías (170 a 180 días) en septiembre.

Aroni (1999), señala que las siembras tempranas empiezan la segunda quincena de agosto (Altiplano Sur), las siembras normales entre septiembre y octubre, algunas siembras tardías la segunda quincena de noviembre.

### **3.10.4 Densidad de siembra**

Mujica *et al.*, (2004), recomienda una densidad de siembra entre 8 a 15 kg de semilla por hectárea, con un distanciamiento de 0.08 a 0.10 m entre plantas, del cual se obtiene entre 15 a 20 plantas por metro lineal, con tendencia a mayor producción de grano. A su vez, León (2003), recomienda una densidad de 10 kg/ha, sembradas a una distancia de 50 cm entre surcos, y de 15 a 20 kg/ha de semilla sin seleccionar.

### **3.10.5 Labores culturales**

Mujica *et al.*, (2004), destaca principales labores culturales para el cultivo de la quinua: deshierbes, raleo, aporques, purificación varietal, fertilización complementaria, control de plagas y enfermedades, control de heladas y granizadas. Sin embargo, señala que estas actividades pueden variar y ser diferentes según la zona. En tanto, Soto *et al.*, (2006), destaca algunas labores culturales del Altiplano Sur: el sombreado o "piznado" de plántulas recién emergidas, raleo y deshierbe.

### **a) Deshierbes**

Durante el ciclo de cultivo de la quinua se requiere dos deshierbes: el primer deshierbe, cuando las plántulas tengan un tamaño de 15 cm ó cuando hayan transcurrido 30 días después de la emergencia; en tanto el segundo deshierbe, se realiza antes de la floración ó a los 90 días después de la siembra según Mujica *et al.*, (2004).

### **b) Raleo**

Es el descarte de plantas pequeñas, débiles, enfermas, y de plantas con alta densidad por metro lineal o área de cultivo. Se realiza conjuntamente con el deshierbe, entre los 30 a 45 días después de la emergencia, dejando 10 a 12 plantas por metro lineal (León, 2003).

### **c) Aporques**

Mujica *et al.*, (2004), recomienda realizar esta labor antes del estado fenológico de panojamiento, muchas veces simultáneamente con el deshierbe. El mismo autor, señala que en variedades nativas no se practica esta labor, debido a que poseen buen sistema radicular que sostiene perfectamente la parte aérea de la planta.

### **d) Rouguing ó purificación varietal**

Consiste en eliminar plantas de quinua que no reúnen características varietales del cultivo, comprende generalmente plantas de quinua ajenas a la variedad y quinuas silvestres (ajaras). Esta labor debe realizarse antes de la floración, cuando hay una buena diferenciación entre otras variedades y el cultivo (León, 2003).

### **e) Control de plagas y enfermedades**

Aroni (1999), señala que en la producción de quinua convencional se controla plagas con piretroides sintéticos y un manejo agronómico racional. Respecto a las enfermedades, la más importante es el mildiu (*Peronospora farinosa*) que se presenta con mayor frecuencia en el Altiplano Norte, para el control se emplea fungicidas.

### **3.10.6 Cosecha y poscosecha**

Tapia y Frías (2007), señalan que la cosecha se realiza una vez que las plantas llegan a la madurez fisiológica, reconocible por la caída de las hojas y coloración amarilla de toda la planta; el grano, al ser presionado con las uñas ofrece resistencia que dificulta su penetración. Para llegar a esta fase transcurren de 5 a 8 meses, según el ciclo vegetativo de las variedades.

Según Soto *et al.*, (2006), la cosecha se realiza en cuatro etapas: arrancado, emparve/secado, trilla y venteado. Al respecto Nieto *et al.*, (2000) citado por Jacobsen y Sherwood (2002), indican que la cosecha implica la siega o corte de las plantas, emparve, secado (10 a 14 días), trillado, venteado y limpieza. Y la poscosecha implica la selección de los granos, envasado y almacenamiento.

### **3.11 Rendimiento**

Cárcova *et al.*, (2004), definen rendimiento como un conjunto de distintos componentes que se van generando durante el desarrollo del cultivo. Por su parte Mejorpasto (2005), menciona que el rendimiento agronómico es la cantidad de productividad asignada a la parte útil o cosechada del cultivo, así por ejemplo el grano de los cereales, el tronco de los árboles maderables o los vástagos de los cultivos forrajeros.

#### **3.11.1 Componentes del rendimiento**

Espíndola (1981), define componentes del rendimiento como diversos caracteres de la planta, constituyéndose entidades orgánicas que cumplen una función biológica en la planta, cuya culminación puede ser la producción de grano.

Según Cárcova *et al.*, (2004), los componentes principales del rendimiento en cereales son el número de granos por unidad de superficie y el peso promedio unitario de los granos. El número de granos a su vez está determinado por sub componentes como el número de plantas por metro cuadrado, y número de espigas por metro cuadrado.

### **3.12 Índice de cosecha**

Según Cárcova *et al.* (2004), índice de cosecha (IC) refleja la partición de fotoasimilados hacia los granos. Se lo define como la proporción del peso seco total que se acumula en los órganos cosechados y puede variar con el genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente. Por extensión, se puede definir también el índice de cosecha de nutrientes minerales (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.), el cual refleja la proporción nutriente que es exportada en los granos. A su vez, Robles (1991) menciona que entre mayor sea el valor del índice de cosecha, mejor será la productividad.

### **3.13 Producción de quinua**

#### **3.13.1 Producción Mundial**

Según la CAF, CID, CLACDS-INCAE (2001), Bolivia es el mayor productor de quinua con un 46% de la producción mundial, seguido por Perú con un 42%, Estados Unidos con 6,3% y en cuarto lugar está Canadá con un 3%. A su vez, Brenes *et al.*, (2001) afirman que los dos países donde se produce más quinua en el mundo son Bolivia y Perú. Entre ambos producen el 88% de la producción mundial.

#### **3.13.2 Producción en Bolivia**

##### **3.13.2.1 Superficie cultivada, producción y rendimiento de la quinua**

El MACA (2005), según campañas agrícolas (2003 – 2004 y 2004 – 2005), presenta los siguientes datos estadísticos: superficie preliminar cultivada a nivel nacional igual a 43.782 hectáreas (primera campaña) y superficie (estimado) de 44.877 hectáreas (segunda campaña), con una tasa de incremento de 2.50%; y una producción preliminar de 24.757 y 25.648 toneladas métricas año (estimado), con una tasa de crecimiento de 3.60%; un rendimiento preliminar de 565 Kg/ha y 572 Kg/ha (estimado), con una variación de 1.07%. A su vez INE (2008), presenta una producción preliminar de 26.873 TM para 2006 y 26.601 TM hasta el año 2007.

Según CEPROBOL (2007), la mayor producción de quinua proviene de Salinas y otras poblaciones de Oruro, con el 60.2 %, que se destina para fines comerciales, y representa el 85 % de los ingresos de los pobladores.

Hernández y León (1992), mencionan que los rendimientos de quinua en grano varían de 400 a 1200 kg/ha, de acuerdo a la zona. Efectuando una buena preparación del suelo, aplicando nitrógeno fraccionado en siembra y aporque, con surcos distanciados 40 a 80 cm, empleando 10 kg/ha de semilla seleccionada, escardas durante las primeras fases fenológicas, y control de las principales plagas, se alcanza rendimientos de 5 000 kg/ha de grano.

A su vez, FDTA – ALTIPLANO (2002), detalla los rendimientos según las regiones del Altiplano: para el Altiplano Norte un rendimiento de 920 kg/ha promedio; Altiplano Centro rendimientos entre 1000 y 1200 kg/ha.

### **3.13.2.2 Zonas de Producción en Bolivia**

Aroni (1999) y Gandarillas (2001), distinguen dos zonas de producción del cultivo de la quinua: el altiplano y los valles. El altiplano a su vez ha sido dividido en tres zonas ecológicas que son el altiplano norte, central y sur:

El altiplano norte comprende la zona de influencia del lago Titicaca y abarca las provincias Camacho, Los Andes, Omasuyos e Ingavi del departamento de La Paz. En esta zona las unidades productivas son pequeñas y diversificadas con otros cultivos, donde la producción se destina al autoconsumo y al mercado local.

El altiplano central comprende las provincias Pacajes, Aroma y Villaroel del departamento de La Paz y las provincias Cercado, T. Barrón, Avaroa, Poopó, Carangas, San Pedro de Totora y Pagador del departamento de Oruro. En estas zonas la producción se destina al autoconsumo, mercado local y en menor escala a la exportación. Siendo las provincias Aroma y Gualberto Villaroel, las principales zonas de producción (Infoquinua, 2008).

El altiplano Sur comprende las provincias de Ladislao Cabrera y Abaroa, en el departamento de Oruro y las provincias de Quijarro, Daniel Campos, Linares, Nor Lipez y Enrique Valdivieso del departamento de Potosí. Al respecto, Infoquinua (2008), destaca la región de Salinas de Garci Mendoza, provincia Ladislao Cabrera (Oruro) y en la región de Llica, provincia Daniel Campos (Potosí), como las principales áreas de cultivo de quinua.

La zona de los valles comprende los valles Cochabamba, Potosí, Sucre y Tarija. Esta zona tiene poca importancia en la producción de quinua.

A su vez, Zamudio (2006), señala que la quinua Real es producido en los departamentos de Oruro y Potosí, al contorno de los Salares de Uyuni y Coypaza. Y la quinua dulce, en la zona Norte de La Paz, cabeceras de valles de los otros departamentos de Bolivia.

#### **4. LOCALIZACIÓN**

El presente trabajo de investigación se realizó en los predios de la Estación Experimental de Choquenaira, dependiente de la Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, durante la campaña agrícola 2005 a 2006.

##### **4.1 Ubicación geográfica**

La Estación Experimental de Choquenaira se ubica a 32 Km al Sur Oeste de la ciudad de La Paz, provincia Ingavi. Ubicación con datos de GPS: 16°41'27" S (latitud Sur) y 68°17'02" W (longitud Oeste), altitud 3.854 metros sobre el nivel del mar (Rafailac *et al.*, 2006).



**Figura 2. Ubicación de la Estación Experimental de Choquenaira.**

## **4.2 Descripción de la zona**

### **4.2.1 Clima**

Según el registro climático del SENAMHI (2005), en los últimos ocho años (1998 - 2005) el municipio de Viacha registró una precipitación pluvial media anual de 550 mm, donde la mayor precipitación se registró en la gestión 2001 con 751.2 mm y la mínima en el año 2000 con 458 mm/año.

La temperatura promedio anual tiende a variar de 10°C a 11°C en verano (diciembre a febrero), con un promedio mínimo anual de 5.6 °C en invierno (junio - agosto), con temperaturas extremas de -5 °C durante la noche y de 23 °C en el día. Las heladas se presentan con mayor frecuencia en invierno, y muy raras veces en el verano, considerada perjudicial para los cultivos. Los vientos que se registran, en su mayoría, provienen del Este en un 52%, del Oeste 27%, un 19% del Norte y 3% sopla del Sur (Udabe, 1994).

#### **4.2.2 Fisiografía**

Según la clasificación de la zona de vida, esta zona corresponde a una vegetación montano estepa a estepa espinosa (Holdridge, 1992). La zona presenta una topografía ligeramente plana a ondulada, con laderas de colinas poco extensas y de mayor declive. También menciona que esta región es susceptible a tener desastres naturales como inundaciones, sequías periódicas, granizadas y heladas atemporales (Callisaya, 1994).

#### **4.2.3 Suelo**

El suelo de Choquenaria, es de formación aluvial con deposiciones finas, con una profundidad efectiva de 25 a 32 cm, de textura arcillo-limoso y franco arcillo-limoso; de estructura bloque sub angular, moderadamente fuerte, de consistencia adherida en mojado, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. El subsuelo presenta consistencia ligeramente adherente en mojado (Quispe, 1999).

#### **4.2.4 Vegetación**

El agroecosistema local, esta conformado por especies nativas tales como: *Capsella bursa pastoris* (bolsa de pastor), *Erodium cicutarium* (reloj reloj o cuti cuti), *Pennisetum clandestinum* (kikuyo), *Hordeum muticum* (cola de ratón), *Sonchus oleracea* (q'anapaqu), *Taraxacum officinalis* (diente de león), *Bidens andicola* (muni muni), *malva silvestris* (malva rastrea), *Brassica campestris* (mostaza), *Lepidium bipinnatifidum* (janu k'ara). Además de plantas silvestres de quinua *Chenopodium sp.* (ajaras) y especies cultivadas como la cebada y papa principalmente.

## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Materiales

#### 5.1.1 Material biológico

En el presente trabajo de investigación se utilizó semilla de diez variedades de quinua (Tabla 1).

**Tabla 1. Procedencia de 10 variedades de semilla de quinua.**

Código	Variedad	Procedencia
V01	Chucapaca	PROINPA
V02	Surumi	PROINPA
V03	Kamiri	PROINPA
V04	Huganda	Ex. Estación Experimental de Belén
V05	Jiwaki	Ex. Estación Experimental de Belén
V06	Kurmi	PROINPA
V07	K'ellu	Salinas Garci Mendoza-Oruro
V08	Real Blanca	Salinas Garci Mendoza-Oruro
V09	Toledo rojo	Salinas Garci Mendoza-Oruro
V10	Pandela	Salinas Garci Mendoza-Oruro

Con la siguiente descripción:

**a) Chucapaca (V01):** variedad mejorada, obtenida de la cruce de Sajama dulce 573 x Real 488 de Salinas de Garci Mendoza, liberada en el año 1986. Planta de color rojo suave a la floración, rojo intenso a la madurez, altura de 1.30 m a la madurez; panoja glomerulada (ver foto 1, Anexo 15), de grano mediano (2 mm de diámetro), color blanco (grano beneficiado) y de bajo contenido de saponina (dulce); Ciclo productivo de 170 días (semitardío). Rendimiento en grano de 1100 kg/ha, caracterizada por ser una variedad rústica (PROINPA, 2002). Al respecto IBTA/DNS (1996), mencionan que la variedad es tolerante a heladas y medianamente resistente al mildiu.

**b) Surumi (V02):** variedad mejorada, obtenida de la cruce Samaranti x Chiara, liberada en el año 1997. Planta de color púrpura suave a la floración y rosado suave a la madurez (ver foto 2, Anexo 15), altura de 90 a 130 cm (planta grande); de panoja glomerulada; tamaño de grano seco: mediano (2 mm de diámetro), color de grano beneficiado: blanco con el embrión color crema y libre de saponina (dulce); ciclo productivo de 175 días (semitardío). Rendimiento en cultivo extensivo de 1100 kg/ha cuando esta genéticamente pura, caracterizada por su rápida germinación (PROINPA, 2002). Al respecto IBTA/DNS (1996), mencionan que la variedad es tolerante a heladas y medianamente resistente al mildiu.

**c) Kamiri (V03):** variedad mejorada, obtenida de la cruce S-67 (línea de la variedad Sajama) x Real 488 de Salinas de Garci Mendoza, liberada en 1986. Planta color verde, con una altura de 97 cm; panoja glomerulada (ver foto 3, Anexo 15), grano grande (2.2 a 2.5 mm), color blanco y libre de saponina (dulce); ciclo productivo de 160 días (semitardío), y un rendimiento de grano entre 1200 a 2500 kg/ha. Caracterizada por ser una variedad tolerante a heladas y medianamente tolerante al mildiu (PROINPA, 2001 y IBTA/DNS, 1996).

**d) Huganda (V04):** Variedad mejorada, de 100 cm de altura (mediano), con un ciclo vegetativo de 160 días (semitardío); de panoja glomerulada (ver foto 4, Anexo 15), de grano grande (>2.5 mm), dulce, color blanco (después del beneficiado), y con un rendimiento aproximado de 1118 kg/ha (Ramírez, 1995 y Mamani, 2004).

**e) Jiwaki (V05):** variedad mejorada de 100 cm de altura (mediano), con un periodo vegetativo de 150 días (semiprecoz), de panoja glomerulada (ver foto 5, Anexo 15), de grano pequeño (1.8 mm), dulce, color blanco (después del beneficiado), y con un rendimiento de 1118 a 2213 kg/ha (Ramírez, 1995 y Mamani, 2004).

**f) Kurmi (V06):** variedad mejorada, obtenida de la cruce de L-57(86) x Amarilla de Marangani de Perú, liberada en el año 2005. Variedad de ciclo tardío (155-165 días), de 100 a 140 cm de altura, planta de color púrpura hasta la floración y amarillo opaco a la madurez, de panoja color púrpura hasta la floración y rosado suave a la madurez (ver foto 6, Anexo 15); de grano grande, color blanco, dulce (saponina ausente); con un rendimiento experimental de 1450 a 1850 kg/ha y comercial de 1200 a 1550 kg/ha. Tolerante a las

heladas (-3°C), tolerante al granizo y con alta resistencia al mildiu, creada especialmente para condiciones del altiplano Norte y Central según Bonifacio y Vargas (2005).

**g) K'ellu (V07):** variedad procedente de la zona intersalar (Uyuni – Coipasa) entre los departamentos Potosí y Oruro. Planta de crecimiento ramificado con ramas cortas, de 121 cm de altura, color verde a la floración y amarillo pálido a la madurez fisiológica, ciclo vegetativo de 181 días (tardío); de panoja amarantiforme (ver foto 7, Anexo 15), grano grande (2.57 mm de diámetro), color anaranjado antes del beneficiado, amargo, con un peso de 100 granos igual a 0.450 g, y rendimientos de 650 a 700 kg/ha (parcela de agricultor) y en un ensayo experimental 1.860 kg/ha; época de siembra a fines de agosto hasta la primera quincena de octubre (PROINPA, 2003).

**h) Real blanca (V08):** variedad procedente de la zona intersalar de Uyuni y Coipasa, de crecimiento ramificado con ramas cortas, de 112 cm de altura, planta de color verde a la floración y crema suave a la madurez fisiológica, ciclo vegetativo de 184 días (tardío); de panoja amarantiforme (ver foto 8, Anexo 15), grano grande (2.36 mm de diámetro), amargo, color crema antes del beneficiado, con un peso de 0.421 g para 100 granos, y rendimientos de 650 a 800 kg/ha en cultivos extensivos, y de 1200 kg/ha en ensayos experimentales (PROINPA, 2003).

**i) Toledo rojo (V09):** variedad procedente de comunidades del ayllu Tunupa, provincia Ladislao Cabrera, departamento de Oruro. Ciclo vegetativo tardío (184 días), de crecimiento ramificado con ramas cortas, de 127 cm de altura; tallo color verde a la floración, con un diámetro promedio de 1.4 cm; panoja amarantiforme (ver foto 9, Anexo 15) de 24.4 cm de longitud y diámetro máximo de 5.4 cm, de grano grande (2.45 mm de diámetro), amargo, con un peso de 0.425 g para 100 granos. Rendimientos de 650 kg/ha (parcela de agricultor) y 1630 kg/ha en ensayos experimentales (PROINPA, 2003).

**j) Pandela (V10):** variedad procedente de la zona inter-salar de Uyuni y Coipasa, entre Potosí y Oruro. Planta de crecimiento ramificado (ramas cortas), de 113 cm de altura, color verde a la floración y rosado oscuro a la madurez, ciclo vegetativo de 189 días (tardío); tallo verde a la floración con diámetro promedio de 1.2 cm; panoja amarantiforme (ver foto

10, Anexo 15) de 28.8 cm de longitud y diámetro máximo de 4.8 cm; grano grande (2.2 mm de diámetro), color rosado oscuro antes de beneficiado y blanco después de beneficiado, con un peso de 0.407 g para 100 granos, y rendimientos de 650 a 800 kg/ha en parcela de agricultor, y 1660 kg/ha en ensayos experimentales (PROINPA, 2003).

### **5.1.2 Material de Laboratorio**

Los materiales de laboratorio empleados fueron: vernier, balanza analítica (300 x 0.01g), balanza de precisión (0.1 mg), mufla grande y pequeña, tamizadora automática, tamizadote con cuatro zarandas de diferentes diámetros (2.5, 2.0, 1.4, 1.0 mm), venteador automático, cajas petri, papel filtro, bandejas de plástico, sobres manila, marcadores y posillos metálicos.

### **5.1.3 Material de Campo**

Los materiales utilizados fueron: cuaderno de registro, cámara fotográfica, contador manual, balanza analítica (300 x 0.01), flexómetro de 2 m, cinta métrica de 100 m, regla de 30 cm, jeringa de 5 y 10 cc, sobres manila, palillos, estacas de madera, cuerdas, marbetes, yutes, lona de 2 x 1.5 m, 1130 bolsitas de tela tul, baldes y recipientes de plástico, tijera de podar, hoces, rastrillos, chuntillas, zarandas, combo, pala, picota.

También se empleó insumos como fungicida "Ridomil", insecticida "Karate" y adherentes (Gomax y Agral). Además de equipos como monitor de lluvia y termómetros automáticos.

### **5.1.4 Material de gabinete**

Para el procesamiento de datos se utilizaron los programas SAS 6.12 y Microsoft Office Excel 2003. Para la determinación del área foliar se empleó el programa SIGMA SCAN PRO 5 y MGI Photo Suite 4.0. Además, se empleó material de escritorio y material bibliográfico.

## **5.2 Métodos**

### **5.2.1 Procedimiento experimental en campo**

#### **5.2.1.1 Preparación del terreno**

La preparación del terreno se inicio con el roturado del suelo (realizado con tractor agrícola), para seguidamente realizar el rastreado, nivelado (realizado una semana antes), y finalmente el demarcado de bloques y unidades experimentales (realizado un día antes), de acuerdo al croquis de campo.

#### **5.2.1.2 Siembra**

La siembra se realizó el 24 de octubre del 2005, empleando el método de siembra en surcos, se inicio con la apertura de surcos de 4 m de largo a una profundidad de 2 a 3 cm, aproximadamente, distanciados a 50 cm entre surco, en el cual se depositó la semilla de forma manual y a chorro continuo (ver foto 11, Anexo 16). En total se empleó 1,8 g de semilla por surco, calculado en base a la densidad de 10 kg/ha.

#### **5.2.1.3 Evaluación de las variables de respuesta**

La primera evaluación se efectuó 4 días después de la siembra, contando el número de plántulas emergidas en dos metros lineales de cada unidad experimental. Posteriormente se fueron evaluando las demás variables planteadas, en diferentes estados de desarrollo del cultivo, hasta el momento de la cosecha.

#### **5.2.1.4 Labores culturales**

**a) Control de malezas:** Se realizó tres deshierbes a los 36, 52 y 75 días después de la siembra, de forma manual, empleando chuntillas (para surcos) y azadón (para los bordes y pasillos). El primer control se realizó en la fase de ramificación (mes de noviembre); el segundo deshierbe en fase de panojamiento, con un promedio de 32 cm de altura de planta (diciembre), y el tercer control se realizó en la fase de floración, con un promedio de 53 cm de altura de la planta, en el mes de enero.

- b) Raleo y aporque:** El raleo de plantas y el primer aporque se realizó simultáneamente con el primer deshierbe, a los 36 DDS (fase de ramificación). El raleo consistió en eliminar plantas débiles y pequeñas en cada surco, dejando 4 surcos sin ralear por cada unidad experimental, para evaluar el efecto de raleo en el rendimiento. Debido a la presencia de plantas inclinadas se realizó un segundo aporque, a los 105 DDS (inicio de panojamiento), en las variedades del Sur, Chucapaca y Surumi, el cual fue muy dificultoso, ya que las plantas alcanzaban un promedio de altura igual a 80 cm.
- c) Purificación varietal:** La purificación varietal se realizó a los 60 DDS (fase final de panojamiento), con la finalidad de reducir la mezcla de semilla. Consistió en eliminar plantas diferentes en cuanto a la morfología de la planta (color de la panoja, forma de la panoja, color del tallo y color de la planta).
- d) Control de enfermedades:** Se realizó tres controles químicos contra el mildiu (*Peronospora farinosa f.sp. chenopodium*), a los 40, 80 y 130 días después de la siembra. Para tal efecto, se empleó el fungicida “Ridomil”, con una dosis de 40 gramos, más 10 centímetros cúbicos del adherente “Agral”, para 20 litros de agua.
- e) Control de plagas:** Las plagas más importantes presentes en el cultivo fueron: *Eurysacca melanocampta* (qona qona), ticonas y pájaros. Para el control de los insectos se aplicó el plaguicida “karate”, con una dosis de 30 centímetros cúbicos, más 7 centímetros cúbicos de adherente “Gomax” para 20 litros de agua (1½ mochila de 20 litros/bloque), a los 128 días después de la siembra. Para el control de pájaros, se utilizó bolsas plásticas amarradas a las panojas.

#### **5.2.1.5 Cosecha y Poscosecha**

La cosecha se realizó de forma manual (corte con tijera de podar y hoz), según la madurez fisiológica de cada variedad. Para fines de evaluación, se realizó tres muestreos de cosecha por unidad experimental (UE): a) cosecha de 5 plantas marbeteadas; b) cosecha de 30 plantas (10 plantas con protección de panojas y con raleo, 10 plantas con protección de panojas y sin raleo, 10 plantas sin protección de panojas y sin raleo) y c) cosecha de

plantas en 6 metros lineales (3 metros lineales con raleo y 3 metros lineales sin raleo). En cada surco cosechado se dejó 0.5 m de bordura.

Realizado el corte de las plantas se procedió a apilar en un solo sentido, para depositarlas posteriormente en yutes, para su posterior secado. El secado del grano, trilla y venteado se realizó de la siguiente forma:

- a) **Secado de granos:** las muestras cosechadas, recogidas en yutes, fueron secadas en un ambiente cerrado durante dos semanas.
  
- b) **Trilla y limpieza de granos:** posterior al secado de las panojas se procedió al trillado de las mismas, de forma manual sobre manteles de lona y yute. Posteriormente se realizó la limpieza de los granos mediante el venteado a campo abierto. Para las muestras cosechadas, con fines de evaluación, se utilizó el venteador eléctrico (ver foto 15, Anexo 20). Seguidamente, de forma manual, se fue separando el grano de la broza y tierra hasta obtener el grano limpio. Finalmente, se procedió al etiquetado, embolsado y pesaje de los granos limpios en laboratorio.

### 5.2.2 Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fue “Bloques Completamente al Azar, que corresponde al modelo lineal aditivo propuesto por Calzada (1982):

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

**Donde:**

- $Y_{ij}$  = Observación cualquiera
- $\mu$  = Media de la población
- $\beta_j$  = Efecto del j-ésimo bloque
- $\alpha_i$  = Efecto de la i-ésima variedad
- $\epsilon_{ij}$  = Error experimental (E.E.).

### **5.2.2.1 Análisis estadístico**

Se realizaron pruebas de Análisis de Varianza, pruebas de Rango Múltiple de Duncan al 5% de probabilidad, análisis de regresión, pruebas de correlación simple y múltiple. Los datos, de las variables evaluadas, se analizaron con el paquete estadístico SAS SYSTEM para WINDOWS V6.

### **5.2.3 Croquis del Experimento**

La distribución de los tratamientos (variedades) se realizó al azar, al interior de bloques, en sentido perpendicular a la pendiente del suelo, de forma continua (ver Anexo 2). Las especificaciones técnicas del ensayo se detallan en el Anexo 3.

### **5.2.4 Variables evaluadas**

#### **5.2.4.1 Aspectos climáticos**

##### **5.2.4.1.1 Precipitación pluvial**

Los datos de precipitación pluvial se midieron con un pluviómetro automático, instalado dentro el área de ensayo, y la lectura de los datos se realizó cada seis días.

##### **5.2.4.1.2 Temperatura**

La temperatura presente en la zona, se registró con captosres térmicos automáticos, ubicados a dos distancias: una a nivel de caseta meteorológica (1.50 m) y la otra a nivel del cultivo (0.5 m sobre la superficie del suelo) dentro el área de ensayo.

##### **5.2.4.1.3 Análisis del suelo**

El muestreo de suelo del área experimental se realizó mediante el método de zigzag a 20 cm de profundidad propuesto por Rodríguez (2002), posteriormente se remitió para su análisis al Laboratorio de Suelos del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), ubicado en el Municipio de Viacha, ciudad de La Paz, Bolivia.

### 5.2.4.2 Variables Agronómicas

Para evaluar las variables de altura de planta, diámetro del tallo principal, número de ramificaciones, número de hojas del tallo principal, porcentaje de defoliación, se seleccionaron 5 plantas al azar por cada unidad experimental, las cuales fueron marbeteadas para realizar el seguimiento de evaluación. El registro de datos de las variables se realizó una vez por semana hasta la cosecha.

#### a) Porcentaje de germinación en laboratorio

Se utilizó 100 granos de semilla, con cinco repeticiones, para cada variedad. Cuyas semillas fueron colocadas en cajas petri, sobre papel filtro humedecido, de manera uniforme a una temperatura ambiente (ver foto 12, Anexo 17). El conteo de semillas germinadas se realizó en tiempos de: 6, 12, 24, 36, 48, 72, 96, y 120 horas.

#### b) Estimación del número de granos viables a ser plántulas

Para estimar el número de granos viables a ser plántulas, en 1.8 gramos de semilla sembrados en 4 metros lineales, se empleó los siguientes pasos:

1º. Cálculo del peso de granos germinados en 1.8 gramos: Se obtuvo a partir de los datos de porcentaje de germinación en laboratorio y cantidad de semilla sembrada en 4 metros lineales con la siguiente relación:

$$\text{Peso de granos germinados en 4 ml (g)} = \frac{1.8 \text{ g} \times \% G}{100 \%}$$

Donde:

**%G** = Porcentaje de germinación en laboratorio.

**1.8 g** = Peso de semilla sembrada en cada surco de 4 m de longitud.

2º. Cálculo del número de granos (NG) viables de ser plántulas en 4 metros lineales: A partir del peso de granos germinados en 4 metros lineales (ml) y el peso de 1000 granos, se obtuvo el número de granos viables a ser plántulas mediante la siguiente relación:

$$\text{NG viables de ser plántulas} = \frac{\text{Peso de granos germinados (g)} \times 1000 \text{ granos}}{\text{Peso de 1000 granos (g)}}$$

### c) Porcentaje de emergencia (%E) en campo

Para evaluar el porcentaje de emergencia en campo, se demarcó dos metros lineales (separados entre sí por 3 a 4 surcos) en la parte central de cada unidad experimental, donde se cuantificó el número de plántulas emergidas por metro lineal y por variedad. La primera evaluación se realizó el segundo día después de la siembra y la última 30 DDS, con intervalos de dos días al inicio y después de 4 fechas, con intervalos de cinco días hasta la última fecha evaluada. El porcentaje de emergencia en campo se obtuvo con la siguiente relación:

$$\% \text{ E en campo} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de plántulas emergidas}}{\text{N}^{\circ} \text{ de granos viables de ser plántulas}} \times 100$$

### d) Altura de planta (cm)

La altura de planta se midió desde el cuello de la raíz (base del suelo) hasta el ápice de la panoja. Se midió cada 7 días, siendo la primera lectura a los 38 días después de la siembra (DDS), fase de ramificación, y la última a los 152 DDS (fase grano pastoso).

Adicionalmente se evaluó la velocidad de crecimiento de las plantas, en base a datos de altura de planta, para lo cual se consideró la relación extractada de Meneses y Rodríguez (2000).

$$\text{VC} = (T_2 - T_1) / dt$$

**Donde:**

$T_2$  = altura final

$T_1$  = altura inicial

$dt$  = diferencia de tiempo

### **e) Diámetro del tallo principal**

La medición del diámetro del tallo principal se realizó con la ayuda de un vernier, en la parte inferior del tallo, aproximadamente a 2 cm del suelo, sobre los nudos de las hojas cotiledóneas (ver foto 13, Anexo 18). El primer registro fue a los 40 DDS (fase de ramificación) y el final 152 DDS (madurez fisiológica), con intervalo de 7 días, registrándose un total de 17 datos.

### **f) Número de hojas presentes en el tallo principal**

La evaluación de número de hojas en el tallo principal se realizó a partir de la aparición de las primeras hojas. El primer registro de datos se realizó a los 12 DDS (fase inicial de panojamiento) y el final a los 152 DDS (madurez fisiológica), con intervalo de 7 días, registrándose un total de 21 datos.

### **g) Porcentaje de defoliación**

El porcentaje de la defoliación se obtuvo a partir del número de cicatrices presentes en el tallo principal y número de hojas aún presentes en el mismo tallo. El primer registro de datos se realizó a los 47 días después de la siembra (DDS) y el final a los 152 DDS, con intervalo de 7 días, registrándose un total de 16 fechas.

Se determinó con la siguiente relación:

$$\% \text{ Defoliación} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de cicatrices}}{(\text{N}^{\circ} \text{ de cicatrices} + \text{N}^{\circ} \text{ de hojas})} \times 100$$

### **h) Número de ramificaciones**

Para determinar esta variable se contó el número de ramas del tallo principal, en las 5 plantas marbeteadas. Se registraron 14 fechas, el primer dato se determinó a los 40 días después de la siembra (DDS) y el final a los 157 DDS, con intervalo de 7 días.

### **5.2.4.3 Variables fenológicas**

#### **a) Días a la floración**

Esta variable se determinó tomando en cuenta la fase de las 5 plantas marbeteadas, además de la observación de las demás inflorescencias de las variedades, en cada una de las unidades experimentales, posteriormente se estimó el porcentaje de floración y finalmente se calculó el promedio de porcentaje de floración. La evaluación se realizó alrededor de medio día, según sugiere Mújica *et al.*, (2004), ya que señala que en horas de la mañana y al atardecer las flores se encuentran cerradas.

#### **b) Días a la madurez fisiológica**

Esta variable se determinó mediante observación de las plantas, tomando en cuenta el amarillamiento completo, defoliación y realizando la prueba de la presión de los granos con las uñas, en 10 plantas al azar por unidad experimental. También se estimó el porcentaje de la maduración de los granos y finalmente se determinó la madurez mediante el promedio final de las muestras.

### **5.2.4.4 Maduración de los granos de quinua**

La madurez del grano de quinua se evaluó a través del seguimiento de peso seco del grano, y el cálculo de contenido de humedad. El estudio de estos parámetros son primordiales, ya que, según Abeledo *et al.*, (2004), la madurez desde el punto de vista fisiológico se determina por medio del peso seco del grano, y desde el punto de vista comercial se fija por medio del contenido de humedad.

#### **a) Seguimiento del peso seco del grano (mg)**

A partir del seguimiento del peso seco del grano, se determinó el momento de estabilización del peso seco del grano, que sucede cuando el grano obtiene su máximo peso, convirtiéndose así, en la metodología más exacta para determinar el momento en el cual se produce el cese de crecimiento del grano, según menciona Abeledo *et al.*, (2004).

Asimismo, a partir de esta evaluación es posible determinar la madurez fisiológica y realizar la cosecha del cultivo sin comprometer los niveles de rendimiento, ya que el cultivo alcanza el máximo peso en grano.

El procedimiento fue el siguiente:

- **Protección de panojas:** consistió en el colocado de bolsitas de tela tul en la panoja principal de cada planta (ver foto 14, Anexo 19), tomando una muestra de 9 plantas representativas por unidad experimental, para cada variedad, 90 por bloque y un total de 360 panojas protegidas. La protección se realizó a 102 DDS (fase de grano lechoso).
- **Corte de panojas:** el corte de panoja se realizó entre la intersección con el tallo, considerando la mayor agrupación de glomérulos. El primer corte se realizó a los 109 días después de la siembra (inicio grano lechoso), para lo cual se cortó 3 panojas de cada unidad experimental, para cada variedad, debidamente codificadas (número de panoja, nombre de variedad, fecha de muestreo). Posteriormente los cortes se realizaron semanalmente, durante 11 fechas, concluyendo a los 180 DDS.
- **Obtención de 20 granos por panoja:** los 20 granos de muestra se obtuvo de la parte central de la panoja.
- **Determinación del peso fresco y seco:** el peso fresco de 20 granos, de cada panoja muestreada, se determinó a través de una balanza de precisión el mismo momento del muestreo de los 20 granos, mientras el peso seco se consiguió mediante el método del secado artificial, que consistió en secar las mismas muestras en una mufla, a 65 °C durante 24 horas.

#### **b) Determinación del contenido hídrico absoluto del grano de quinua**

A partir de la obtención del peso fresco y seco de 20 granos, obtenidos de cada una de las tres panojas muestreadas, con anterioridad para cada variedad, se calculó el contenido hídrico del grano mediante la relación formulada por Abeledo *et al.*, (2004):

$$\text{CH} = \text{PF} - \text{PS}$$

**Donde:**

**CH** = Contenido hídrico del grano (mg)

**PF** = peso fresco del grano (mg) y

**PS** = peso seco del grano (mg)

### c) Determinación del contenido de humedad del grano

El contenido de humedad del grano se obtuvo a través de la fórmula presentada por GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001):

$$\text{Humedad del grano (\%)} = \frac{(\text{Pi} - \text{Pf})}{\text{Pi}} \times 100$$

**Donde:**

**Pi** = peso inicial de la muestra (peso fresco).

**Pf** = peso final después de 24 horas a 65 °C (peso seco).

#### 5.2.4.5 Variables fisiotécnicas

Para la determinación de las variables Tasa de Crecimiento absoluto (TCA) y Tasa de crecimiento relativo (TCR), se tomó muestra de 5 plantas representativas por cada unidad experimental en 3 periodos de evaluación (60, 90 y 120 días después de la siembra). Una vez extraídas las plantas se determinó el peso fresco en ese mismo instante, luego se colocó en sobres manila. Para la determinación del peso seco del material vegetal, se procedió con el secado en una mufla durante 48 horas a temperatura de 65°C.

##### a) Tasa de crecimiento absoluto (TCA)

Mediante esta variable, se evaluó la ganancia de biomasa por unidad de tiempo. Calculada en base a la relación citada por Rodríguez (1997):

$$\text{TCC} = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \text{ (g/día)}$$

**Donde:**

**P<sub>2</sub>** = Peso seco de la planta en t<sub>2</sub>

**P<sub>1</sub>** = Peso seco de la planta en t<sub>1</sub>

**t<sub>2</sub>** = Tiempo del 2<sup>do</sup> muestreo

**t<sub>1</sub>** = Tiempo del 1<sup>er</sup> muestreo

### **b) Tasa de crecimiento relativo de la planta (TCR)**

La tasa de crecimiento relativo evalúa el incremento en peso del material vegetal que experimenta una planta por unidad de material vegetal presente y por unidad de tiempo.

Su cálculo se realizó con la fórmula citada por Rodríguez (1997):

$$\text{TCR} = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \text{ (g/ g día)}$$

**Donde:**

**ln** = Logaritmo natural

**P<sub>2</sub>** = Peso seco de la planta en t<sub>2</sub>

**P<sub>1</sub>** = Peso seco de la planta en t<sub>1</sub>

**t<sub>1</sub> = t<sub>2</sub>** Periodo de tiempo considerado en días.

### **c) Área foliar de la hoja (cm<sup>2</sup>)**

Par la determinación del área foliar se realizó el siguiente procedimiento: **1º** Se eligió 5 plantas representativas, por variedad, en cada bloque; **2º** una vez escogidas las plantas se procedió a la separación de las hojas de desarrollo completo del tallo principal, de 3 rangos<sup>7</sup> (hoja N°12, N°16 y N°20), con un total de 20 hojas de cada rango, las mismas se enumeraron de acuerdo a la posición de las hojas y se identificaron con códigos de cada variedad; **3º** posteriormente se herborizó las hojas, con la finalidad de tener hojas secas y planas.

---

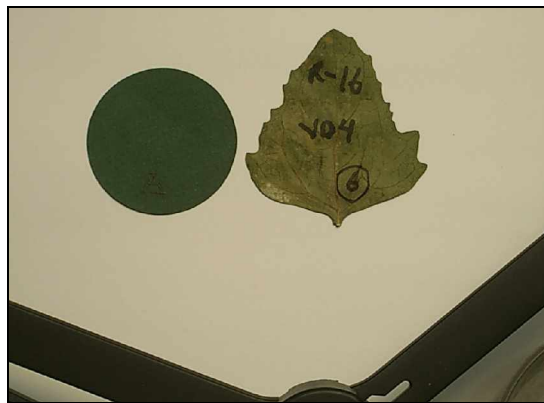
<sup>7</sup> El término "Rango" hace referencia a la posición de la hoja sobre el tallo principal, así por ejemplo rango 12 denota la hoja número 12 contando desde la base del tallo principal hacia arriba.

**Determinación del área foliar:** para lo cual se empleó las mismas hojas que fueron herborizadas y secadas, con el siguiente procedimiento:

1º Toma de fotografías digitales de cada hoja de los rangos mencionados, previamente, se colocó la hoja respectiva sobre una lámina de papel blanco junto a un calibre circular de cartulina, color verde oscuro, de 2551.76 mm<sup>2</sup> de área (ver Figura 3), y para que las fotos no presenten distorsión de las formas naturales, la cámara fotográfica se colocó en un trípode, y sobre esta se fijó un nivel de burbuja para el nivelado.

2º Una vez fotografiadas las hojas, fueron descargadas a la computadora, prosiguiendo con la metodología indicada por Raillaac *et al.*, (2006). Mediante el programa SIGMA SCAN Pro 5<sup>8</sup> se obtuvo el cálculo del área, largo y ancho de las hojas, expresado en unidad de píxeles, que luego fue convertido a mm<sup>2</sup> con la siguiente relación:

$$\text{Área hoja en mm}^2 = \frac{2551.76 \text{ mm}^2}{\text{Área calibre (píxeles)}} \times \text{Área de hoja (píxeles)}$$



**Figura 3. Hoja de quinua de rango 16, variedad Huganda, dispuesta en una lámina de papel blanco, junto a un calibre circular.**

El corte de las hojas del orden N° 12 y N° 16, se realizó en la fase de floración a los 98 días después de la siembra (29 de enero). Las hojas del orden 20, se cortó en la fase de grano lechoso a los 108 días después de la siembra (8 de febrero), debido a que éstas aún no habían alcanzado su pleno desarrollo en la anterior fecha.

<sup>8</sup> El Sigma Scan Pro 5, es un software a través del cual se puede calcular el área de un objeto (hoja), en unidad de píxeles, mediante la toma de imágenes digitales del objeto, junto a un calibre de unidad de superficie (área) ya conocido (Rodríguez *et al.*, 2006).

#### d) Área foliar específica (AFE)

Palomo *et al.*, (2003), menciona que el AFE mide el grosor de la hoja y representa la superficie foliar por gramo de hoja. Para el cálculo de esta variable se determinó el peso seco de las hojas utilizadas para el cálculo del área foliar (rangos 12, 16 y 20), para lo cual se utilizó una balanza de precisión (0.0001g). Se determinó mediante la ecuación citada por Rodríguez (1997):

$$\text{AFE} = \frac{\text{Área foliar total}}{\text{Peso seco del área foliar total}} \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

#### e) Área foliar de la planta (cm<sup>2</sup>)

El área foliar de la planta se obtuvo a partir del peso seco de hojas del tallo principal y ramificaciones de 5 plantas (evaludas a los 60,90 y 120 días después de la siembra), el peso seco y área de la hoja de rangos 12.16 y 20. A través de los valores conocidos, se procedió a realizar el cálculo mediante la siguiente regla de tres:

$$\text{AFP} = \frac{\text{PS (HTP + HRAM)}}{\text{PSH}} \times \text{AFH} \quad (\text{cm}^2)$$

**Donde:**

**PS (HTP+HRAM)**= Peso seco de hojas del tallo principal y de ramificaciones (g)

**AFH** = Área foliar de la hoja (cm<sup>2</sup>)

**PSH** = Peso seco de la hoja (g)

#### f) Relación de Área Foliar (RAF)

Según Palomo *et al.*, (2003), el RAF estima la magnitud del aparato fotosintético de la planta. Y se determinó mediante la relación entre el área foliar y el peso seco total de la planta:

$$\text{RAF} = \text{AF/PS} \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

**Donde:**

**AF** = Área foliar de la planta  
**PS** = Peso seco total de la planta

### **g) Índice de Área Foliar (IAF)**

Rodríguez *et al.*, (2006), señalan que el IAF indica la ocupación de las partes fotosintéticas, hojas, y a veces tallos verdes de una comunidad vegetal, por unidad de área del suelo ocupado. Y el cálculo del índice de área foliar se realizó mediante la fórmula citada por Rodríguez (1997):

$$\text{IAF} = \frac{\text{AF}}{\text{AS}} \quad \text{cm}^2 / \text{cm}^2$$

**Donde:**

**AF**= Área foliar de la planta  
**AS**= Área del suelo ocupado por la planta

## **5.2.4.6 Variables de rendimiento**

### **a) Biomasa seca aérea por unidad de área**

Para determinar la biomasa seca aérea, se realizó muestreos de la parte aérea de la planta a los 60, 90 y 120 días después de la siembra (DDS), procediéndose de la siguiente forma:

#### **1° Determinación del peso fresco de plantas por unidad de área**

En cada unidad experimental se seleccionó un surco dividido en tres segmentos de un metro lineal cada uno, dejando 0.5 m de bordura. Posteriormente, se realizó el corte y conteo de las plantas por metro lineal y luego se obtuvo el peso fresco de las plantas de cada metro lineal, mediante una balanza analítica (300x0.01g), a los 60, 90 y 120 DDS. Dichos valores obtenidos fueron convertidos a unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ), obteniéndose así la Biomasa fresca aérea por unidad de área, en tres periodos diferentes.

## 2° Cálculo del coeficiente de materia seca de los destinitos órganos de 5 plantas.

Con la selección de 5 plantas representativas de cada unidad experimental, se obtuvo el peso fresco de los distintos órganos aéreos presentes en cada planta (hojas, panojas y tallos), los cuales fueron colocados en sobres manila, y depositados en una mufla, a 65 °C, durante 48 horas, donde se determinó el peso seco de los órganos aéreos de la planta mediante una balanza analítica (300x0.01g), a los 60, 90 y 120 DDS.. Con el peso seco y fresco de los distintos órganos de las 5 plantas, se obtuvo un coeficiente de materia seca.

## 3° Determinación de la biomasa seca aérea

Para el cálculo de la biomasa seca por unidad de aérea se multiplicó el coeficiente de materia seca de 5 plantas, obtenidas a los 60, 90 y 120 DD, con el peso fresco de plantas por unidad de superficie, obtenidas a los 60, 90 y 120 DDS.

### b) Porcentaje de materia seca (%MS)

Se determinó a partir de 5 plantas representativas por U.E, de las cuales se separó los distintos órganos aéreos (según el estado de desarrollo de las plantas), luego se determinó el peso fresco en campo y el peso seco en laboratorio (en una mufla a 65 °C por 48 horas). Esta evaluación se realizó en tres periodos de tiempo a 60, 90 y 120 DDS, y se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MS} = \frac{\text{PS (g)}}{\text{PF (g)}}$$

**Donde:**

**PF (g)** = peso fresco en gramos (medidas directamente en el campo)

**PS (g)** = peso seco en gramos (secado en mufla por 48 días a 65 °C)

#### **5.2.4.7 Rendimiento en grano (kg/ha)**

El rendimiento promedio de grano por planta se obtuvo mediante tres formas: a) rendimiento de granos de plantas cosechadas en tres metros lineales por unidad experimental; b) rendimiento de granos de 10 plantas con raleo y con protección, 10 plantas sin raleo y con protección, y 10 plantas sin raleo y sin protección; y c) rendimiento de granos por unidad experimental.

#### **5.2.4.8 Índice de cosecha (IC)**

El índice de cosecha es definida como la relación entre el peso de los granos libres de impurezas y el peso total del vástago de la planta (tallo + hoja + granos). Según Robles (1991), entre mayor sea el valor del índice de cosecha mejor será la productividad de la variedad. Para su determinación se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{IC} = \frac{\text{Peso de grano limpio}}{\text{Peso total planta (grano + vegetativo aéreo)}}$$

#### **5.2.4.9 Componentes de rendimiento**

##### **a) Peso de 1000 semillas (g)**

Para determinar esta variable se separó 1000 granos, de la semilla utilizada en la siembra, con 5 repeticiones para cada variedad, los mismos fueron pesados en una balanza analítica de 0.001 g de precisión, cuyo peso fue registrado en gramos.

##### **b) Longitud y diámetro de panoja (cm)**

Estas variables fueron evaluadas tres semanas antes de la cosecha (155 a 177 DDS). La medición de longitud y diámetro de panoja se inició con las variedades del Altiplano Sur, pues éstas se adelantaron en la maduración, posteriormente se continuó con las demás variedades. Se realizó las mediciones en 30 plantas por unidad experimental: 10 plantas, cuyas panojas tenían protectores de tul y éstas plantas a la vez contaban con raleo, 10 plantas, cuyas panojas también tenían protectores pero en estos surcos no se realizó el raleo de plantas, y por último 10 plantas sin protección y sin raleo.

La medición de longitud de panoja se realizó desde la intersección con el tallo (mayor agrupación de glomérulos) hasta el ápice de la panoja. Y la medición de diámetro, se realizó en el tercio medio inferior (sección más representativa) de la panoja, con la ayuda de un vernier, en unidad de milímetros.

Una semana antes del inicio de la fase de grano lechoso (102 DDS), se procedió al colocado de las bolsitas de gasa (tul) a panojas del tallo principal, 20 plantas por cada unidad experimental (10 plantas en un surco con raleo y 10 plantas en otro surco sin raleo), tomando en cuenta la homogeneidad de las plantas (altura) y de las panojas (longitud y diámetro).

### c) **Volumen de panoja**

El volumen de panoja se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen (cm}^3\text{)} = [(\pi/3) * (D/2)^2 * (H/2)] / 2$$

**Donde:**

**V** = Volumen de la panoja (cm<sup>3</sup>)  
**D** = Diámetro de la panoja (cm)  
**H** = Longitud de la panoja (cm)

### d) **Clasificación de granos y determinación del peso por clase diametral**

Esta variable se evaluó con los granos cosechados de las 30 plantas (10 plantas con protección y con raleo, 10 con protección y sin raleo, 10 sin protección y sin raleo) por unidad experimental, la clasificación y medición de grano se obtuvo mediante una tamizadora automática, de tamices con diámetros de 2.5, 2.0, 1.4 y 1.0 mm.

### e) **Número de granos por panoja**

El número de granos (NG) por panoja se determinó a partir de la relación del peso total de los granos por panoja y el peso de mil granos, empleando la regla de tres:

$$\text{NG por panoja} = \frac{\text{Peso total de granos por panoja (mg)} \times 1000 \text{ granos}}{\text{Peso de 1000 granos (mg)}}$$

**f) Efecto de la protección de las panojas sobre el peso de granos**

El porcentaje de pérdida de granos se determinó con la siguiente relación:

$$\% \text{ de pérdida de granos} = \frac{(\text{PGCP} - \text{PGSP})}{\text{PGCP}} \times 100$$

**Donde:**

**PGCP** = peso de granos con protección de panojas  
**PGSP** = peso de granos sin protección de panojas

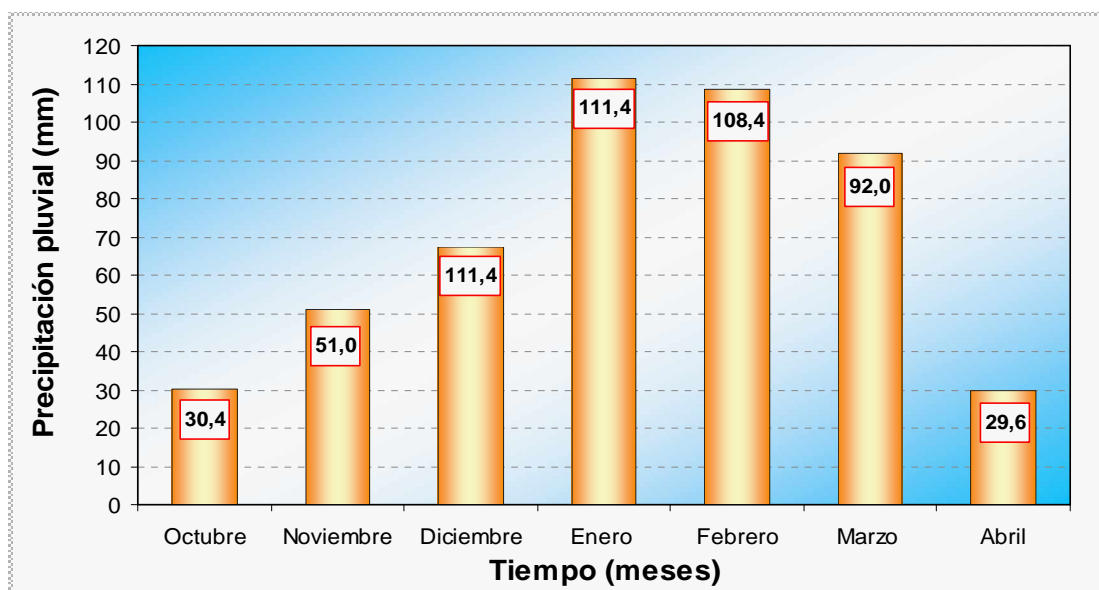
## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1 Aspectos climáticos**

#### **6.1.1 Precipitación pluvial**

##### **6.1.1.1 Precipitación pluvial acumulada**

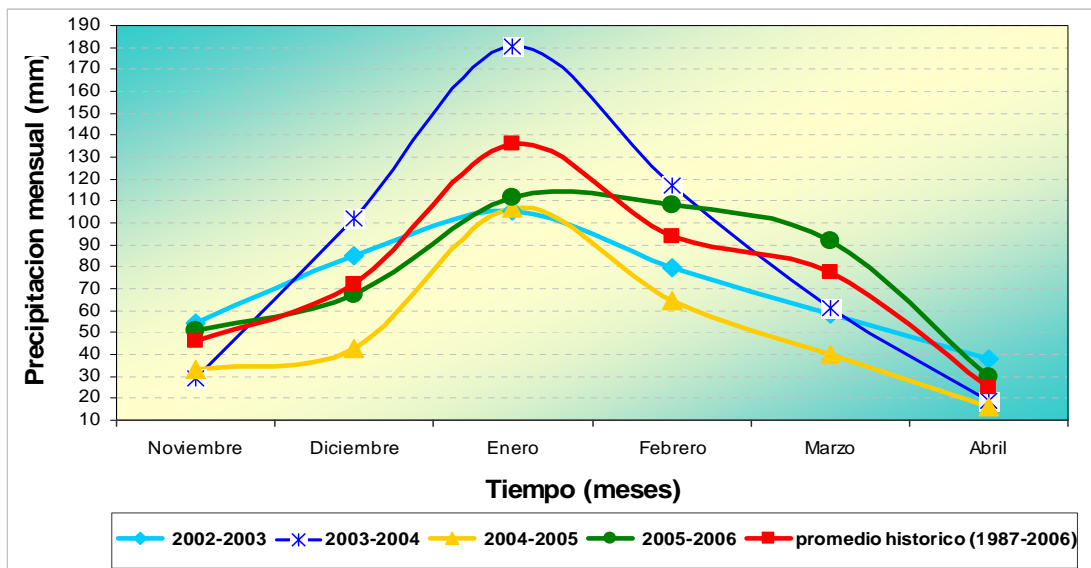
La precipitación acumulada total registrada durante la gestión agrícola, comprendida entre los meses de octubre de 2005 a abril de 2006, fue de 461 mm, donde las mayores precipitaciones se registraron en los meses de enero y febrero, con 111.4 y 108.4 mm respectivamente (Figura 4).



**Figura 4. Precipitación pluvial registrada durante la campaña agrícola 2005 - 2006 en la E.E. Choquenaira.**

La precipitación pluvial acumulada total (461 mm), registrada durante la campaña agrícola 2005 - 2006, se encuentra dentro los rangos óptimos, en el cual el cultivo de quinua prospera bien, que según Mujica *et al.*, (2001), oscila entre 250 a 500 mm anual promedio. Y según Tapia (2000), el requerimiento de precipitación pluvial del cultivo de quinua para el grupo agroecológico del Altiplano es de 400 a 800 mm.

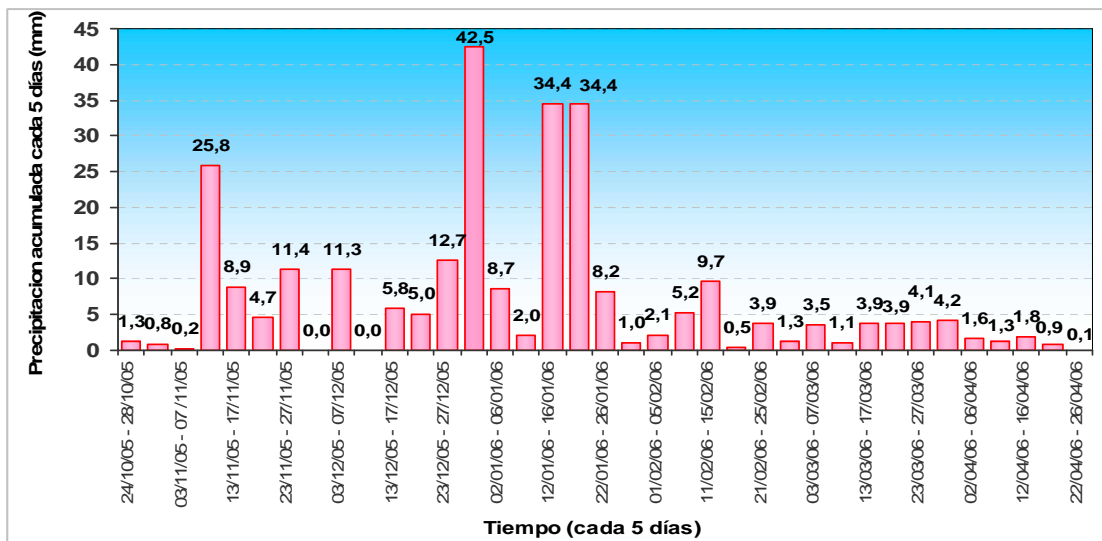
En la Figura 5, se presenta la comparación de las precipitaciones pluviales mensuales del presente ensayo respecto a tres gestiones agrícolas anteriores, en la Estación Experimental de Choquenaira, y el promedio histórico de 19 años (1987-2006) del Municipio de Viacha, donde se distingue claramente el máximo pico de precipitaciones en el mes de enero, para las diferentes gestiones agrícolas, siendo el periodo 2003 a 2004, con mayor acumulación de precipitaciones pluviales con 108.6 mm, seguida del promedio histórico con 136.1 mm, y el registro del presente ensayo que acumuló una precipitación de 111.4 mm, para el mes de enero. A partir de este periodo, las precipitaciones presentaron un descenso paulatino hasta el mes de abril.



**Figura 5. Precipitaciones pluviales mensuales, comparativo con gestiones agrícolas anteriores en la estación experimental de Choquenaria y el promedio histórico de 19 años del Municipio de Viacha (1987- 2006).**

#### 6.1.1.2. Precipitación pluvial cada cinco días

En razón de la importancia de las lluvias para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas, Ledesma (2000), sugirió una clasificación en períodos de cinco días de los datos diarios de precipitación pluvial, con la finalidad de tener una idea más clara sobre el déficit o exceso de lluvia para el cultivo. En tal sentido, a través de la Figura 6, se observa que las mayores precipitaciones pluviales se registraron entre el 28 de diciembre de 2005 a 01 de enero de 2006, con un promedio de 8.5 mm/día (inicio de floración), y entre el 12 al 21 de enero con 4.5 mm/día (fase de floración).

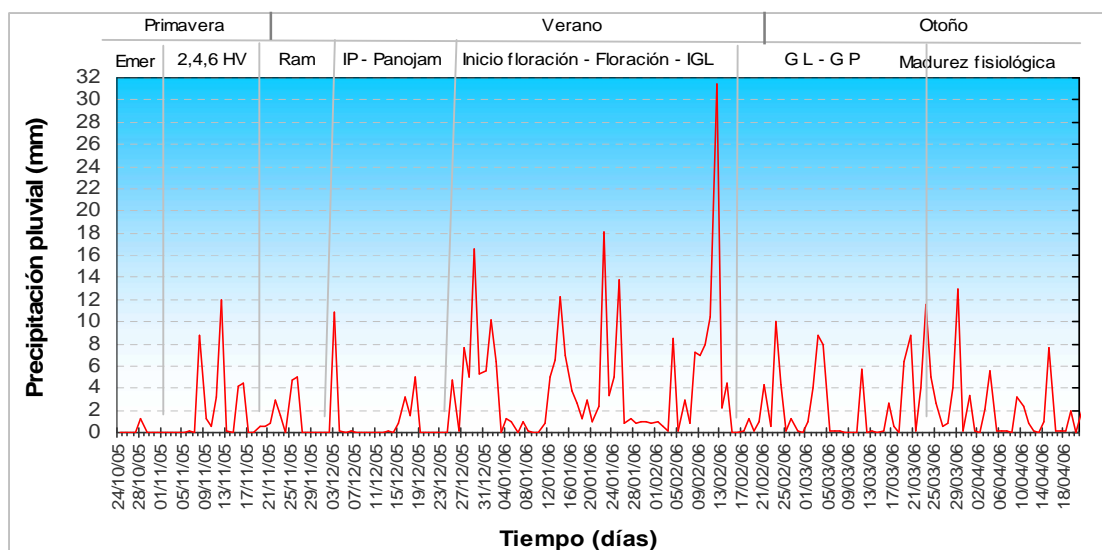


**Figura 6. Registro de precipitación pluvial acumulada, en periodos de cinco días, del 24 de octubre de 2005 al 22 de abril de 2006 en la E.E. de Choquenaria.**

Sobre el parámetro, Choquecallata *et al.*, (1991), señala que la necesidad de agua para el cultivo de quinua varía de acuerdo al desarrollo fenológico, siendo altos los requerimientos en las fases de floración e inicio de grano lechoso.

### 6.1.1.3. Precipitación diaria

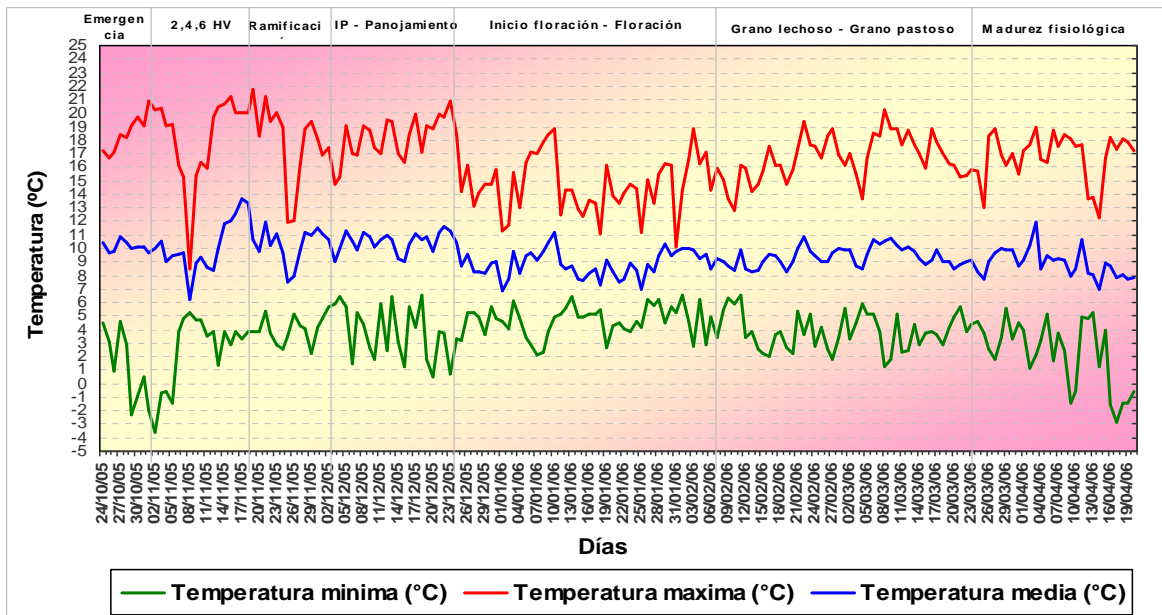
La Figura 7, muestra el comportamiento de las precipitaciones pluviales diarias durante el ciclo del cultivo, que en promedio alcanzó 2.4 mm/día, con un máximo de 31.5 mm/día a 112 DDS (12 de febrero de 2006), en fase de formación de grano.



**Figura 7. Registro pluviométrico diario a nivel de cultivo.**

## 6.1.2 Temperatura

A través de la Figura 8, se observa que la temperatura media diaria registrada durante el ciclo del cultivo llegó a 11.2°C, con una máxima de 21.8 °C (mes de noviembre) y una mínima de -3.6 °C, registrada el 2 de noviembre de 2005 en fase de emergencia.



**Figura 8. Temperatura diaria (máxima, media y mínima) registrada a nivel de cultivo, desde la siembra (24 de octubre de 2005) hasta la cosecha (19 de abril de 2006).**

Según Fontúrbel (2005), cada fase fenológica requiere una temperatura diferente, así por ejemplo la fase de germinación requiere de 1 °C a 3 °C, primeras hojas verdaderas de 5 °C a 8 °C, ramificación de 8 °C a 16 °C, floración y maduración de 16 °C a 22 °C. Asimismo, Mújica *et al.*, (2001), señala que la fase de ramificación tolera hasta -8°C, mientras las fases de floración y llenado de grano son las más susceptibles a la helada.

## 6.1.3 Suelo del sitio experimental

De acuerdo al análisis del suelo del sitio experimental (Anexo 1), efectuado en el laboratorio del IBTEN (Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear), se presenta las propiedades físicas y químicas del suelo.

### 6.1.3.1 Propiedades físicas

En el Cuadro 2, se presenta la composición porcentual de las partículas primarias del área experimental por horizonte, donde se observa una textura con mayor proporción de arena, seguido de arcilla y limo, por lo cual el suelo se clasifica como franco arcillo arenoso de textura moderadamente fina.

**Cuadro 2. Composición porcentual de la textura del suelo del sitio experimental.**

TEXTURA	Profundidad (cm)		
	0- 20	20- 40	40 - 60
Arena	61%	62%	62%
Limo	18%	17%	16%
Arcilla	21%	22%	22%

### 6.1.3.2 Propiedades químicas

El suelo del área experimental presentó un pH de 6.9 (neutro) a 7.5 (ligeramente alcalino), presentando una variación de acuerdo a la profundidad del suelo (ver Anexo 1), con una conductividad eléctrica baja de 0.125 a 0.098 mmhos/cm, valores que se enmarcan dentro suelos sin problema de sales, según Chilon (1996). A su vez, la capacidad de intercambio catiónico fue de 7.9 meq/100 g a 9.4 meq/100 g, cuyos resultados se encuentran entre el rango de 6 – 12 meq/100g, calificado como bajo (Chilon, 1997).

### 6.1.3.3 Materia orgánica del suelo

El contenido de materia orgánica en el suelo fue de 15.40 g/kg, con un porcentaje de 1.54 %, en la capa superior del suelo (0-20 cm), disminuyendo a 4.60 g/kg (0.46 %) a una profundidad de 20 a 40 cm. Al respecto, Chilon (1997), menciona que suelos con un porcentaje menor a 2% son considerados suelos con baja materia orgánica. Por tanto, el resultado obtenido de materia orgánica para el suelo experimental del presente ensayo, indica un suelo pobre en contenido orgánico.

## 6.2 Variables Agronómicas

### 6.2.1 Porcentaje de germinación en laboratorio

El porcentaje de germinación (Figura 9), se incrementó de forma acelerada desde las 12 hasta 24 horas después de la siembra, a partir del cual, la germinación fue poco significativa hasta las 120 horas. Asimismo, la variedad Surumi fue la primera en completar el proceso germinativo a 36 horas después de la siembra. En tanto, el mayor porcentaje de germinación lo obtuvo la variedad Chucapaca con el 100% a 72 horas después de la siembra, y la variedad K'ellu el menor porcentaje con 95.4% a 120 horas después de la siembra. Los resultados totales del porcentaje de germinación se detallan en el Anexo 4.

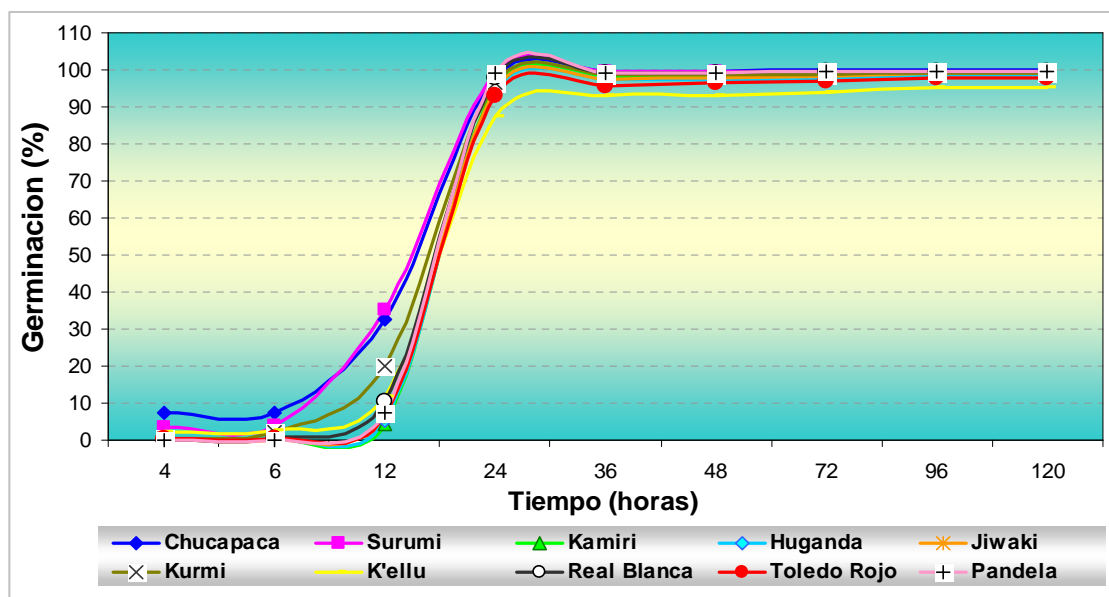


Figura 9. Evolución del porcentaje de germinación, en laboratorio, de 10 variedades de quinua.

La superioridad de la variedad Surumi en adelantar y completar el proceso de germinación, puede atribuirse a las características agronómicas de rápida germinación que tiene la variedad, según menciona PROINPA (2002). En tanto, el mayor porcentaje de germinación obtenido por la variedad Chucapaca, puede llegar a explicarse a la presencia del mayor número de semillas viables, sanas, y el tamaño de los granos (pequeño a mediano), obtenidos por la variedad.

Al respecto, Reigosa *et al.*, (2004) indican que semillas de tamaño pequeño poseen una mayor relación superficie/volumen que las semillas de mayor tamaño, por tanto tienen mayor acceso al agua y consecuentemente porcentaje de germinación más alto.

A su vez, el menor porcentaje de germinación puede atribuirse a la presencia de semillas partidas, podridas, o en letargo, que según Romero (1990), son semillas que muestran un brotamiento irregular o nulo, características presentes en algunas semillas de la variedad K'ellu. Asimismo, Mujica *et al.*, (2004), señalan que la fase de germinación es más sensible a la humedad, si es baja, no germina, si excede, se asfixia y muere.

Según Fernández (2004), cualquier daño a la estructura física de los frutos, ocasionado por vertebrados e insectos y acción de hongos y bacterias, son causantes de la mayoría de pudriciones y pérdida de vigor y germinación de semillas.

#### 6.2.1.1 Comparación de promedios

El análisis de varianza para porcentaje de germinación a 12 horas (Anexo 5), expresó diferencias altamente significativas (\*\*) entre variedades, lo cual indica que las variedades tuvieron un comportamiento diferente respecto a la germinación de semillas de quinoa. A su vez, la prueba de Duncan al 5% de significancia (Cuadro 3), destacó a la variedad Surumi con el mayor porcentaje de germinación igual a 35.4%. En tanto la variedad Kamiri, logró el menor valor con 4.2%. Las variedades restantes presentaron porcentajes que fluctuaron entre 5.4% a 19.8%.

**Cuadro 3. Prueba de Duncan al 5%, para porcentaje de germinación a 12 horas después de la siembra.**

Variedades	Media	Significancia				
Surumi	35.4	a				
Chucapaca	32.6	a				
Kurmi	19.8		b			
K'ellu	11.6			c		
Real blanca	10.4			c	d	
Pandela	7.2				d	e
Jiwaki	6.6				d	e
Toledo rojo	6.6				d	e
Huganda	5.4					e
Kamiri	4.2					e

### 6.2.2 Estimación del número de granos por metro lineal

Mediante el Cuadro 4, se observa que la variedad Chucapaca alcanzó el mayor número de granos por metro lineal con 137 granos, en cambio la variedad Real blanca obtuvo un menor número con 100 granos por metro lineal, las demás variedades presentaron una variación de 103 a 133 granos por metro lineal.

**Cuadro 4. Número teórico de granos sembrados por metro lineal, en diez variedades de quinua.**

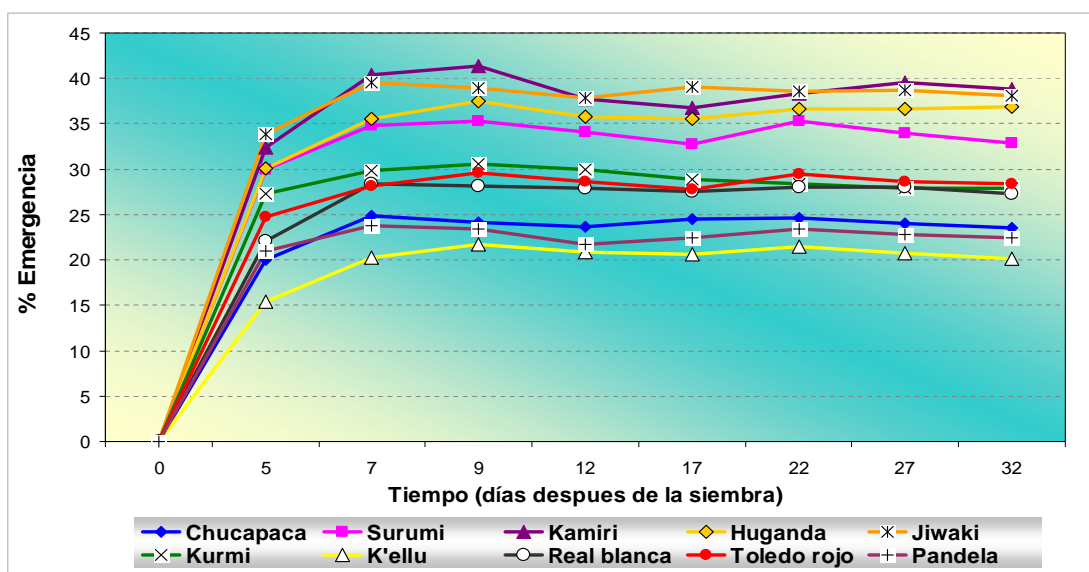
Variedades	Germinación (%)	Peso de 1000 granos (g)	Número teórico de granos sembrados/ML
Chucapaca	100	3,3	137
Surumi	99,4	4,3	103
Kamiri	99,2	4,1	110
Huganda	98,8	3,7	120
Jiwaki	99,2	3,6	125
Kurmi	99,2	4,1	109
K'ellu	95,4	3,4	127
Real Blanca	99,4	4,5	100
Toledo Rojo	97,8	3,3	133
Pandela	99,4	3,5	128
<b>Promedio</b>	<b>98,9</b>	<b>3,8</b>	<b>119</b>

ML = metro lineal

Las variaciones respecto al número de granos por metro lineal podrían atribuirse al tamaño de los granos, así por ejemplo la variedad Chucapaca, de menor diámetro de grano (1.4 mm a 2 mm), obtuvo mayor número de granos, mientras la variedad Real blanca, de mayor diámetro (2.0 a 2.5 mm), obtuvo el menor número de granos por metro lineal. Al respecto, Rodríguez (2005), determinó que semillas de menor diámetro (1.0 a 1.4 mm), presentaron mayor cantidad de granos y semillas de mayor tamaño (2.0 a 2.5 mm), menor cantidad de granos por metro lineal.

### 6.2.3 Porcentaje de emergencia en campo

El porcentaje de emergencia presentó una evolución ascendente entre los 7 a 9 días después de la siembra (DDS), posteriormente fue disminuyendo en algunas variedades y en otras se mantuvo constante hasta los 32 DDS, donde la variedad Kamiri alcanzó el máximo porcentaje de emergencia con 39%, a partir de 110 granos sembrados por metro lineal, y la variedad K'ellu un mínimo de 20%, a partir de 127 granos (Figura 10).



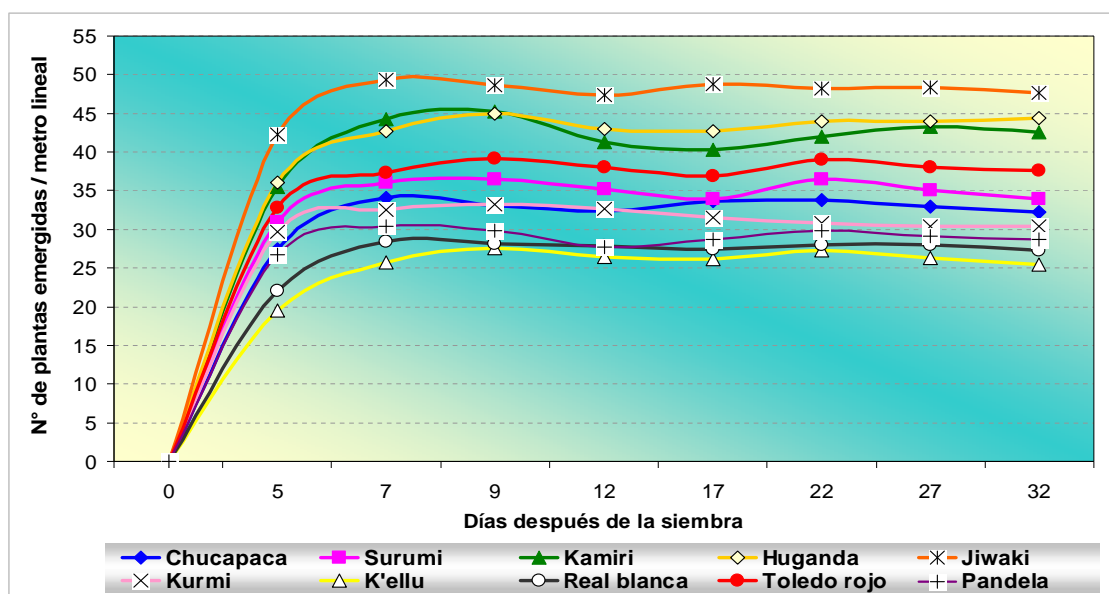
**Figura 10. Evolución del % de emergencia en campo, en 10 variedades de quinua.**

Los menores porcentajes de emergencia en campo podrían atribuirse a diversos factores tales como: a) precipitación pluvial escasa, con un valor promedio de 0.2 mm/día, registrada durante los primeros 11 días DS; b) temperaturas extremas de 20.9 °C como máximo a 9 DDS, mínima de -3.6 °C a 10 días DS, cuyos datos, registrados durante la fase de emergencia, no se encontraban dentro el rango óptimo para esta fase, por lo cual ocasionaron marchitez y pérdida de plántulas.

Respecto a los parámetros, Fontúrbel (2005), señala que la fase de emergencia requiere entre 1 °C a 3 °C de temperatura. Asimismo, GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001), indican que la precipitación pluvial óptima para la fase de emergencia en el cultivo de quinua es de 5 mm/día. Según Romero (1990), la velocidad de emergencia se reduce conforme la humedad del suelo se acerca al punto de marchitez.

### 6.2.3.1 Número de plantas por metro lineal

A través de la Figura 11, se observa un ascenso del número de plantas por metro lineal hasta los 9 días después de la siembra (DDS). Posterior a ello, el número de plántulas disminuyó hasta los 12 DDS, luego presentó un leve incremento a los 22 DDS. Finalmente permaneció constante hasta los 32 DDS, donde la variedad Jiwaki obtuvo la mayor densidad con 48 plantas por metro lineal, equivalente a 96 plantas/m<sup>2</sup>, y la variedad K'ellu alcanzó la menor densidad con 26 plantas por metro lineal, equivalente a 52 plantas/m<sup>2</sup>.

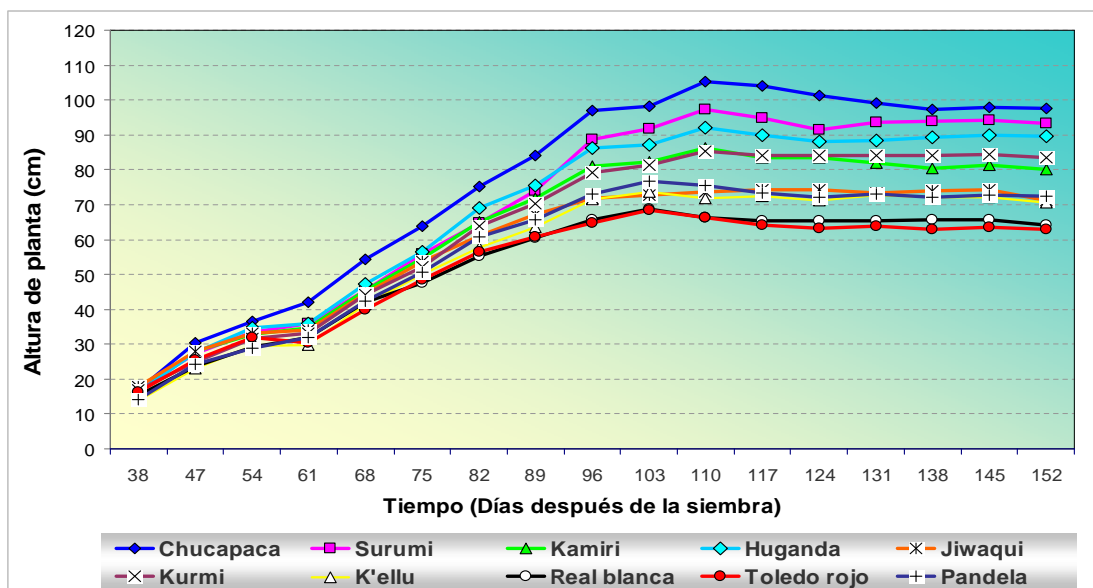


**Figura 11. Evolución del número de plantas por metro lineal, desde la siembra hasta los 32 días después de la siembra, en 10 variedades de quinua.**

Respecto a la densidad de plantas GTZ, IICA, INIAP, ERPES (2001), mencionan un rango óptimo de 20 a 30 plantas/m<sup>2</sup>, para cultivos no tecnificados. Sin embargo los resultados obtenidos están por encima del rango óptimo, dicho incremento del número de plantas por metro lineal pueden llegar a explicarse a la presencia de una segunda germinación, como efecto de persistentes precipitaciones pluviales en el mes de noviembre (del 8 al 22).

#### 6.2.4 Altura de planta

La diez variedades de quinua, alcanzaron una altura promedio de 62.1 cm durante el ciclo de cultivo, con valores que fluctuaron entre 76.5 cm (Chucapaca) a 52.3 cm (Toledo rojo). Asimismo, en la Figura 12, se observa un incremento de altura hasta los 103 a 117 días después de la siembra (DDS), fase de grano lechoso, donde se registraron los promedios más altos, sobresaliendo las variedades Chucapaca, Surumi y Huganda, con alturas máximas de 105.2 cm, 97.4 cm y 92.1 cm, respectivamente, obtenidos a los 110 DDS. A los 152 DDS (fase de madurez), la variedad Chucapaca mantuvo su posición llegando a una altura máxima promedio de 97.5 cm, y Toledo rojo una altura mínima de 62.3 cm.



**Figura 12. Curva de crecimiento de la planta (cm) en 10 variedades de quinua.**

Las máximas alturas registradas en fase de grano lechoso, en las diez variedades, coinciden con los obtenidos por Mamani (1997) y Gutiérrez (2003), quienes también determinaron mayores alturas en esta fase. La tendencia de disminución del crecimiento en altura puede explicarse a diferentes factores, tales como: fisiológicos, morfológicos (encorvado e inclinado de los tallos), climáticos, genéticos, entre otros.

Respecto a la altura de planta a la madurez fisiológica, PROINPA (2002), indica una altura promedio de 1.30 m, en las variedades Chucapaca y Surumi. Sin embargo, en el presente ensayo se obtuvo promedios de 97.50 cm en la variedad Chucapaca, y 93.33 cm en la variedad Surumi. Al respecto, Gandarillas (2001), indica que los genes dominantes presentes en variedades tardías y semiprecoces estimulan un mayor crecimiento en altura, lo cual se evidenció en el presente ensayo, pues las variedades Surumi y Chucapaca, que adquirieron un comportamiento tardío y semitardío, registraron mayores alturas. Asimismo, Bonifacio (1999), menciona que las diferencias de altura son de carácter genético.

Las menores alturas de planta, en las variedades de Altiplano Sur, podrían explicarse a la influencia de factores bióticos y abióticos. Al respecto Fernández (2004), señala que es importante considerar el efecto sobre el meristemo apical que ocasionan los insectos, vertebrados, hongos y bacterias que atacan plántulas, pues ocasionan daños irreversibles y en otros casos la planta presenta deformaciones.

#### 6.2.4.1 Comparación de promedios

El análisis de varianza (Anexo 6), para altura de planta a 152 días después de la siembra, con un coeficiente de variación igual a 13.1%, estableció diferencias altamente significativas entre variedades y no significativas entre bloques, lo cual significa que las variedades tuvieron un comportamiento diferente respecto a la variable y la disposición de los bloques no tuvo efecto en la variabilidad.

Asimismo, la prueba de Duncan al 5% de significancia (Cuadro 5), destaca a la variedad Chucapaca con 97.45 cm, mientras que la menor altura correspondió a la variedad Toledo Rojo con 62.83 cm promedio, el resto de las variedades presentaron alturas entre 70.58 a 93.33 cm.

**Cuadro 5. Prueba de Duncan al 5% para altura de la planta (cm) a 152 días después de la siembra en 10 variedades de quinua.**

Variedades	Medias	Significancia				
Chucapaca	97.45	a				
Surumi	93.33	a	b			
Huganda	89.74	a	b			
Kurmi	83.62	a	b	c		
Kamiri	80.07		b	c	d	
Pandela	72.86			c	d	e
Jiwaqui	71.31			c	d	e
K'ellu	70.58			c	d	e
Real blanca	63.99				d	e
Toledo rojo	62.83					e

#### 6.2.4.2 Velocidad de crecimiento

En la Figura 13, se observa que los máximos incrementos de la velocidad de crecimiento, en las diez variedades, se registraron entre los 89 y 96 DDS (fase de floración), donde la variedad Chucapaca sobresalió con un crecimiento máximo de 10.09 mm/día a 96 DDS. A partir de esta etapa, el crecimiento decreció gradualmente, motivada por la madurez fisiológica de las plantas, llegando a los 152 DDS, donde la variedad Chucapaca mantuvo su posición alcanzando una velocidad de crecimiento de 6.41 mm/día, en tanto la variedad Toledo rojo logró el menor incremento con 4.13 cm.

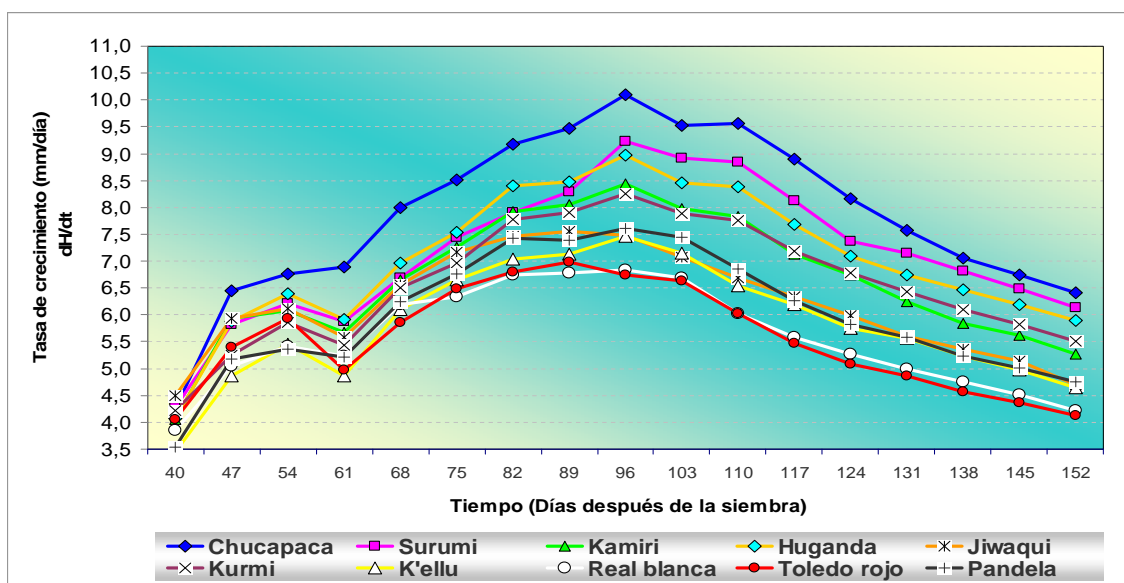


Figura 13. Curva de velocidad de crecimiento (mm/día) en 10 variedades de quinua.

### 6.2.5 Diámetro del tallo principal

Según Meneses *et al.*, (2000), la evaluación del diámetro de tallo es importante por la relación en la producción de grano, indican que cuanto mayor sea el diámetro, más favorable es que la planta no se acame, por tanto la posibilidad de tener mayor producción de grano aumenta.

Según la Figura 14, los máximos diámetros de tallo se registraron entre los 96 y 117 DDS (fase de floración y grano lechoso), para las diez variedades, con un promedio de 11.14 mm, para las diez variedades, con un máximo de 12.64 mm obtenido por la variedad Chucapaca a 117 DDS, y un mínimo de 9.67 mm alcanzado por la variedad Toledo rojo a los 96 DDS. Posteriormente, se inicia un descenso paulatino en la curva de crecimiento a medida que las plantas alcanzan su madurez, llegando a los 152 DDS con un promedio de 10.16 mm, para las diez variedades, con un máximo de 11.59 mm en la variedad Chucapaca y un mínimo de 8.61 mm en la variedad Toledo rojo.

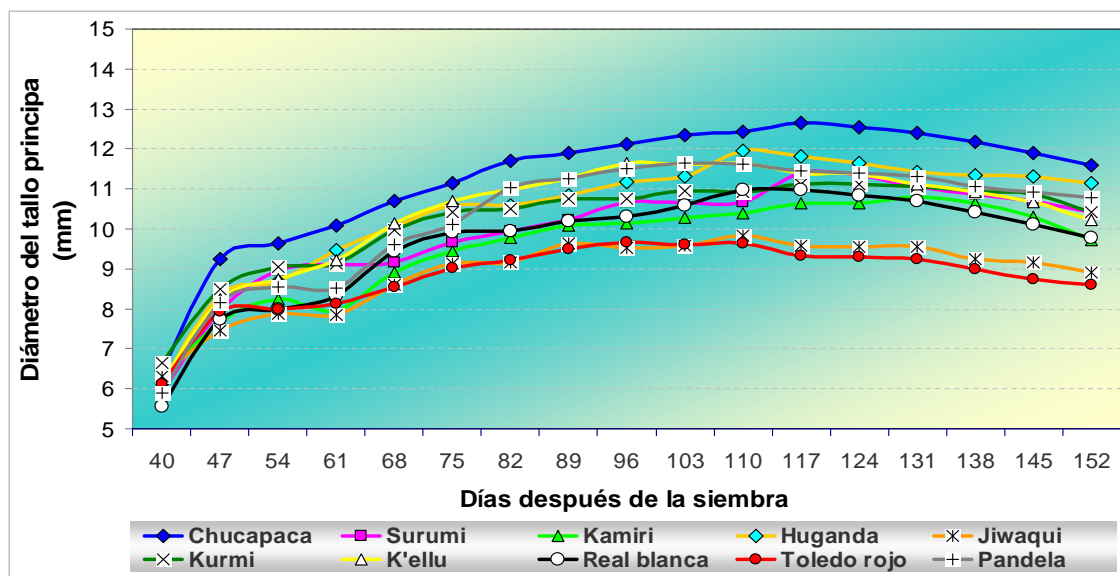


Figura 14. Evolución del diámetro de tallo (mm) en 10 variedades de quinua.

Los mayores diámetros de tallo se expresaron en las variedades de mayor altura de planta, como Chucapaca, Huganda y Surumi. Al respecto, Quisbert (2006), determinó una correlación positiva entre diámetro de tallo y altura de planta en las mismas variedades, encontrando un porcentaje de 63 a 97 % de variación sobre el diámetro de tallo. A su vez, la disminución del diámetro del tallo podría atribuirse a la pérdida de humedad del tallo, criterio sustentado por lo manifestado por Mujica *et al.*, (2001), quienes indican que a medida que el tallo principal madura la médula se torna seca (con textura esponjosa), lo cual se refleja en el menor diámetro de tallo.

#### 6.2.5.1 Comparación de promedios

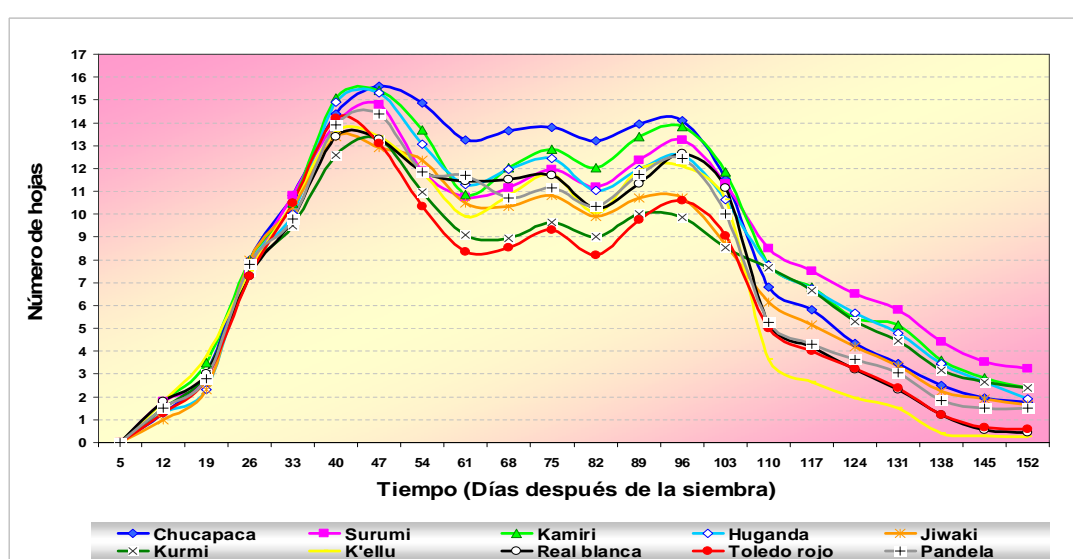
El ANVA, para diámetro de tallo a 152 DDS (Anexo 7), con un coeficiente de variación igual a 15.87 %, expresa que no existen diferencias significativas entre variedades ni entre bloques. Asimismo, la prueba de Duncan al 5% de probabilidad (Cuadro 6), muestra que la variedad Chucapaca fue superior con 11.59 mm de diámetro de tallo, en cambio, la variedad Toledo rojo alcanzó el menor promedio de diámetro de tallo igual a 8.61 mm.

**Cuadro 6. Prueba de Duncan al 5% para diámetro del tallo principal (mm) a 152 días después de la siembra en 10 variedades de quinua.**

Variedades	Media	Significancia	
Chucapaca	11.59	a	
Huganda	11.15	a	b
Pandela	10.79	a	b
Surumi	10.48	a	b
Kurmi	10.41	a	b
K'ellu	10.22	a	b
Real blanca	9.79	a	b
Kamiri	9.71	a	b
Jiwaki	8.91		b
Toledo rojo	8.61		b

### 6.2.6 Número de hojas presentes en el tallo principal

Según la Figura 15, la evolución del número de hojas presentó tendencias similares, en las diez variedades, alcanzando los máximos promedios entre los 40 y 47 días después de la siembra (inicio panojamiento), destacándose la variedad Chucapaca con el máximo número de 16 hojas, le siguieron las variedades Surumi, Kamiri y Huganda, con 15 hojas. A partir de este periodo, el número de hojas disminuyó de forma gradual hasta los 96 DDS (fase de floración), posteriormente la disminución fue progresiva hasta la cosecha. Al final de la evaluación, la variedad Surumi quedó con un promedio mayor de 3 hojas, en cambio, Real blanca y K'ellu quedaron totalmente defoliadas, explicable al comportamiento precoz.



**Figura 15. Evolución del número de hojas del tallo principal, evaluada en 10 variedades de quinua a lo largo del ciclo vegetativo.**

La disminución del número de hojas, en una fase temprana (64 DDS), podría atribuirse a la presencia de enfermedades como el mildiu, ya que en esta etapa se presentó con alta incidencia, y pudo causar la defoliación. Al respecto, Danielsen y Ames (2000), señalan que uno de los efectos del mildiu es la defoliación de la planta. A su vez, el incremento en el número de hojas y la permanencia constante, entre los 61 a 96 DDS (Figura 15), puede ser atribuible al incremento de las plantas en altura, originando a la vez hojas nuevas en la planta. Posteriormente, la disminución acelerada, del número de hojas, a partir de los 103 DDS, podría atribuirse a la senescencia natural de las hojas, motivada por la madurez fisiológica, y daños climáticos (granizos).

### 6.2.6.1 Comparación de promedios

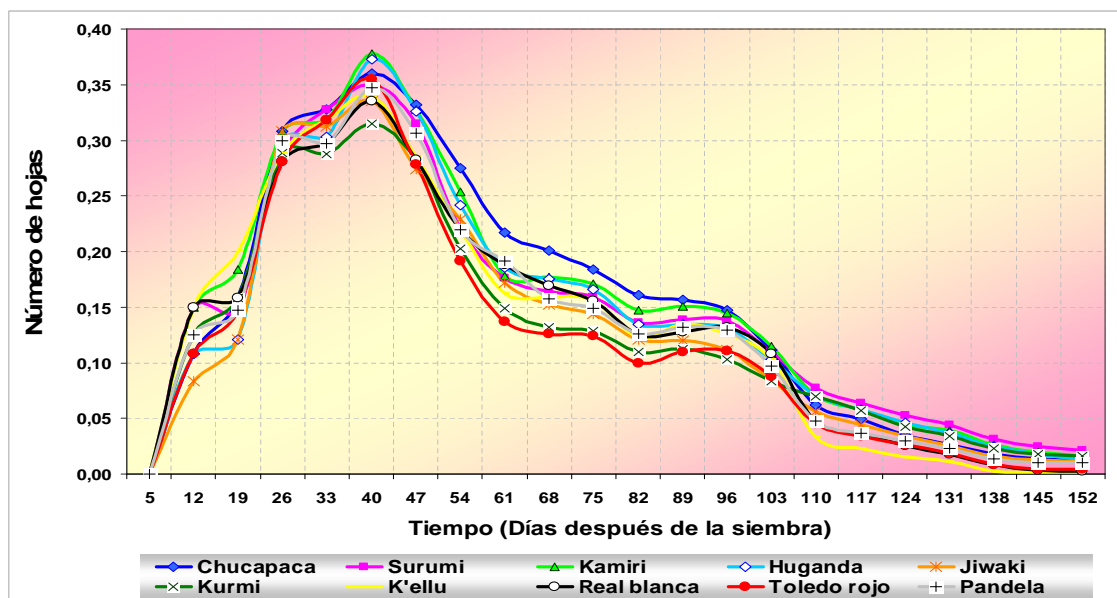
El ANVA, para el número de hojas del tallo principal a los 45 días después de la siembra (Anexo 8), con un coeficiente de variación igual a 6.7%, expresó diferencias estadísticas altamente significativas entre variedades y significativo entre bloques, lo que significa que el promedio de número de hojas tuvo un comportamiento diferente en cada variedad. De acuerdo a la prueba de Duncan al 5% de significancia (Cuadro 7), la variedad Chucapaca obtuvo el mayor promedio, con 16 hojas, y las variedades Jiwaki, Kurmi, K'ellu, Real blanca y Toledo rojo obtuvieron el menor promedio con 13 hojas. El resto de las variedades presentaron de 13 a 14 hojas por planta.

**Cuadro 7. Prueba de Duncan al 5% para número de hojas del tallo principal a 45 DDS, en 10 variedades de quinua.**

Variedades	Medias	Significancia		
Chucapaca	16	a		
Kamiri	15	a		
Huganda	15	a		
Surumi	15	a	b	
Pandela	14	a	b	c
K'ellu	13		b	c
Real blanca	13			c
Kurmi	13			c
Jiwaqui	13			c
Toledo rojo	13			c

### 6.2.7 Ritmo de emisión de hojas del tallo principal

La emisión de hojas presentó una tendencia similar en las diez variedades (Figura 16), ascendente hasta los 40 días después de la siembra (fase de ramificación e inicio de panojamiento), donde alcanzó su pico más alto, sobresaliendo la variedad Kamiri con el máximo valor de 0.378 hojas/día y la variedad Kurmi con el mínimo valor de 0.315 hojas/día, entre tanto las variedades restantes obtuvieron entre 0.335 a 0.373 hojas/día. A partir de los 40 DDS, se inició un descenso gradual hasta los 152 DDS, donde la variedad Kamiri mantuvo su posición con 0.016 hojas/día y la variedad K'ellu un mínimo de 0.002 hojas/día.

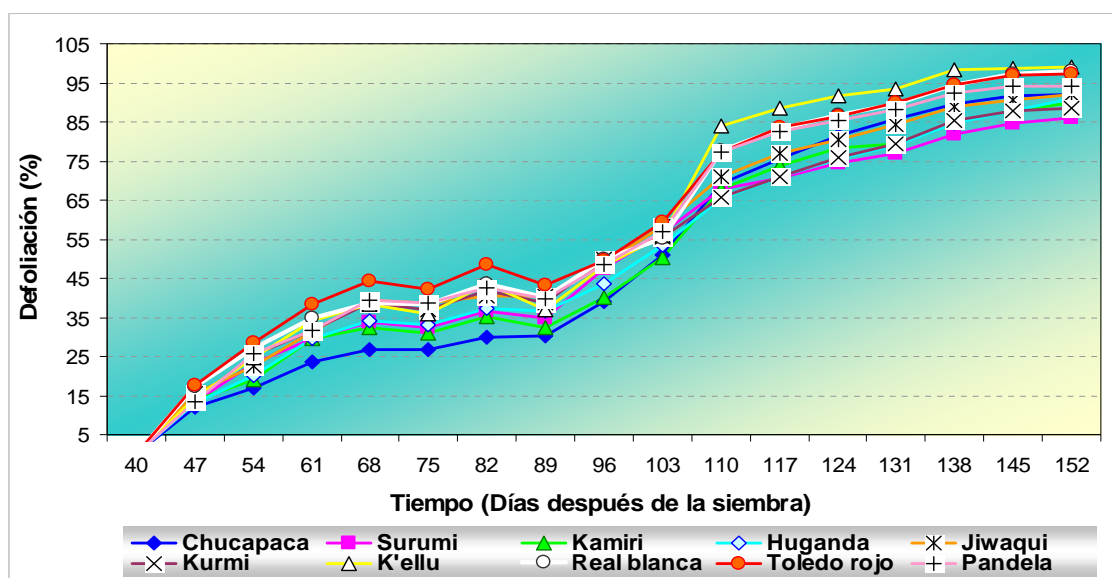


**Figura 16. Ritmo de emisión diaria de hojas, del tallo principal, en 10 variedades de quinua durante el ciclo del cultivo.**

Respecto al comportamiento de la emisión de hojas, el descenso podría explicarse a la transición interna del estado vegetativo al reproductivo, según Katolic *et al.*, (2004), la diferenciación de hojas prosigue en el ápice del tallo principal hasta que el meristema apical cambia al estado reproductivo. A su vez Slafer *et al* (2004), señalan que entre la floración y la madurez del cultivo, se acelera progresivamente la senescencia foliar.

## 6.2.8 Porcentaje de defoliación

Mediante la Figura 17, se observa las curvas de defoliación, dando su inicio a los 47 días después de la siembra (DDS), incrementándose paulatinamente hasta los 89 DDS (fase final de floración), a partir del cual la defoliación se incrementó de forma acelerada, a medida que las plantas alcanzaban su madurez, llegando a los 152 con un porcentaje de defoliación máxima igual a 98.9%, obtenido por la variedad K'ellu, y un valor mínimo de 85.9%, obtenido por la variedad Surumi.



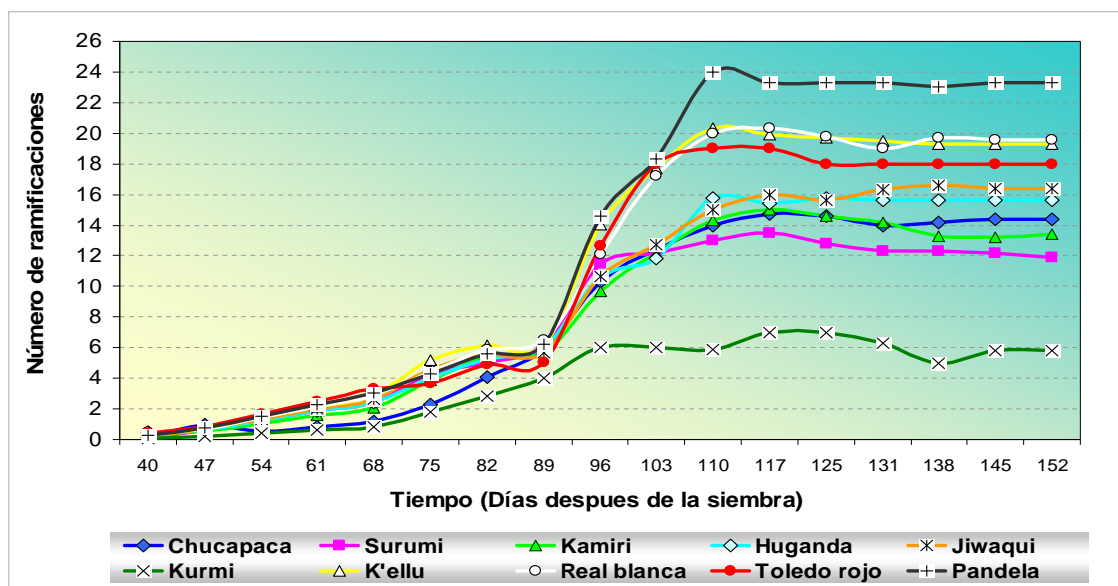
**Figura 17. Porcentaje de defoliación de hojas del tallo principal, en 10 variedades de quinua.**

El incremento del porcentaje de defoliación puede deberse a diferentes factores como agentes patógenos y caída natural de las hojas, motivada por la madurez de las plantas, entre otros. Respecto a los agentes patógenos, el mildiu (*Pernospora farinosa*) se manifestó con mayor significancia en el mes de febrero (etapa del incremento de la defoliación), motivada por altas y persistentes precipitaciones pluviales (5,0 mm/día entre los 108 a 125 días después de la siembra) que favoreció la proliferación de esta enfermedad, a su vez se registró una temperatura media máxima mensual de 15.7°C.

Según, Mújica *et al.*, (2001), temperaturas entre 13°C a 18°C y precipitaciones altas facilitan la expansión de enfermedades fungosas como el mildiu. Asimismo, Danielsen y Ames (2000), señalan que la germinación de los esporangios de la *Peronospora* dependen fundamentalmente de alta humedad relativa (>80%), tanto así que en años con poca precipitación, la enfermedad no se presenta o no causa mayor daño.

### 6.2.9 Número de ramificaciones

Según la Figura 18, el máximo desarrollo de ramificaciones se registró entre los 110 y 117 días después de la siembra (DDS), destacándose las variedades Pandela, Real blanca, K'ellu y Toledo rojo (variedades del Altiplano Sur) con 24, 20, 20 y 19 ramas/planta respectivamente. A partir del mismo, el número de ramificaciones fue constante llegando a los 152 DDS con un promedio de 16 ramificaciones/planta, con un máximo de 23 ramificaciones/planta (Pandela) y un mínimo de 6 ramas/planta (Kurmi).



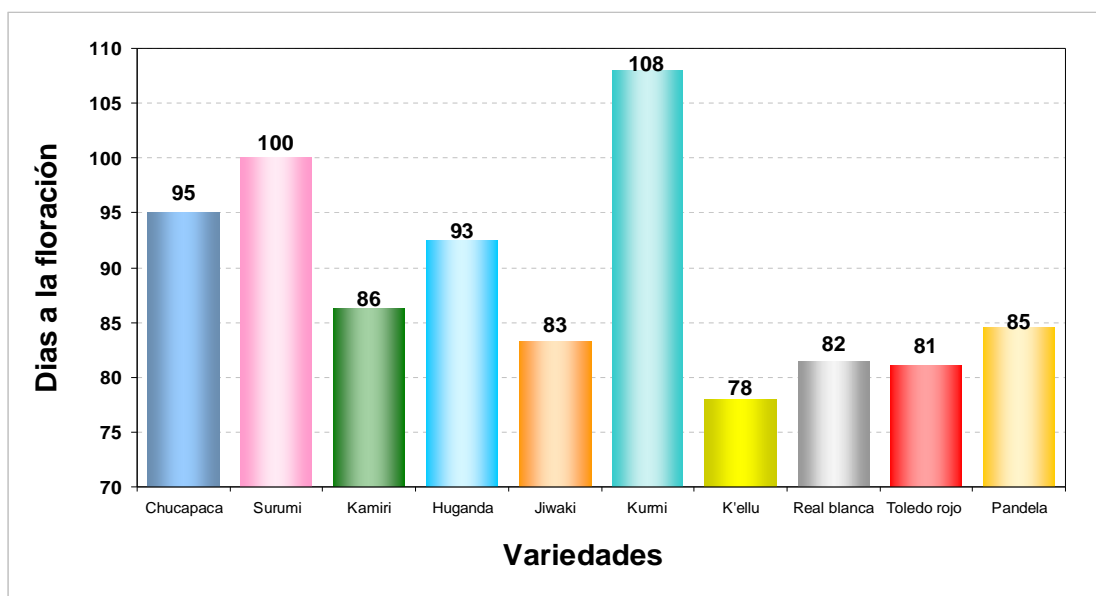
**Figura 18. Evolución del número de ramificaciones, en 10 variedades de quinua.**

El menor número de ramificaciones en la variedad Kurmi podría explicarse a su característica morfológica, de ausencia y/o poco desarrollo de ramificaciones, como lo mencionan Bonifacio y Vargas (2005), quienes indican que a bajas densidades de siembra la variedad Kurmi tiende a ramificarse.

## 6.3 Variables fenológicas

### 6.3.1 Días a la floración

En la Figura 19, se observa que la variedad K'ellu alcanzó el 50% de floración, en el tiempo más corto de 78 días después de la siembra (DDS), seguida de las variedades Toledo rojo, Real blanca y Jiwaqui que alcanzaron la floración a los 81, 82 y 83 DDS respectivamente. En cambio, la variedad Kurmi fue la última en alcanzar la fase de floración en un tiempo de 108 DDS.



**Figura 19. Días a la floración, en 10 variedades de quinua.**

Las diferencias expresadas entre variedades, respecto a los días a la floración, pueden ser atribuibles a factores genéticos, fisiológicos, medioambientales, entre otros. Sobre el tema, Gandarillas (2001), determinó que el tiempo de maduración de variedades cultivadas en el altiplano boliviano estaría influenciado por genes recesivos y dominantes, presentes en la planta. Así por ejemplo, determinó la presencia de 3 genes recesivos en variedades que florecieron a los 50 DDS, de 2 genes recesivos y 1 dominante en variedades que florecieron entre los 65 a 75 DDS, y de 2 genes dominantes y 1 recesivo en variedades que florecieron entre 75 a 85 DDS.

En tanto, Miralles *et al.*, (2004), indican que la duración de las etapas ontogénicas de un cereal son reguladas por la temperatura, fotoperiodo (duración del día) y la vernalización (requerimientos de horas frío). Así por ejemplo, temperaturas cálidas promueven una floración más temprana. A su vez, Choquecallata *et al.*, (1991), indican que el cultivo de quinua presenta altas demandas de agua en las fases de floración e inicio de grano con 4.54 y 4.71 mm/día respectivamente.

### 6.3.1.1 Comparación de promedios

El ANVA (Anexo 9), con 4.9% de coeficiente de variación, presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos y entre bloques, lo cual significa que los días a la floración tuvo un comportamiento diferente para cada variedad y diferente entre bloques. A su vez, la prueba de Duncan al 5% de significancia (Cuadro 8) destaca a las variedades Kurmi y Surumi con el mayor tiempo en la floración 108 y 110 DDS, mientras la variedad K'ellu fue la más precoz, obteniendo la floración a los 78 DDS. El resto de las variedades alcanzaron la floración entre los 81 a 95 DDS.

**Cuadro 8. Prueba de Duncan al 5% para días a la floración en 10 variedades de quinua.**

Variedades	Media	Significancia				
Kurmi	108	a				
Surumi	100	a				
Chucapaca	95		b			
Huganda	93		b	c		
Kamiri	86			c	d	
Pandela	85			c	d	
Jiwaki	83				d	
Real blanca	82				d	
Toledo rojo	81				d	
K'ellu	78					e

### 6.3.2 Días a la madurez fisiológica

Mediante la Figura 20, se observa que la variedad K'ellu fue la primera en alcanzar la madurez, a los 153 días después de la siembra (DDS), considerada como semiprecoz según la clasificación de IBTA/DNS (1996), le siguieron las variedades Real blanca con 156 días, Jiwaki con 157 días y Toledo rojo con 159 días, ubicándose como semiprecoces. Sin embargo, las variedades Kurmi y Surumi, fueron las más tardías con un tiempo de 179 y 176 días respectivamente, mientras las variedades restantes alcanzaron la madurez fisiológica entre los 161 a 165 días después de la siembra, considerándose como semitardías.

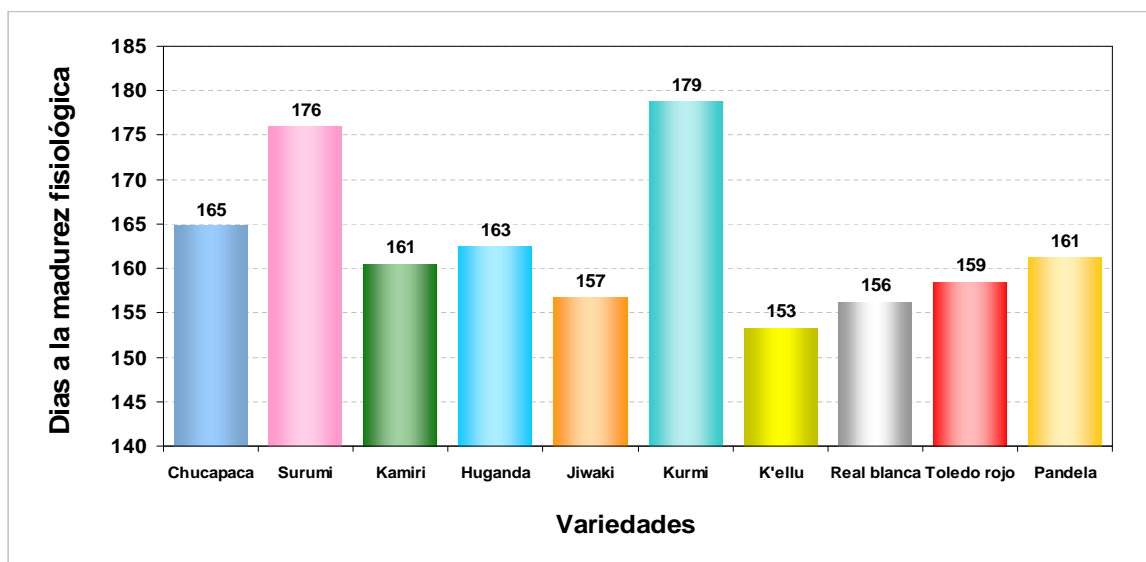


Figura 20. Días a la madurez fisiológica, en 10 variedades de quinua.

Sobre el parámetro evaluado, IBTA/DNS (1996), mencionan que las variedades precoces son aquellas que alcanzan la madurez fisiológica menor a 140 días, mientras las semiprecoz o semitardía entre los 140 a 170 días, y las tardías a más de 170 días. Asimismo, Mújica *et al.*, (2004), indican que la madurez fisiológica del cultivo de quinua ocurre entre los 160 a 180 DDS, donde el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16%, y se presenta un amarillamiento completo de la planta y una gran defoliación. Sin embargo, en el presente ensayo se evidenció que algunas variedades como K'ellu, Real blanca, Toledo rojo y Jiwaki, presentaron un amarillamiento completo de las plantas y una defoliación, casi total, mucho antes de lo señalado.

A su vez, Gandarillas (2001), menciona que las variedades cultivadas en el altiplano presentan una amplia gama de duración del periodo vegetativo, entre 130 y 180 días desde la siembra a la madurez. Esta aseveración se asemeja más a lo obtenido en el presente ensayo, ya que las diez variedades en estudio, alcanzaron la madurez entre 153 a 179 días después de la siembra.

### 6.3.2.1 Comparación de promedios

El ANVA, para días a la madurez fisiológica (Anexo 10), con un coeficiente de variación de 2.91 %, presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos y entre bloques, lo que significa que la variabilidad de días a la madurez fisiológica de las 10 variedades fue diferente y que la disposición de los bloques tuvo su efecto en los tratamientos. A su vez, la prueba de Duncan al 5% de significancia (Cuadro 9), muestra que la variedad Kurmi y Surumi alcanzaron una madurez tardía, con un promedio de 179 y 176 DDS respectivamente, en cambio la variedad que alcanzó una madurez temprana fue K'ellu con un promedio de 153 días.

**Cuadro 9. Prueba de Duncan al 5% para días a la Madurez fisiológica, en 10 variedades de quinua.**

Variedades	Media	Significancia				
Kurmi	179	a				
Surumi	176	a	b			
Chucapaca	165	a	b	c		
Huganda	163	a	b	c	d	
Pandela	161		b	c	d	
Kamiri	161		b	c	d	
Toledo rojo	159			c	d	e
Jiwaki	157				d	e
Real blanca	156				d	e
K'ellu	153					e

## 6.4 Maduración del grano de quinua

La madurez del grano de quinua se evaluó a través del seguimiento de peso seco del grano, y el cálculo de contenido de humedad. Según Abeledo *et al.*, (2004), la madurez desde el punto de vista fisiológico se determina por medio del peso seco del grano, y desde le punto de vista comercial se fija por medio del contenido de humedad.

### 6.4.1 Seguimiento del peso seco del grano (mg)

A través de la Figura 21, se observa la dinámica de acumulación de materia seca del grano, en las diez variedades, los cuales alcanzaron sus máximos pesos entre los 136 a 173 días después de la siembra (DDS). Asimismo, se observa que las primeras variedades en estabilizar su peso fueron las variedades del Sur: K'ellu, Real blanca y Toledo rojo, a 136 DDS, y Pandela a 150 DDS, sobresaliendo la variedad Real blanca con un peso seco máximo de 5.29 mg. Entre tanto, las variedades del Altiplano Norte y Centro alcanzaron sus pesos máximos entre los 156 a 173 DDS, destacándose las variedades Surumi y Kurmi, con 4.15 y 4.14 mg de materia seca de grano respectivamente.

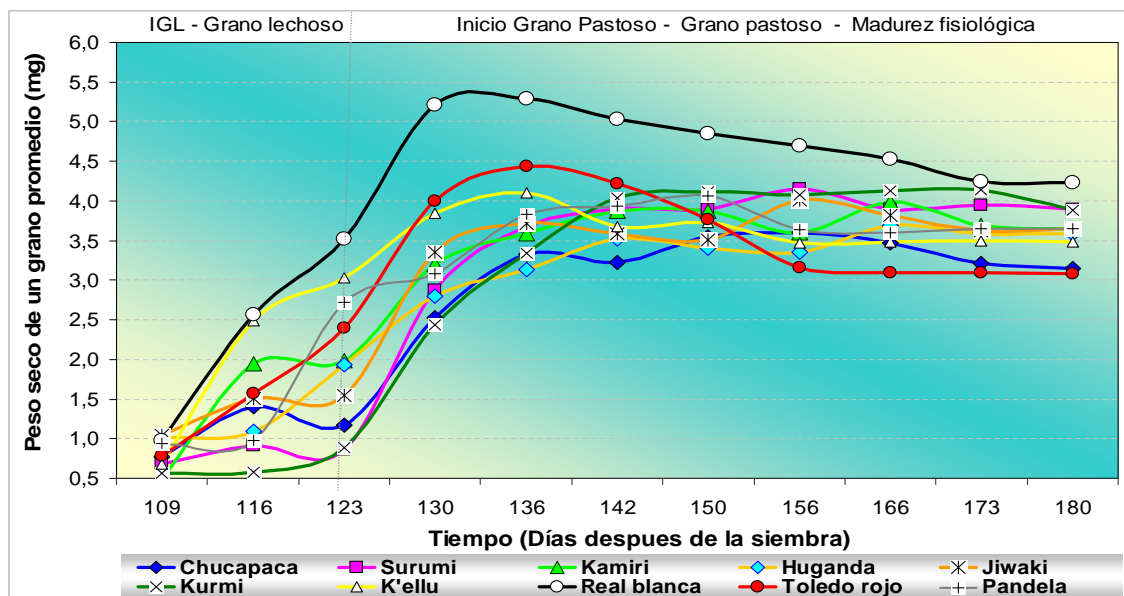


Figura 21. Evolución del peso seco del grano (mg), en diez variedades de quinua.

De la misma Figura, una vez que las diez variedades alcanzaron sus pesos máximos, éstas fueron en descenso y otros permanecieron poco variables. Por tanto, a los 180 DDS, la variedad Real blanca mantuvo su posición, registrando un peso final de materia seca del grano igual a 4.23 mg, seguida por Kurmi y Surumi con 3.89 mg, en cambio, la variedad Toledo rojo obtuvo el menor peso final de grano con 3.09 mg. Asimismo, en el Anexo 14, se muestra las gráficas de la dinámica de acumulación de materia seca del grano, de cada una de las variedades.

Según Abeledo *et al.*, (2004), medir la evolución del peso seco del grano y definir el momento de su estabilización (momento en el que el grano alcanza su máximo peso seco) constituye una forma de determinar el momento de madurez fisiológica. En tal sentido, según la clasificación de IBTA/DNS (1996), las variedades K'ellu, Real blanca y Toledo rojo, se ubicarían entre las variedades precoces; Pandela, Chucapaca, Surumi y Jiwaki, serían semiprecoces; Kamiri y Huganda, semitardías; y por último la variedad Kurmi, se ubicaría entre las variedades de ciclo tardío.

La superioridad de la variedad Real blanca, podría atribuirse al tamaño de grano, característico de esta variedad. Al respecto, Slafer *et al.*, (2004), señalan que el peso final del grano depende de la potencialidad genética de cada cultivar y de las condiciones ambientales (temperatura y disponibilidad hídrica) durante el periodo de llenado. También mencionan que en condiciones normales la principal fuente de asimilados para el llenado de los granos es la fotosíntesis entre floración y madurez fisiológica.

#### 6.4.2 Contenido hídrico absoluto del grano de quinua (mg)

A lo largo de la maduración de granos, las variedades del Altiplano Sur presentaron un mayor contenido hídrico del grano, entre los 116 a 123 DDS, destacándose la variedad Toledo rojo con un máximo de 5.56 mg, a los 123 DDS. En tanto que, en variedades del Altiplano Centro y Norte, el máximo contenido absoluto de agua se presentó a los 142 DDS, con un valor de 5.13 mg obtenido por la variedad Kurmi. Posteriormente se produce una deposición del agua hasta los 180 DDS (Figura 22).

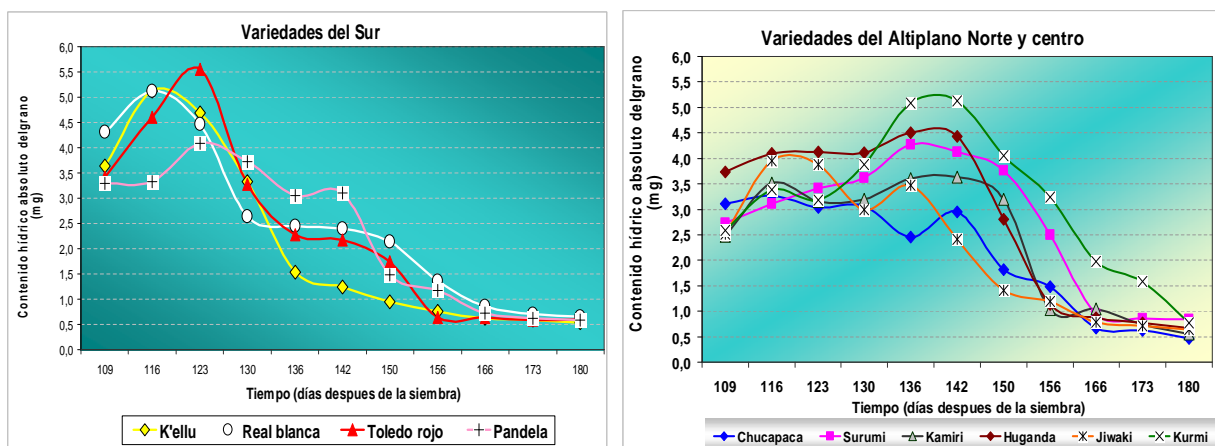


Figura 22. Contenido hídrico absoluto del grano de quinua (mg), en 10 variedades.

Las variaciones en el contenido de agua en el grano pueden explicarse a la incidencia de factores genéticos y ambientales (temperatura, velocidad del viento, humedad), que según Abeledo *et al.*, (2004), determinan cambios en la pérdida de humedad del grano.

### 6.4.3 Porcentaje de humedad (%) del grano de quinua

La Figura 23, muestra la dinámica del porcentaje de humedad del grano en función del tiempo. De la misma figura, se observa que a un inicio (fase de grano lechoso) entre 109 y 116 días después de la siembra (DDS), el porcentaje de humedad de grano, en las diez variedades, es alto, sobresaliendo la variedad K'ellu con el 84.2% a los 109 DDS y la variedad Jiwaki con el menor porcentaje 72.3 % a 116 DDS. Posteriormente, a inicios de la fase de grano pastoso, se presenta un descenso gradual del contenido de humedad, en las diez variedades, hasta alcanzar la humedad óptima para la cosecha, que según Mujica *et al.*, (2004), varía de 14 a 16%.

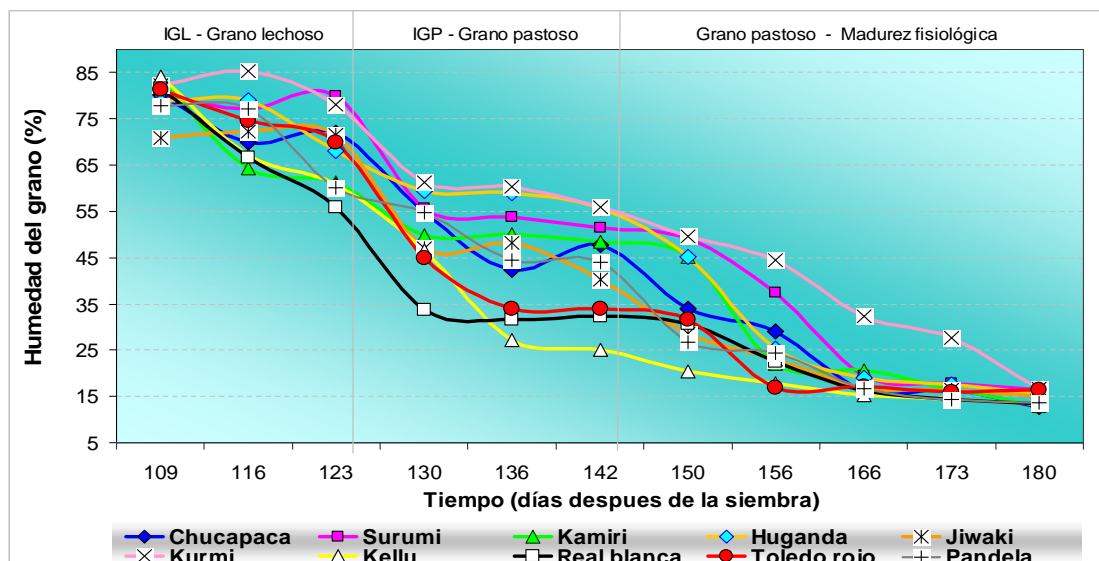


Figura 23. Evolución de la humedad (%) del grano, en diez variedades de quinua.

Respecto a las variaciones del contenido hídrico durante el llenado del grano, Abeledo *et al.*, (2004), señalan que a partir de la fecundación, el contenido de humedad del grano tiende a declinar en forma constante, sin embargo, la incidencia de factores genéticos y ambientales determinan variaciones en los valores, señalando como principal factor ambiental a la temperatura, que al incrementarse durante la etapa de llenado acelera la tasa de pérdida de humedad del grano.

Según Slafer *et al.*, (2004), entre los estados de grano lechoso y pastoso (en cereales), el contenido de agua se hace constante, la cantidad de agua que entra compensa la que se pierde, lo cual pudo evidenciarse en la mayoría de las variedades, excepto en las variedades Jiwaki y Chucapaca, los cuales presentaban mucha inestabilidad en el contenido de humedad del grano.

#### **6.4.3.1 Madurez fisiológica a partir del contenido de humedad (%) de grano**

La madurez fisiológica del cultivo en base al contenido de humedad del grano, según GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001), es cuando el contenido de humedad de grano esta entre 20% a 25%. Por tanto, en base a esta definición, la variedad K'ellu fue la primera en alcanzar la madurez fisiológica con 25.2 % de humedad en el grano, a 142 DDS, mientras la variedad Kurmi, fue la última en alcanzar la madurez fisiológica entre 173 DDS con 27.6% a 188 DDS con 16.6%. Para el resto de las variedades, ver Anexo 14.

Según, Mújica *et al.*, (2004), la madurez fisiológica ocurre entre los 160 a 180 DDS, donde el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16%, con un amarillamiento completo la planta y gran defoliación. Sin embargo, en el presente ensayo se evidenció que las características morfológicas de la planta (amarillamiento completo y defoliación casi total), se presentaron mucho antes de alcanzar los óptimos porcentajes de humedad a la madurez (14 -16%), por lo cual se consideró el de GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001).

#### **6.4.3.2 Madurez completa o tecnológica, a partir del contenido de humedad (%) del grano.**

Según el porcentaje de humedad, las variedades Chucapaca, K'ellu y Real blanca fueron las primeras en alcanzar la madurez completa a los 166 (días después de la siembra (DDS) con 16.0 %, 15.2 % y 16.1% de humedad de grano, respectivamente, en tanto, las últimas variedades en alcanzar la madurez completa fueron Surumi, Huganda y Kurmi, a los 180 DDS, con 16.3, 15.6 y 16.6 %, respectivamente. El resto de las variedades, alcanzaron la madurez completa entre los 173 a 180 DDS (ver Anexo 14).

## 6.5 Variables fisiotécnicas

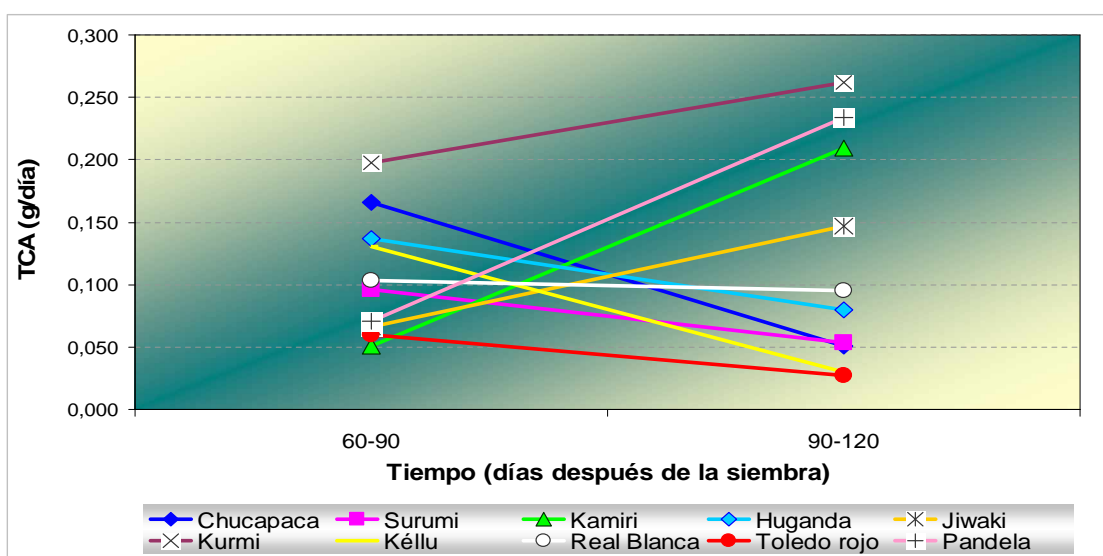
Geraud *et al.*, (1994), señalan que el análisis de crecimiento de plantas puede basarse en la evolución cronológica de medidas tales como peso seco, longitud de tallos, número de hojas, número de ramas, etc, que tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta. Y con éstas medidas pueden ser calculados el índice de crecimiento relativo (ICR), razón de peso foliar (RPF), índice de asimilación neta (IAN), los cuales explican su eficiencia en acumular materia seca como producto de sus procesos metabólicos.

### 6.5.1 Tasa de crecimiento absoluto (TCA)

A través de la Figura 24, con resultados del Cuadro 10, se observa que las variedades Toledo rojo, Real blanca, K'ellu, Surumi, Chucapaca y Huganda, alcanzaron los máximos incrementos de material vegetal por unidad de tiempo entre los 60 a 90 días después de la siembra, donde sobresalió la variedad Chucapaca con 0.166 g/día. Sin embargo, la variedad Kurmi, alcanzó la mayor tasa de crecimiento con 0.198 g/día, en este periodo.

**Cuadro 10. Tasa de crecimiento absoluto (g/día) en diez variedades de quinua.**

Días	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real Blanca	Toledo rojo	Pandela
60-90	0,166	0,097	0,050	0,137	0,066	0,198	0,131	0,103	0,059	0,071
90-120	0,051	0,053	0,209	0,080	0,147	0,262	0,030	0,095	0,027	0,234



**Figura 24. Tasa de crecimiento absoluto (g/día) en diez variedades de quinua.**

Las variedades Kurmi, Pandela, Kamiri y Jiwaki, continuaron con el incremento de peso del material vegetal hasta llegar a la segunda etapa (90 - 120 DDS), donde la variedad Kurmi alcanzó la máxima tasa de crecimiento absoluto con 0.262 g/día, lo cual indica que entrando a esta fase, éstas variedades continuaron con el proceso fotosintético.

La disminución de la TCA, en las variedades Toledo rojo, Real blanca, K'ellu, Surumi, Chucapaca y Huganda, posterior al primer periodo (60-90 DDS), podría atribuirse a la incidencia del mildiu (*Peronospora farinosa*) provocando la disminución en la actividad fotosintética de sus hojas y la defoliación. También se puede atribuir a la senescencia natural de las hojas. Al respecto, Fernández (2004), menciona que las hojas y los frutos especialmente, presentan interferencias por patógenos, insectos y factores abióticos que aceleran la senescencia de los tejidos.

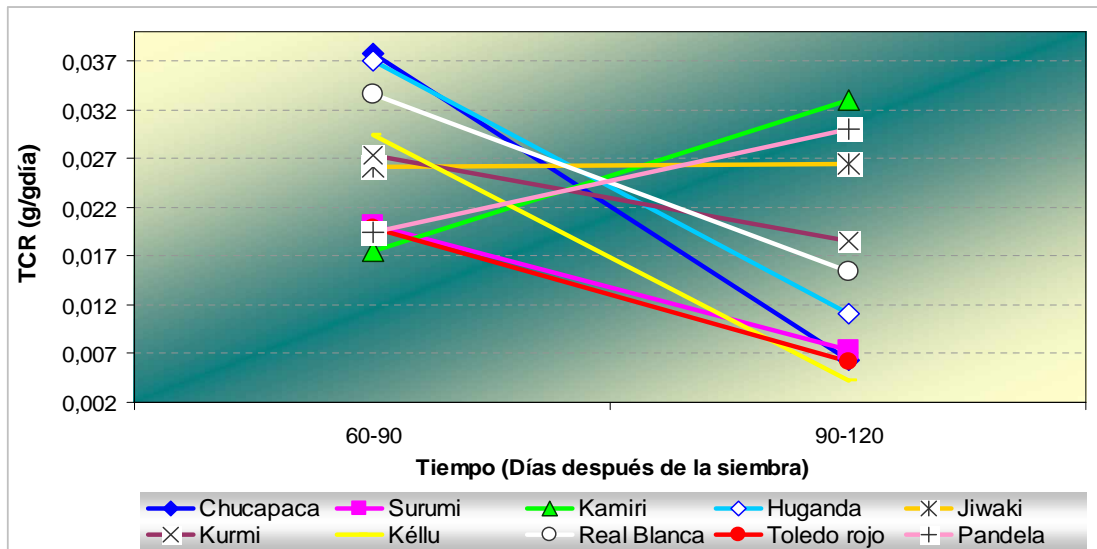
Respecto al parámetro, Cárcova *et al.*, (2004), señalan que al igual que una hoja, la TCA resulta del balance de dos procesos contrapuestos que son la fotosíntesis y la respiración, por lo cual aumentos en la radiación interceptada por el cultivo se traducen en aumentos en la tasa de crecimiento. El incremento de la TCA, en estas variedades, también puede atribuirse a la menor defoliación de las mismas, sobre todo en la variedad Kurmi.

### **6.5.2 Tasa de crecimiento relativo (TCR)**

La Tasa de crecimiento relativo (TCR), permite conocer el aumento de peso de la materia seca al finalizar un periodo de medición por cada gramo de materia seca existente al inicio de la medición. Por tanto, en la Figura 25 y Cuadro 11, se observa que en la etapa de 60 a 90 DDS, las variedades Chucapaca, Surumi, Huganda, Kurmi, K'ellu, Real blanca y Toledo rojo obtuvieron mayor acumulación de materia seca, sobresaliendo la variedad Chucapaca con un valor máximo de 0.038 gramos, acumulado por cada gramo de materia seca de la planta al iniciarse este periodo, seguida de la variedad Huganda con 0.037 g/g/día, posteriormente presentaron una reducción gradual en el incremento de materia seca.

**Cuadro 11. Tasa de crecimiento relativo, expresada en g/g día, para 10 variedades de quinua.**

Días	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real blanca	Toledo rojo	Pandela
60-90	0,038	0,020	0,018	0,037	0,026	0,027	0,029	0,034	0,020	0,019
90-120	0,006	0,007	0,033	0,011	0,026	0,019	0,004	0,015	0,006	0,030



**Figura 25. Tasa de crecimiento relativo para 10 variedades de quinua.**

De la misma Figura, las variedades Kamiri y Pandela, que registraron los incrementos mas bajos de materia seca entre los 60 a 90 DDS, en la segunda etapa de evaluación (90 a 120 DDS), registraron una mayor acumulación de materia seca, respecto a las demás variedades, con valores de 0.033, 0.030 y 0.026 g/g/día, respectivamente.

La variedad Jiwaki, presentó un caso particular, debido a que se mantuvo constante entre los dos periodos de evaluación, con una acumulación de materia seca de 0.0261 g/g/día (60 a 90 DDS) y 0.0264 g/g/día entre los 90 a 120 DDS, ubicándose con un promedio intermedio respecto a las demás variedades.

Respecto a los máximos incrementos de materia seca, obtenidos por las variedades Chucapaca y Huganda, puede atribuirse al mayor desarrollo foliar de éstas variedades, y mayor eficiencia para convertir la radiación solar interceptada en biomasa.

### 6.5.4 Área foliar de hojas por rangos (cm<sup>2</sup>)

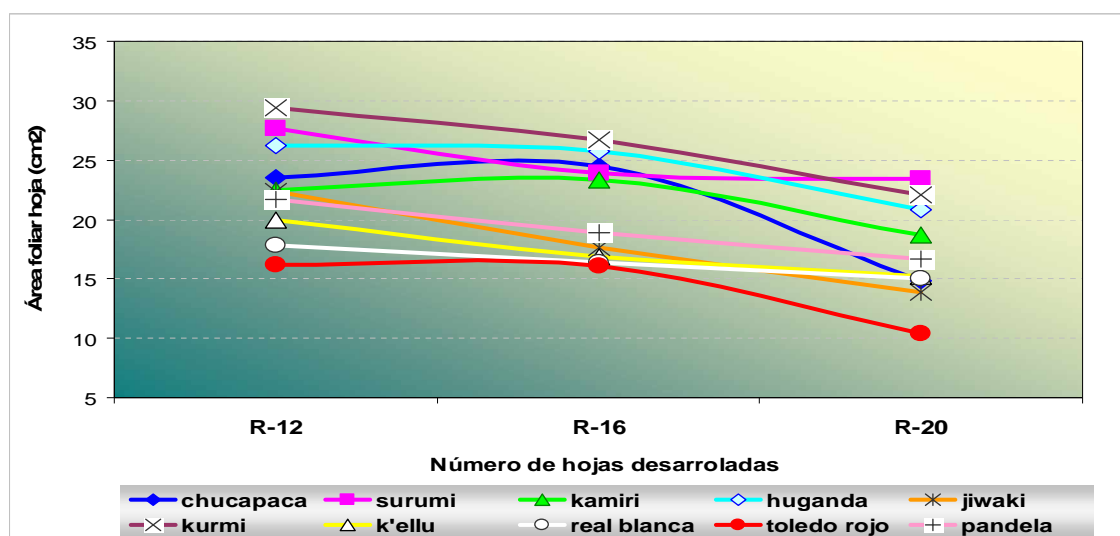
En la Figura 27, se observa que la mayoría de las variedades, excepto Chucapaca y Kamiri, alcanzaron mayor área foliar en hojas de rango 12, con un promedio de 22.7 cm<sup>2</sup>/hoja, para las diez variedades, sobresaliendo la variedad Kurmi con la máxima superficie de hoja de 29.4 cm<sup>2</sup>/hoja, y Toledo rojo un área menor de 16.2 cm<sup>2</sup>/hoja. El resto de las variedades presentaron valores entre 27.7 a 17.8 cm<sup>2</sup>/hoja (ver Cuadro 13).

Asimismo, las hojas de rango 16, alcanzaron un promedio de 21.0 cm<sup>2</sup>/hoja, donde también sobresalió la variedad Kurmi con 26.7 cm<sup>2</sup>/hoja, y Toledo rojo con la menor superficie foliar de 16.1 cm<sup>2</sup>/hoja. Finalmente, las hojas de rango 20, obtuvieron menor área foliar, para las 10 variedades, con un promedio de 17.1 cm<sup>2</sup>/hoja.

Comparando con trabajos realizados, se coincide con Palma (2007), en que los máximos valores de área foliar suceden en las hojas N°12 y N° 15 de una planta promedio.

**Cuadro 13. Área foliar (cm<sup>2</sup>/hoja) de hojas de rangos 12, 16 y 20, en 10 variedades de quinua.**

Rangos	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real blanca	Toledo rojo	Pandela
R- 12	23,5	27,7	22,4	26,3	22,4	29,4	19,9	17,8	16,2	21,7
R- 16	24,5	23,9	23,3	25,7	17,6	26,7	16,9	16,4	16,1	18,9
R- 20	14,9	23,4	18,7	20,8	13,9	22,1	15,2	15,1	10,4	16,6



**Figura 27. Desarrollo del área foliar (cm<sup>2</sup>/hoja) en hojas de rangos 12, 16 y 20, en 10 variedades de quinua.**

La variación del área foliar, entre variedades, puede llegar a explicarse por factores genéticos, fisiológicos y medioambientales. Al respecto, Collao *et al.*, (1992), expresan que la temperatura tiene un efecto en los procesos de absorción de nutrientes, agua, fotosíntesis, respiración y traslocación de nutrientes, disminuyendo la superficie foliar.

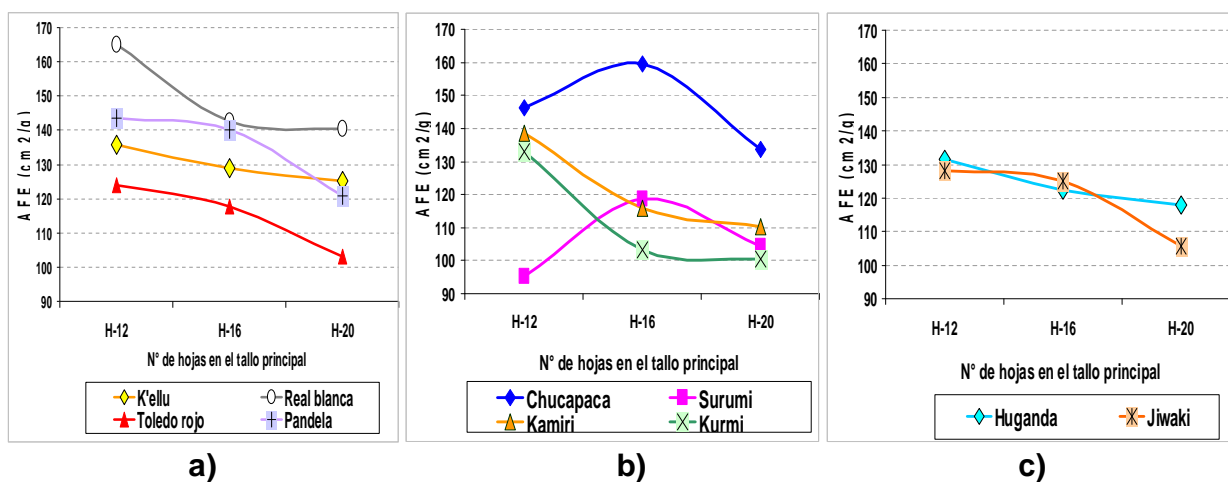
En tanto, las mayores superficies foliares, de las variedades Kurmi, Surumi, Huganda y Chucapaca, se puede explicar al mayor crecimiento y desarrollo de las mismas, ya que obtuvieron mayor altura de planta, mayor diámetro de tallo y mayor número de hojas.

### 6.5.5 Área foliar específica (AFE)

El Área Foliar Específica, nos permite medir el espesor de la hoja y representa la superficie foliar por gramo de hoja (Palomo *et al.*, 2003). Por tanto, en la Figura 28 a, b y c, con resultados del Cuadro 14, se observa que los máximos promedios de AFE, para las diez variedades, se presentaron en las hojas de rango 12 y 16, con promedios de 134.09 y 127.37  $\text{cm}^2/\text{g}$  respectivamente. A su vez, las hojas de rango 20 alcanzaron en promedio un AFE de 116.20  $\text{cm}^2/\text{g}$ , para las diez variedades.

**Cuadro 14. Área foliar específica ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) de 10 variedades de quinua.**

Rangos	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real blanca	Toledo rojo	Pandela
H-12	146,21	95,18	138,62	131,48	128,19	132,90	135,74	165,17	123,86	143,53
H-16	159,45	118,53	115,83	122,38	125,13	103,21	128,82	142,72	117,58	140,06
H-20	133,64	104,43	110,42	117,84	105,69	100,56	125,13	140,28	103,07	120,92



**Figura 28 a, b y c. Evolución del área foliar específica (AFE), en 10 variedades de quinua ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ).**

Las variedades del Altiplano Sur (Figura 28 a), alcanzaron los máximos valores de AFE, en hojas de rango 12, sobresaliendo la variedad Real blanca con un máximo espesor de hoja de 165.17 cm<sup>2</sup>/g, mientras la variedad Toledo rojo logró el menor espesor de hoja con 123.86 cm<sup>2</sup>/g.

Entre las variedades del Altiplano Centro (Figura 28 b), Kamiri y Kurmi, adquirieron tendencias similares, obteniendo mayor AFE en hojas del rango 12, con 138.62 y 132.90 cm<sup>2</sup>/g respectivamente; mientras que las variedades Chucapaca y Surumi, alcanzaron mayor AFE en hojas del rango 16, con 159.45 y 118.53 cm<sup>2</sup>/g respectivamente. Las variedades Huganda y Jiwaki, del Altiplano Norte (Figura 28 c), alcanzaron mayor espesor en hojas del rango 12, con 131.48 y 128.19 cm<sup>2</sup>/g respectivamente, en la fase de floración.

La disminución del AFE, en hojas del rango 20, podría explicarse a una menor superficie y peso de las hojas (debido a que éstas se encontraban cerca a la panoja), al incremento en altura de plantas, ya que las hojas de este rango se recolectaron a los 120 DDS, coincidiendo con las máximas alturas de planta. Al respecto, Pérez *et al.*, (2004), en investigaciones con plantas forrajeras, demostró que el AFE disminuye al incrementarse la altura de la planta, y la máxima AFE coincide con la mayor concentración de N en la hoja.

En estudios similares, Meléndez (2009) y Quisbert (2006), reportaron valores máximos de AFE en la variedad Real blanca, en hojas de rangos 12 y 16. Por tanto, hay coincidencia en señalar que la variedad Real blanca presenta mayor área foliar específica, respecto a las variedades en estudio.

La superioridad de la variedad Real blanca, indicaría que sus hojas poseen mayor resistencia a factores climáticos como las granizadas, sin embargo, a simple vista y tacto la variedad Kurmi presentaba hojas más gruesas, por tanto, fue la variedad más resistente a factores climáticos, a plagas y enfermedades. Estas diferencias podrían explicarse a una menor densidad de plantas por superficie en la variedad Real blanca. Al respecto, Lusk y Leaf, citado por Pérez *et al.*, (2004), señalan que una elevada AFE incrementa la apetencia y fragilidad de las hojas, al tiempo que se incrementa el riesgo de pérdidas prematuras de tejido, mientras que las hojas más densas y con menor AFE, tienen correlaciones altas con una mayor lignificación, menor tamaño celular, bajo contenido de humedad y baja concentración de nitrógeno.

Según Raffaillac *et al.*, (2006), el AFE está influenciada por la exposición de las hojas a la radiación solar brillante o difusa, pues cuando la luz solar es brillante, la fotosíntesis y la respiración ocurren con mayor rapidez y consecuentemente hay más azúcar y menos agua en comparación a la hoja que crece a la sombra. Asimismo, Lee y Heuvelink, citado por Pérez *et al.*, (2004), indican que la variación del AFE puede llegar a explicarse por cambios en la intensidad lumínica o época del año. Así por ejemplo, especies demandantes de luz presentan una elevada AFE, y elevadas concentraciones de nitrógeno en sus hojas.

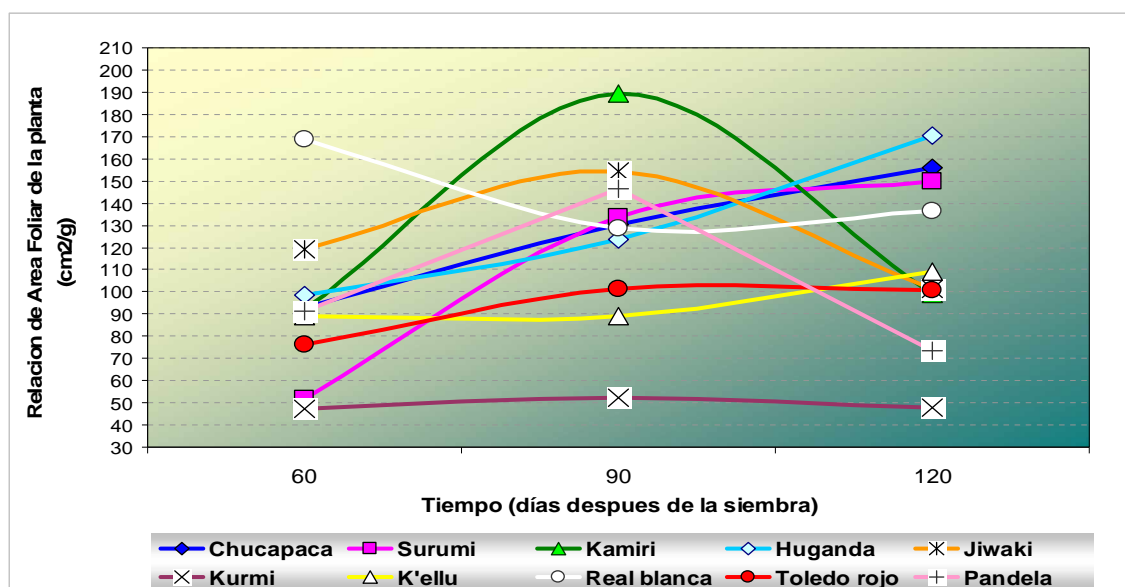
A su vez, Rodríguez (1997), señala que el AFE, es un índice del costo energético o material para la formación de una unidad de superficie foliar, y su disminución en el curso del crecimiento de las plantas es típica del AFE. También menciona que las Xerófitas (plantas que crecen en ambiente seco, con escasa precipitación lluviosa) tienen un AFE menor que las Mesófitas (plantas que viven bajo condiciones intermedias de humedad y temperatura) e Higrófitas (plantas que crecen en medio de elevada humedad ambiental).

### 6.5.6 Relación de área foliar (RAF)

La Relación de Área Foliar, estima la magnitud del aparato fotosintético de la planta, y es la relación entre el área foliar total y el peso seco total de la planta (Palomo *et al.*, 2003). Por tanto, la Figura 29, muestra que a los 60 días después de la siembra (DDS), fase de panojamiento e inicio de floración, la variedad Real blanca, sobresale con una RAF de 168.96 cm<sup>2</sup>/g, lo cual indica que por cada gramo de peso seco total de la planta, existen 168.96 cm<sup>2</sup> de superficie foliar. Sin embargo, la variedad de menor relación de área foliar fue Kurmi con 47.18 cm<sup>2</sup>/g.

**Cuadro 15. Relación de área foliar (cm<sup>2</sup>/g) en 10 variedades de quinua.**

Días	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real blanca	Toledo rojo	Pandela
60	92,90	51,87	92,58	98,60	119,43	47,18	88,79	168,96	76,06	91,23
90	130,53	133,51	189,23	123,77	154,07	52,23	88,87	128,75	101,07	146,56
120	155,70	149,86	99,20	170,60	101,17	47,88	108,86	136,28	100,85	73,72



**Figura 29. Relación área foliar (cm<sup>2</sup>/g) en 10 variedades de quinua, evaluado en 3 periodos a lo largo del ciclo del cultivo.**

A los 90 DDS (fase de floración e inicio de grano lechoso), la variedad Kamiri alcanzó el máximo valor de RAF con 189.23 cm<sup>2</sup>/g, en este periodo, las variedades Jiwaki, Kurmi, Toledo rojo y Pandela, tuvieron tendencias similares, en obtener valores máximos de RAF (ver Cuadro 15). Sin embargo, la variedad de menor relación de área foliar fue Kurmi con 52.23 cm<sup>2</sup>/g.

En la etapa final de evaluación (120 DDS – fase de grano lechoso e inicio de grano pastoso), la variedad Huganda fue la que se destacó con un RAF de 170.60 cm<sup>2</sup>/g. Asimismo, las variedades Chucapaca, Surumi y Kéllu, alcanzaron los máximos valores de RAF en este periodo (ver Cuadro 15). En tanto, la variedad Kurmi continuó con una menor relación de área foliar igual a 47.88 cm<sup>2</sup>/g.

La disminución del RAF, en las variedades que alcanzaron los máximos valores de este parámetro, entre los 60 y 90 DDS, puede atribuirse al incremento en altura de planta y senescencia de las hojas. En tal sentido, Chapman, citado por Pérez *et al.*, (2004), afirman que la senescencia de las hojas implica una pérdida gradual en la fotosíntesis, lo cual conduce a una degeneración y muerte del tejido. A su vez, Benincasa, citado por Collao *et al.*, (1992), señala que el RAF declina a medida que la planta crece aumentando la interferencia de las hojas superiores sobre las hojas inferiores.

Rodríguez (1997), señala que al principio del ciclo, el RAF es elevado debido a que la planta se encuentra formando la parte aérea. Esta aseveración, se evidenció en las variedades Real blanca, Kamiri, Jiwaki, Kurmi y Pandela; el resto de las variedades alcanzaron los máximos valores del RAF, en la etapa de formación de grano.

La menor relación de área foliar, obtenido por la variedad Kurmi, podría explicarse a la poca y/o ausencia ramificación en esta variedad, lo cual pudo influenciar en un área foliar reducida.

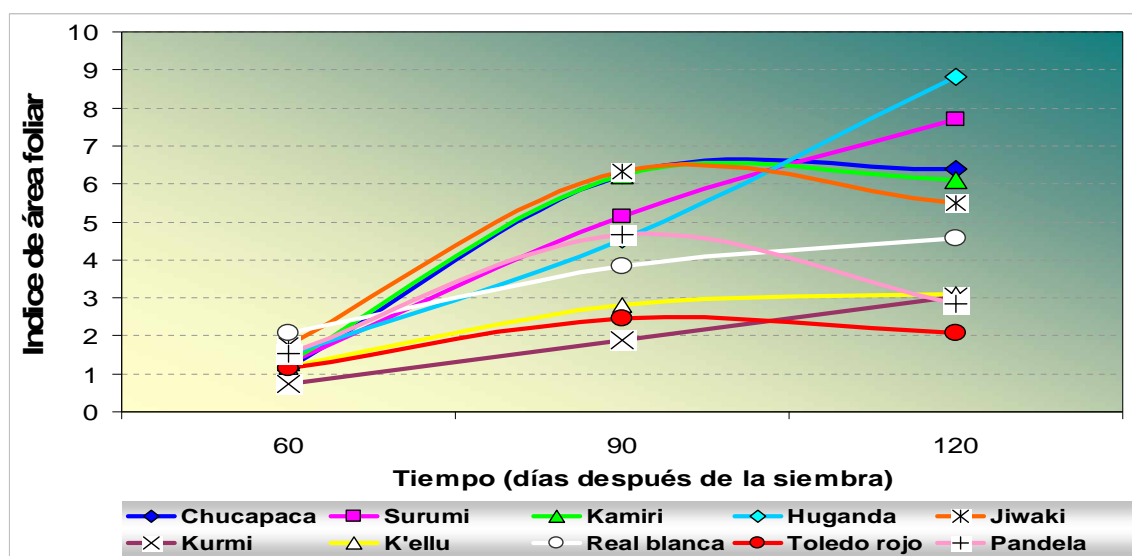
### 6.5.7 Índice de área foliar (IAF)

El índice de área foliar nos permite considerar la productividad de un cultivo, y se define como la superficie foliar fotosintéticamente activa por unidad de superficie de suelo (Cárcova *et al.*, 2004). Por tanto, la Figura 30 con resultados del Cuadro 16, muestra una evolución ascendente del IAF, en las diez variedades, hasta llegar a los 90 días después de la siembra (DDS) y 120 DDS, donde alcanzaron los máximos valores.

Continuando con los resultados de la Figura 30, entre los 90 DDS (fase de floración e inicio de grano lechoso), las variedades Kamiri, Jiwaki, Toledo rojo y Pandela, alcanzaron los máximos índices de área foliar, donde la variedad Kamiri sobresalió con 6.2, y la variedad Kurmi logró el menor IAF con 1.9, posteriormente éstas variedades fueron en descenso, excepto la variedad Kurmi que continuo en ascenso. El resto de las variedades alcanzaron los máximos IAF entre los 120 DDS (formación de grano), destacándose la variedad Huganda con el máximo valor de 8.8, y la variedad Toledo rojo con el menor índice de área foliar igual a 2.1.

**Cuadro 16. Índice de área foliar de 10 variedades de quinua.**

Días	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real blanca	Toledo rojo	Pandela
60	1,2	1,3	1,3	1,5	1,7	0,7	1,2	2,1	1,1	1,5
90	6,2	5,1	6,2	4,5	6,3	1,9	2,8	3,8	2,5	4,7
120	6,4	7,7	6,1	8,8	5,5	3,0	3,1	4,6	2,1	2,8



**Figura 30. Índice de área foliar de 10 variedades de quinua.**

El descenso del IAF, a partir de los 90 días después de la siembra, podría atribuirse a la presencia de enfermedades como el mildiu, pues según Fernández (2004), las hojas pueden ser interferidas en su acción fotosintética por una capa de crecimiento micelial, afectando a su vez al metabolismo. Al respecto, Bonifacio s/f, señala que el mildiu provoca reducción del área fotosintética de la planta, consecuentemente afecta negativamente en el desarrollo de la planta y en el rendimiento.

En comparación con otros ensayos, se puede indicar que los máximos índices de área foliar obtenidos en el presente ensayo, son mayores a los registrados por Palma (2007), quién determinó un índice de área foliar máximo de 2.3 en la variedad Kamiri a 120 DDS, y a los reportados por Meléndez (2009), quién registró un valor máximo de índice de área foliar igual a 1.145, en la variedad Huganda. Los máximos valores de IAF, puede llegar a explicarse al menor porcentaje de defoliación y mayor área foliar. En cambio los menores IAF, podría deberse a una mayor defoliación, menor área foliar, ataque de qhona qhona, mildiu, y precocidad.

Los mayores índices de área foliar se presentaron entre las fases de floración y grano lechoso, fue muy variable debido al ciclo vegetativo adquirido por cada variedad. Al Respecto, Colia, citado por Mújica *et al.*, (1999), indican que el cultivo de quinua presenta mayor índice de área foliar en fase de floración, donde se presenta su mayor eficiencia fotosintética.

A su vez, INTA (2006), en estudios realizados en algodón, señala que el IAF tiende a incrementarse en etapas tempranas hasta llegar a la plena floración, decreciendo a medida que la maduración de los frutos avanza.

Asimismo, Cárcova *et al.*, (2004), señalan que el IAF se genera con la aparición y expansión de las hojas, y es producto del número de hojas y tamaño de las mismas. También indican que el IAF aumenta porque muchos cultivos empiezan a ramificar generando nuevas unidades sobre las que aparecen nuevas hojas. Posteriormente, la competencia intraplanta y poca intercepción de la radiación determinan que la expansión foliar y la ramificación disminuyan hasta cesar, produciendo el comienzo de la senescencia de órganos vegetativos.

Según, Trapani *et al.*, (2004), la variación del área foliar de la planta es afectado por la disponibilidad de agua y nitrógeno, por lo que deficiencias de agua ó de nitrógeno reducen la tasa de expansión foliar, por tanto cada hoja será más pequeña y el índice de área foliar será menor. Asimismo, Rodríguez (1997), menciona que la fertilización nitrogenada induce a altos valores de IAF, pero, determinan una baja productividad económica, debido al autosombreamiento y el acame.

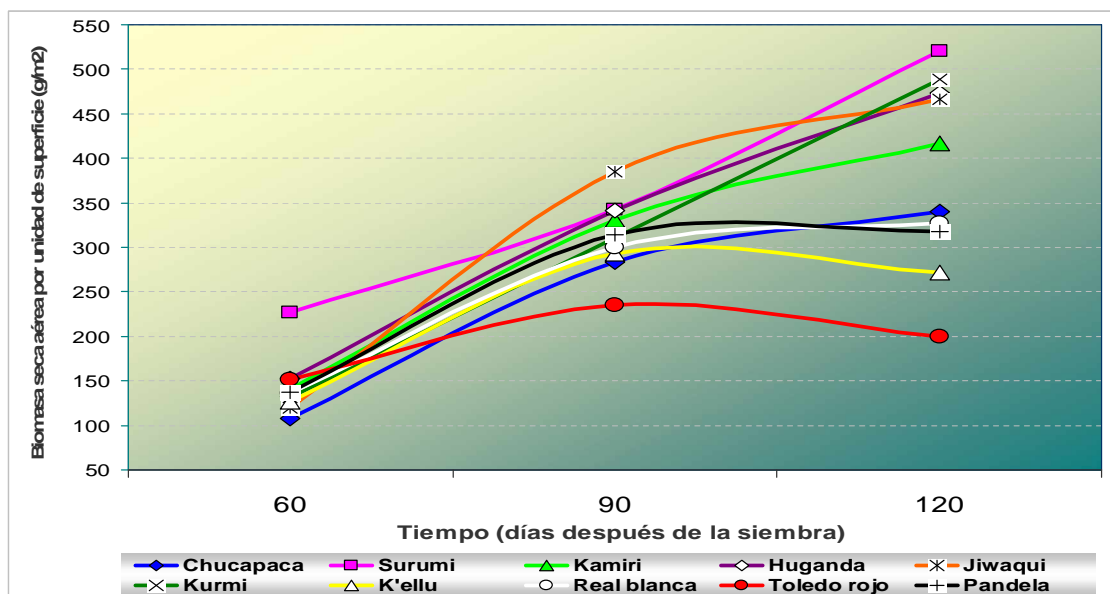
## **6.6 Variables de rendimiento**

### **6.6.1 Biomasa seca aérea por unidad de superficie (g/m<sup>2</sup>)**

La Figura 31 y Cuadro 17, muestra una curva creciente en la acumulación de biomasa seca aérea por unidad de superficie, el cual expresa los máximos incrementos entre los 90 y 120 días después de la siembra (DDS). A los 60 DDS, el peso seco de la biomasa seca aérea promedio, para las 10 variedades fue de 142.93 g/m<sup>2</sup>, destacándose la variedad Surumi con 227.26 g/m<sup>2</sup>. Posteriormente, continuó en incremento, a los 90 DDS, las 10 variedades obtuvieron un promedio de 313.50 g/m<sup>2</sup>, destacándose la variedad Jiwaki con 385.37 g/m<sup>2</sup>. Finalmente a los 120 DDS, las 10 variedades, alcanzaron el máximo promedio con 382.16 g/m<sup>2</sup>, donde sobresalió la variedad Surumi con el máximo incremento de biomasa seca con 520.0 g/m<sup>2</sup>, contrariamente la variedad Toledo rojo alcanzó la menor biomasa seca con 200 g/m<sup>2</sup>.

**Cuadro 17. Biomasa seca aérea por unidad de superficie ( $\text{g/m}^2$ ) en diez variedades de quinua.**

Días	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real blanca	Toledo rojo	Pandela
60	107,2	227,3	140,2	152,1	119,3	131,5	126,4	136,6	151,3	137,3
90	283,6	342,4	330,4	341,0	385,4	310,8	293,2	299,5	235,1	313,7
120	340,1	520,0	417,0	473,1	466,3	488,3	272,1	327,3	200,0	317,3



**Figura 31. Evolución de la biomasa seca aérea por unidad de superficie, evaluado en tres periodos de tiempo, en 10 variedades de quinua ( $\text{g/m}^2$ ).**

La mayoría de las variedades alcanzaron los máximos valores de biomasa seca aérea entre los 120 DDS (fase de grano lechoso), excepto las variedades K'ellu y Toledo rojo, quienes alcanzaron los máximos valores a los 90 DDS, posteriormente disminuyeron de forma leve, lo cual podría atribuirse al ciclo precoz, adquirido por estas variedades. Al respecto, Vargas (2006), al evaluar 20 genotipos de quinua encontró diferencias significativas del contenido de materia seca de la planta en fases de panojamiento, floración, grano lechoso, grano pastoso y madurez fisiológica. Entre tanto que, Gutiérrez (2003) y Quisbert (2006), registraron máximos incrementos de materia seca aérea entre los 119 y 120 DDS.

La mayor acumulación de biomasa seca aérea puede llegar a explicarse por un mayor follaje, mayor altura de planta y mayor diámetro de tallo, principalmente; mientras la menor biomasa se explica por la defoliación precoz de las variedades.

Según Kruk y Satorre (2004), la materia seca total (MST) producida por unidad de área se incrementa con el aumento de la densidad, lo cual provoca un incremento del área foliar y, consecuentemente, de la captación de recursos. Al respecto, en el presente ensayo no se coincide con dicha aseveración, puesto que el mayor número de plantas se presentó entre los 60 y 90 DDS. También, señalan que en el rango de densidades en el que ocurre el máximo rendimiento de MST por unidad de área, el cultivo maximiza la utilización de los recursos limitantes como nutrientes, agua, luz. Asimismo, señalan que la densidad también ocasiona efectos negativos indirectos como el aumento de la sensibilidad al vuelco y enfermedades.

#### 6.6.2. Biomasa seca aérea por unidad de planta (g/planta)

La Figura 32 con resultados del Cuadro 18, detalla la evolución de materia seca por planta, en tres periodos de evaluación: 60, 90 y 120 días después de la siembra (DDS). En el primer periodo de evaluación (60 DDS), el peso seco promedio para las diez variedades fue de 2.57 g/planta, sobresaliendo la variedad K'ellu con 3.97 g/planta. En el segundo periodo de evaluación (90 DDS), fue incrementando, alcanzando un peso promedio de 5.59 g/planta, para las diez variedades, destacándose la variedad K'ellu con 8.66 g/planta. Finalmente en el último periodo de evaluación (120 DDS), las diez variedades, excepto K'ellu, alcanzaron los máximos promedios de materia seca, obteniendo un promedio de 7.73 g/planta, donde la variedad Real blanca logró el máximo peso de materia seca con 9.01 g/planta, y la variedad Toledo rojo registró un mínimo de 4.62 g/planta.

**Cuadro 18. Biomasa por unidad de planta, en 10 variedades de quinua (g/planta).**

Días	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real blanca	Toledo rojo	Pandela
60	2,48	3,54	2,19	2,02	1,70	1,82	3,97	3,14	2,22	2,68
90	7,33	6,37	3,70	6,11	3,77	4,39	8,66	6,83	3,97	4,80
120	8,86	7,96	6,51	8,52	8,04	7,11	8,08	9,05	4,78	8,39

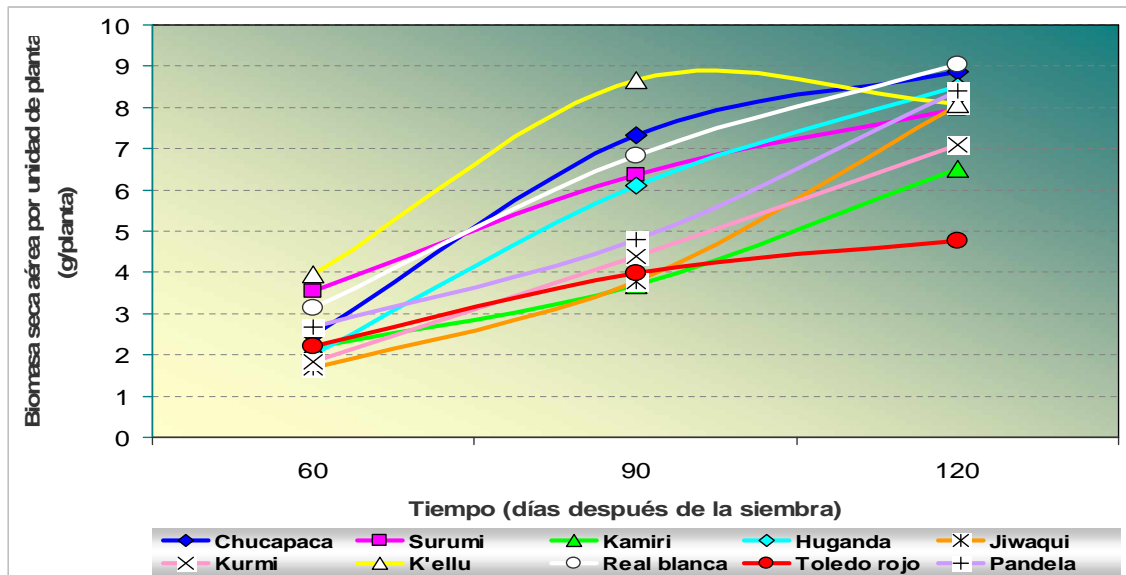


Figura 32. Evolución de peso seco por planta en 10 variedades de quinua (g/planta).

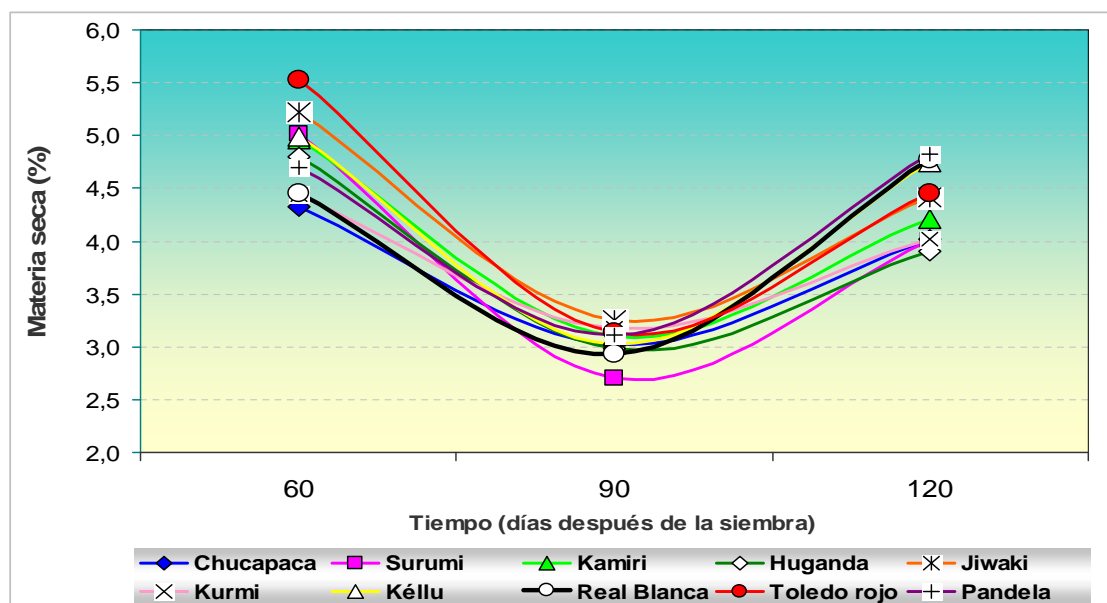
### 6.6.3 Porcentaje de materia seca (%MS)

La Figura 33 con datos del Cuadro 19, muestra que a un inicio del periodo (60 DDS), la mayoría de las variedades, a excepción de Real blanca y Pandela, alcanzaron los máximos incrementos en porcentaje de materia seca, con valores que oscilaron entre 5.53 % (máximo porcentaje de materia seca) obtenido por la variedad Toledo rojo, y 4.33 % alcanzado por la variedad Chucapaca, con un promedio de 4.84%, para las diez variedades. En tanto que, a 90 DDS, se presentó un descenso en el porcentaje de materia seca, con valores que oscilaron entre 2.70%, obtenido por la variedad Surumi, a 3.27% por la variedad Jiwaki, y un promedio de 3.04 %, para las diez variedades.

Finalmente, a 120 DDS, el porcentaje de materia seca volvió a incrementarse, sin superar los alcanzados en la primera etapa, a excepción de las variedades Pandela y Real blanca, que alcanzaron sus máximos promedios, en esta etapa, con 4.82 y 4.77 % respectivamente, y el menor promedio registrado fue de 3.90%, en la variedad Huganda.

Cuadro 19. Porcentaje de Materia seca (%), en diez variedades de quinua.

Días	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real Blanca	Toledo rojo	Pandela
60	4,33	5,02	4,96	4,80	5,22	4,44	5,00	4,45	5,53	4,69
90	3,03	2,70	3,09	2,99	3,25	3,17	3,03	2,94	3,14	3,12
120	4,02	4,00	4,21	3,90	4,42	4,01	4,75	4,77	4,45	4,82



**Figura 33. Evolución del porcentaje de materia seca, a los 60, 90 y 120 días después de la siembra (DDS), en diez variedades de quinua.**

Los máximos porcentajes de materia seca registrados a 60 DDS podrían explicarse a una mayor emisión de hojas, como resultado de la ramificación, ya que al ramificarse una planta genera nuevas unidades sobre las que aparecen nuevas hojas, como señala Cárcova *et al.*, (2004). Consecutivamente, mayor proceso de fotosíntesis, y una mayor producción de materia seca. Al respecto, Cárcova *et al.*, (2004), mencionan que las plantas aprovechan la luz solar en una primera fase, transformando la energía lumínica en energía química.

Asimismo, la disminución del porcentaje de materia seca a 90 DDS podría ser causa de la defoliación y mayor contenido de humedad presentes en los órganos de la planta, favorecido por la constante precipitación (3.1mm/día). Sin embargo, a 120 DDS la materia seca se incrementó, a pesar de la defoliación acelerada, motivada por la madurez fisiológica, lo cual podría explicarse a la madurez de los granos.

#### 6.6.4 Partición de materia seca (%)

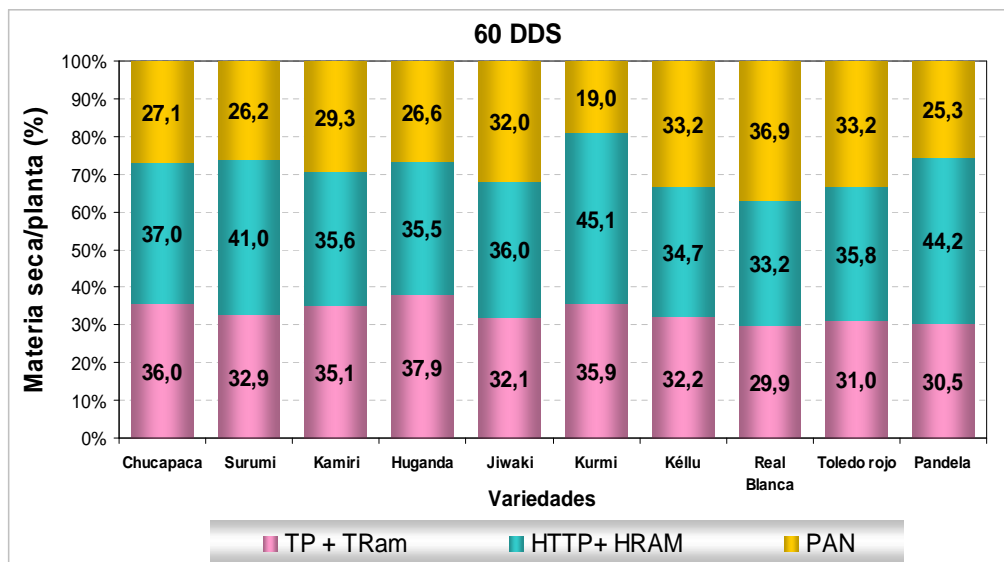
La Figura 34 a, b y c, muestra la evolución de la acumulación de materia seca en los diferentes órganos aéreos de una planta promedio, en diez variedades, evaluadas a los 60, 90 y 120 días después de la siembra (DDS).

A través de la Figura 34 a (60 DDS), se observa que el mayor porcentaje de materia seca se distribuyó en las hojas (del tallo principal y de ramificaciones), con un porcentaje promedio de 37.8%, para las diez variedades, donde la variedad Kurmi alcanzó el máximo porcentaje de materia seca de hojas con 45.1%, en tanto, la variedad Real blanca logró el menor porcentaje con 33.2%. Sin embargo, en este periodo la variedad Huganda acumuló mayor porcentaje de materia seca en los tallos (tallo principal y tallo de ramificaciones).

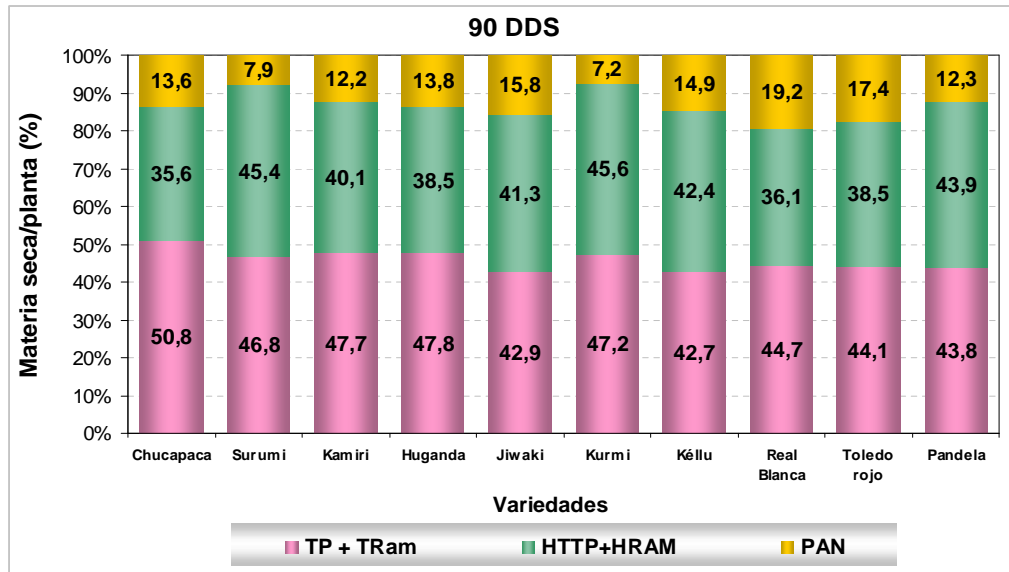
En tanto que, a los 90 DDS, la mayor acumulación de materia seca, para las diez variedades, se registró en los tallos (tallo principal y tallos de ramificaciones) de la planta, con un promedio de 45.8 %, donde sobresalió la variedad Huganda con 37.9 % de materia seca, y la variedad K'ellu con el menor porcentaje de 42.7 % (Figura 34 b).

Finalmente, a los 120 DDS, la mayor acumulación de materia seca se registró en las panojas, con un promedio de 43.9%, en las 10 variedades, destacándose la variedad Real blanca con 58.5% de materia seca, mientras las variedades Kurmi y Pandela, presentaron mayor acumulación de materia seca en los tallos. (Figura 34 c).

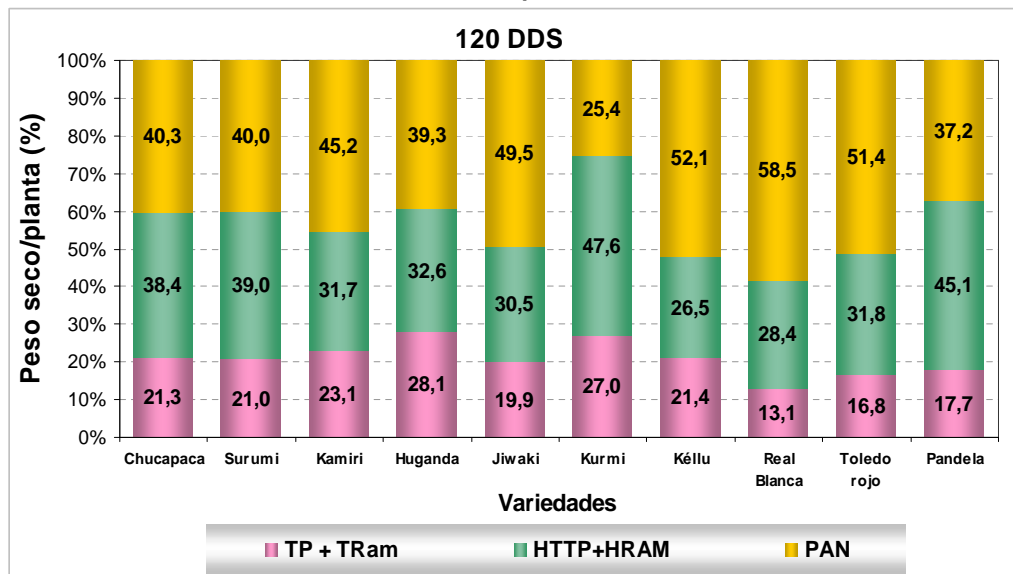
a)



b)



c)



**Figura 34 a, b, c. Distribución de materia seca (%) en diferentes órganos aéreos de una planta promedio, evaluada a 60, 90 y 120 días después de la siembra.**

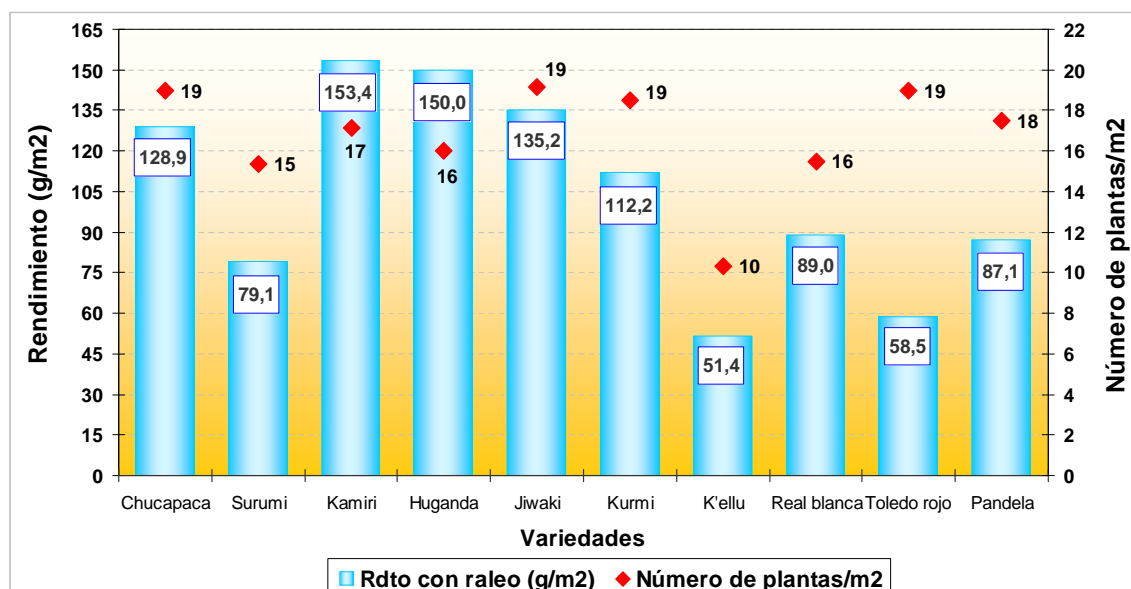
La mayor concentración de biomasa seca en determinado órgano de una planta promedio, puede explicarse a varios factores tales como: mayor área foliar, mayor peso de lámina de hoja, menor porcentaje de defoliación, mayor altura de planta, mayor diámetro de tallo, maduración precoz del grano, principalmente.

## 6.7 Rendimiento de grano (kg/ha)

### 6.7.1 Rendimiento de grano por unidad de superficie (kg/ha)

#### 6.7.1.1 Rendimiento de grano de plantas con práctica de raleo [(g/m<sup>2</sup>), (kg/ha)]

El rendimiento de grano, por el efecto del raleo de plantas, registró un promedio máximo de 153.4 g/m<sup>2</sup> (1534 kg/ha) en la variedad Kamiri, a partir de 17 plantas/m<sup>2</sup>, y un mínimo de 51.4 g/m<sup>2</sup> (514 kg/ha) en la variedad K'ellu, a partir de 10 plantas/m<sup>2</sup>, con un promedio de 104.5 g/m<sup>2</sup> (1045 kg/ha), para las 10 variedades (Figura 35).



**Figura 35. Rendimiento de grano (g/m<sup>2</sup>, kg/ha) en plantas con práctica de raleo, en diez variedades de quinua.**

La tendencia a los bajos rendimientos en las variedades del Altiplano Sur, podría deberse a diversos factores tales como: incidencia del mildiu; acame y quebramiento de tallos (registrados en fase de grano pastoso); ataque de plagas como la qhona qhona (registrados desde inicios de grano lechos); altas precipitaciones (4.1 a 4.2 mm/día), registradas en fase de madurez fisiológica, ocasionando la germinación de granos en la panoja, sobre todo en las variedades del Sur. El bajo rendimiento en la variedad Surumi, se explica al ataque de pájaros, que ocasionaron pérdida de granos por consumo y derrame de los mismos, con mayor intensidad a la madurez de granos.

Respecto a los factores que influyeron en el rendimiento, Danielsen y Ames (2000), indican que la alta influencia del mildiu reduce los rendimientos hasta un 33 a 58% siendo mayor en cultivares de los salares de Bolivia. Asimismo, Bonifacio s/f, indica que el mildiu provoca el enanismo (infección sistémica) y la defoliación prematura, reduciendo el rendimiento entre el 10 y el 30%. Mientras, León (2003), menciona pérdidas entre 20 a 25%, también, indica que las lluvias acompañadas de fuertes vientos producen el acame de las plantas, ocasionando rendimientos bajos. Además, Mújica y Jacobsen (1999) indican que excesos de humedad ocasionan pudrición y asfixia de la raíz, tumbado de plantas, y consecuentemente afectan la producción.

En tanto, Ortiz s/f, señala que la qhona qhona (*Eurysacca melanocampta* Meyrick), en su estado larval reduce el rendimiento del grano hasta un 40 a 50%. A su vez, Mújica *et al.*, (2001), indican que las aves también ocasionan pérdidas en el rendimiento de grano hasta un 40%, en variedades dulces, mientras León (2003), estima pérdidas entre 30 a 40%, en la cosecha.

El ANVA (Anexo 11), con un coeficiente de variación de 31.6%, explicable a datos extremos, determinó diferencias estadísticas significativas entre variedades y no así entre bloques, lo cual significa que existen diferencias entre medias de rendimiento de grano con raleo de las diez variedades. A su vez, la prueba de Duncan al 5% de significancia (Cuadro 20), diferenció el valor más alto de rendimiento en la variedad Kamiri con 1534.2 kg/ha, y el valor más bajo en la variedad K'ellu con 514.3 kg/ha.

**Cuadro 20. Prueba de Duncan al 5% de significancia para Rendimiento en grano, con efecto de raleo (kg/ha) en 10 variedades de quinua.**

Variedades	Media	Significancia			
Kamiri	1534.2	a			
Huganda	1500.4	a			
Jiwaki	1351.9	a	b		
Chucapaca	1288.5	a	b		
Kurmi	1122.2	a	b	c	
Real blanca	890.0	a	b	c	d
Pandela	870.8	a	b	c	d
Surumi	791.1		b	c	d
Toledo rojo	585.1			c	d
K'ellu	454.3				d

### 6.7.1.2. Rendimiento de grano de plantas sin práctica de raleo [(g/m<sup>2</sup>), (kg/ha)]

El rendimiento de grano, en plantas sin práctica de raleo, registró un promedio de 110.5 g/m<sup>2</sup> (1105 kg), para las diez variedades, alcanzando un máximo de 165.5 g/m<sup>2</sup> (1655 kg/ha), en la variedad Kamiri a partir de 72 plantas/m<sup>2</sup>, y un mínimo de 46.2 g/m<sup>2</sup> (462 kg/ha), obtenido por la variedad Toledo rojo a partir de 40 plantas/m<sup>2</sup> (Figura 36). A su vez, dentro las variedades del Altiplano Norte, Huganda obtuvo el mayor rendimiento con 129.7 g/m<sup>2</sup>, mientras que en variedades del Altiplano Sur, la variedad Real blanca obtuvo un mayor rendimiento con 122.1 g/m<sup>2</sup>.

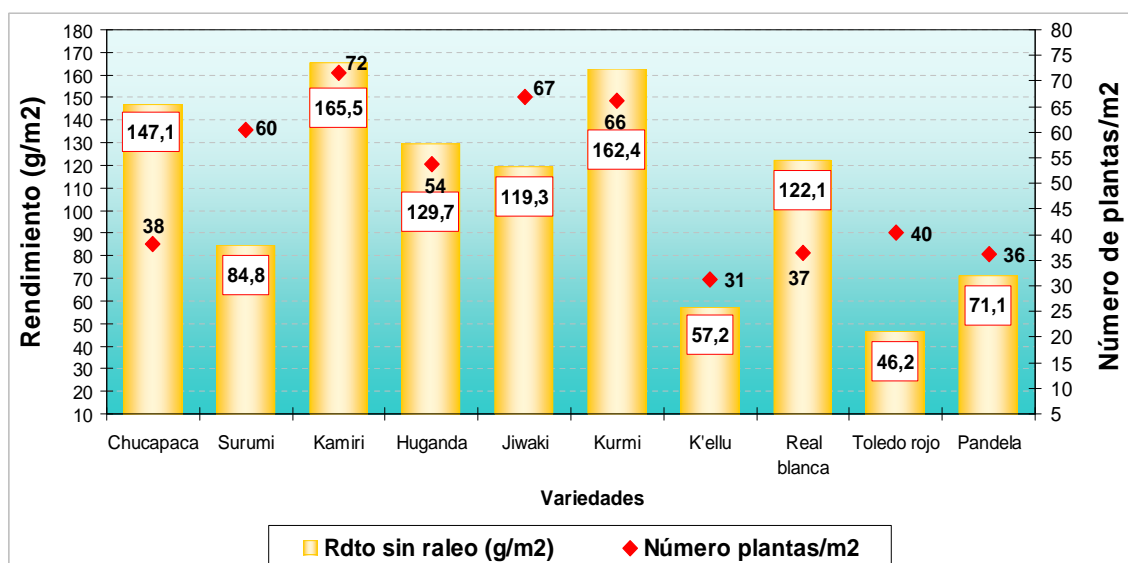


Figura 36. Rendimiento en grano (g/m<sup>2</sup>, kg/ha) para plantas sin práctica de raleo, en diez variedades de quinua.

Los resultados obtenidos, en el presente ensayo, son coincidentes con los registrados por Quisbert (2006) y Melendez (2009), en sentido que las variedades del Altiplano Central (Kamiri) y Norte (Jiwaki), obtuvieron mayores rendimientos respecto a las variedades del Altiplano Sur y el resto de las variedades del Altiplano Norte y Centro. Incluso la variedad Kamiri superó el rendimiento registrado por IBTA/DNS (1996), que fue de 1200 kg/ha. Sin embargo, la variedad Real blanca alcanzó rendimientos registrados por PROINPA (2003) de 1200 gk/ha (ensayo experimental) y de 650 a 800 kg/ha (parcela de agricultor).

Los mayores rendimientos de grano, en plantas sin raleo, pueden llegar a explicarse a la densidad de plantas por superficie, factores medioambientales y genéticos, principalmente. Al respecto, Robles (1991) menciona que el rendimiento de los productos vegetales está condicionado por la interacción del medio ambiente con el genotipo, correspondiente a cada variedad. A su vez, los bajos rendimientos en las variedades del Altiplano Sur podrían atribuirse al mayor ataque de plagas (qhona qhona) y enfermedades (mildiu). Al respecto, Bonifacio s/f, señala que el mildiu provoca reducción del área fotosintética de la planta de quinua, consecuentemente afecta negativamente en el desarrollo de la planta, reduciendo el rendimiento entre el 10 y el 30%.

Otro de los factores, es el carácter precoz de las variedades. Al respecto, Mújica *et al.*, (2001), señala que variedades precoces por lo general rinden menos, entre tanto variedades tardías son las de mayor rendimiento. A su vez, León (2003) menciona que, los rendimientos varían en función a la variedad, fertilidad del suelo, tipo de suelo, manejo del cultivo, factores climáticos, nivel tecnológico, control de plagas y enfermedades, obteniéndose entre 800 a 1400 kg/ha en cultivos tradicionales en condiciones de secano.

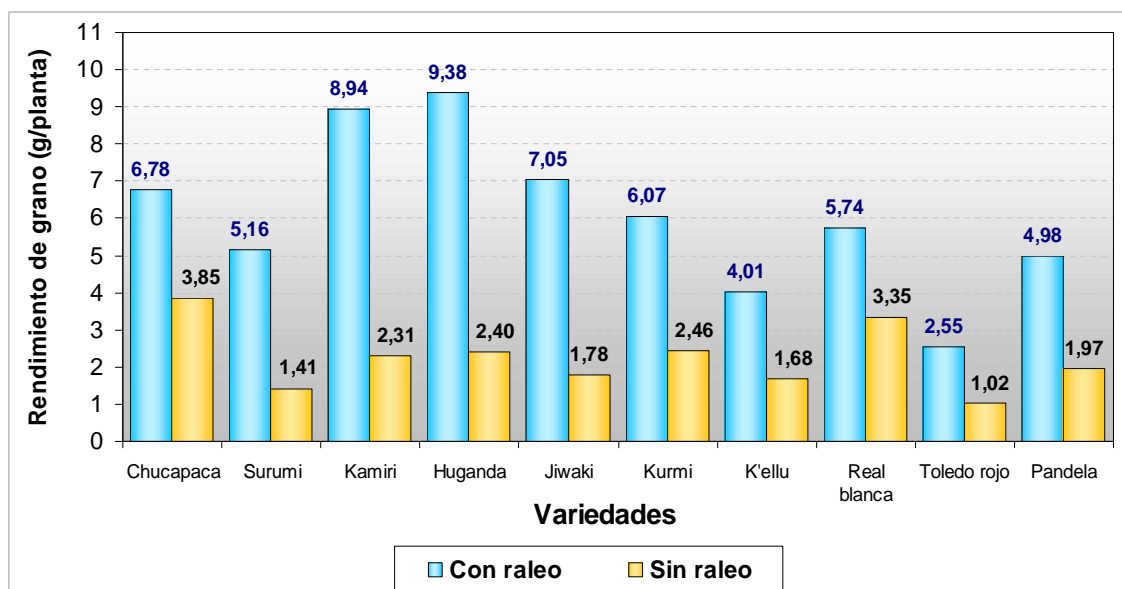
El ANVA (Anexo 12) para rendimiento de grano sin efecto de raleo de plantas determinó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y no significativo entre bloques, lo cual significa que el rendimiento de grano sin raleo, entre cada variedad fue heterogéneo. A su vez, la prueba de Duncan al 5% de significancia (Cuadro 21), destacó a la variedad Kamiri con el mayor rendimiento en grano de 1654.8 kg/ha y un menor rendimiento de 461.9 kg/ha obtenido por la variedad Toledo rojo.

**Cuadro 21. Prueba de Duncan al 5% de significancia, para Rendimiento en grano (kg/ha) sin efecto del raleo, en 10 variedades de quinua.**

Variedades	Media	Significancia				
Kamiri	1654.8	a				
Kurmi	1624.4	a				
Chucapaca	1470.6	a	b			
Huganda	1296.7	a	b	c		
Real blanca	1207.5	a	b	c	d	
Jiwaki	1193.4	a	b	c	d	
Surumi	847.9		b	c	d	e
Pandela	661.1			c	d	e
K'ellu	522.1				d	e
Toledo rojo	411.9					e

### 6.7.2 Rendimiento de grano por unidad de planta (g/planta)

Mediante la Figura 37, se observa que las diez variedades, registraron mayores rendimientos de grano en plantas con práctica de raleo, que en promedio fue de 6.07 g/planta, respecto a las plantas sin raleo, que alcanzaron un promedio de 2.2 g/planta. Asimismo, las plantas con práctica de raleo alcanzaron un rendimiento máximo de 9.38 g/planta, obtenida por la variedad Huganda y un mínimo de 2.55 g/planta, en la variedad Toledo rojo. A su vez, las plantas sin raleo, alcanzaron un rendimiento máximo de 3.85 g/planta, obtenido por la variedad Chucapaca y un mínimo de 1.02 g/planta, obtenido por la variedad Toledo rojo.



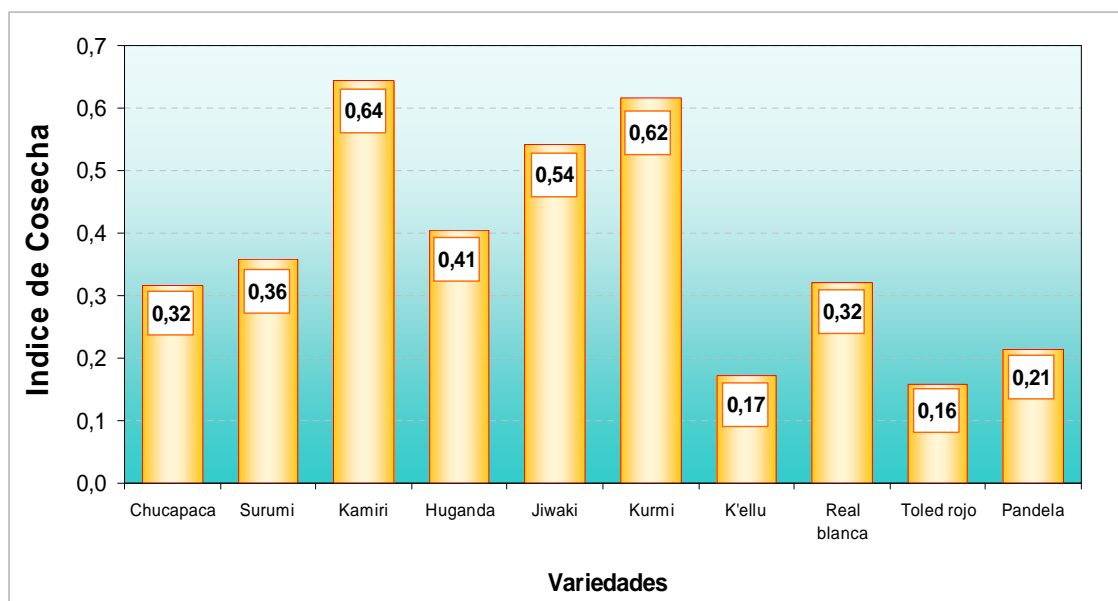
**Figura 37. Efecto del raleo sobre el rendimiento de grano por planta.**

Respecto a la superioridad en rendimiento de grano, de las plantas con práctica de raleo, podría explicarse al mejor desarrollo y crecimiento de las plantas, debido a la poca densidad de plantas por superficie. En cambio, los bajos rendimientos en plantas sin raleo, podría explicarse a la competencia entre plantas, ya sea por nutrientes o energía lumínica, lo cual pudo haber perjudicado en asegurar una mayor productividad.

Robles (1991), señala que existen factores que influyen en la máxima o en la mínima expresión de la producción, sea estimada por unidad de superficie o por planta, por ejemplo, una variedad o híbrido con enanismo, produce rendimientos más bajos por planta que su variedad o híbrido homólogo de altura normal; sin embargo, el rendimiento por hectárea es superior por disponer de mayor número de plantas por hectárea. Por lo cual se explica la variación de rendimientos por área y por planta.

## 6.8 Índice de cosecha (IC)

Según la Figura 38, el mayor índice de cosecha lo obtuvo la variedad Kamiri, con 0.64, en tanto que, el menor índice de cosecha fue de 0.16, alcanzado por la variedad Toledo rojo. Asimismo, entre las variedades del Altiplano Norte, sobresalió la variedad Jiwaki con un índice de cosecha de 0.54, mientras en variedades del Altiplano Sur, sobresalió la variedad Real blanca con un IC de 0.32 y un promedio de 0.22 para las variedades del Sur; 0.47, para las variedades del Norte y 0.48 para las variedades del Altiplano Centro.



**Figura 38. Índice de Cosecha, para diez variedades de quinua.**

Respecto a lo señalado por Robles (1991), que a mayor valor del índice de cosecha mejor productividad, ciertamente se ve reflejado en las variedades Kamiri, Kurmi y Huganda, que alcanzaron mayores IC, también obtuvieron mayores rendimientos.

En estudios similares, Gutiérrez (2003), Rodríguez (2005) y Quisbert (2006), reportaron índices de cosecha que oscilaron entre 0.27 a 0.40, en el Altiplano Centro. Asimismo, Apaza (2005) y Palma (2007), en ensayos realizados en el altiplano Norte, reportaron índices de cosecha entre 0.22 a 0.39 y 0.27 a 0.41, respectivamente. Sin embargo, dichos resultados no sobrepasaron los máximos valores de IC obtenidos en el presente ensayo (0.64 en Kurmi y 0.62 en Kamiri), podría atribuirse a la tolerancia de ambas variedades a factores climáticos adversos, y alta resistencia al mildiu, en el caso de la variedad Kurmi, como lo aseveran Bonifacio y Vargas (2005) y IBTA / DNS (1996).

La variación en el índice de cosecha podría atribuirse al peso de grano por planta, así por ejemplo, la variedad Kamiri con un mayor peso de grano (4.4 g/planta) obtuvo un IC de 0.64, mientras variedades con un menor peso (1.5 g/planta), ejemplo la variedad Toledo, presentó un IC de 0.16. Asimismo, los factores climáticos, ataque de plagas (qhona qhona), y susceptibilidad al mildiu, principalmente en variedades del altiplano del Sur, contribuyeron en la variación del índice de cosecha. Al respecto, Espíndola (1994), menciona que las heladas, sequías y enfermedades como el mildiu, afectan directamente al índice de cosecha, cuyo efecto es la baja producción.

Según Cárcova *et al.*, (2004), el IC varía con el genotipo, el ambiente y la interacción genotipo x ambiente. También señalan que para establecer comparaciones válidas del IC, entre especies y entre genotipos, debería tomarse en cuenta los siguientes aspectos: primero, en bibliografías no se consideran las hojas que caen al suelo, ni las raíces, que también constituyen la biomasa, por lo que se estaría sobreestimando el IC. Segundo, la variación del contenido de carbohidratos, aceite y proteína, entre especies y entre genotipos de una misma especies.

## 6.9 Componentes de rendimiento

### 6.9.1 Peso de 1000 semillas

De acuerdo a la Figura 39, el máximo peso de mil semillas fue de 4.49 g, obtenido por la variedad Real blanca, lo cual podría atribuirse al mayor tamaño de granos (2.5 mm), mayor peso de granos por panoja (2.62 g a 3.42 g), entre tanto, la variedad Chucapaca alcanzó el menor peso de mil semillas con 3.28 g, atribuible al menor tamaño de los granos. Al respecto, Whali, citado por Riquelme (1998), asevera que el grano de quinua esta relacionado con el tamaño y peso de la semilla. Asimismo, Rodríguez (2005), reportó mayores pesos en granos de tamaño grande (de 1.35 a 1.75 mm) con un rango de 3.79 a 3.96 g para mil semillas.

En otros ensayos, Gutiérrez (2003) y Palma (2007), registraron máximos pesos, de mil semillas, en la variedad Surumi, con 2,47 y 4.39 g, respectivamente. Entre tanto, Meléndez (2009) registró un peso máximo de 4.32 g en la variedad Real blanca. En todos los casos, existe coincidencia con el presente ensayo, en sentido que las variedades Surumi y Real blanca presentan los mayores pesos de mil granos.

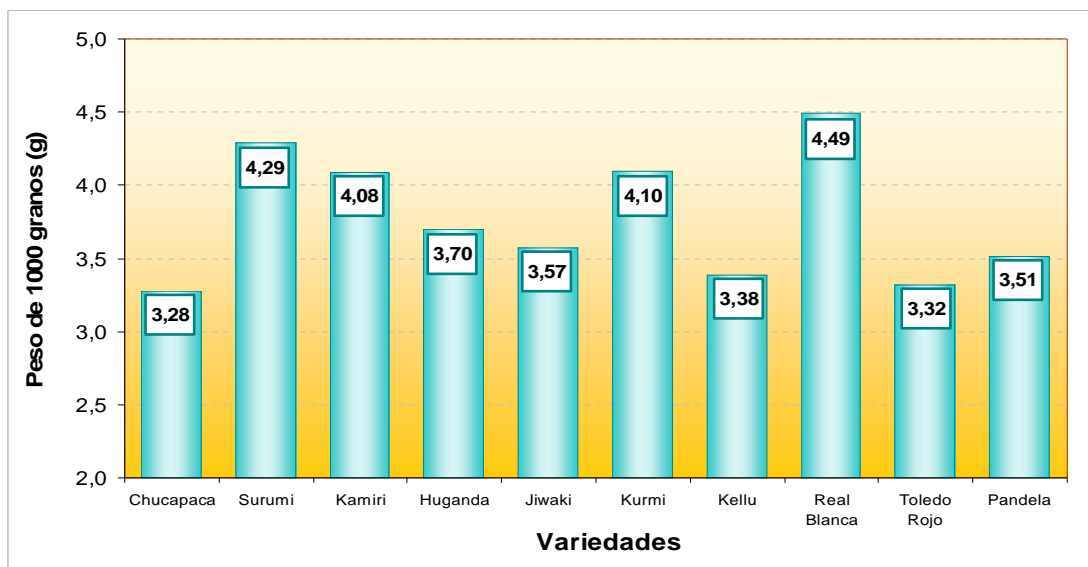


Figura 39. Peso de 1000 semillas (mg) de 10 variedades de quinua.

### 6.9.1.1 Comparación de promedios

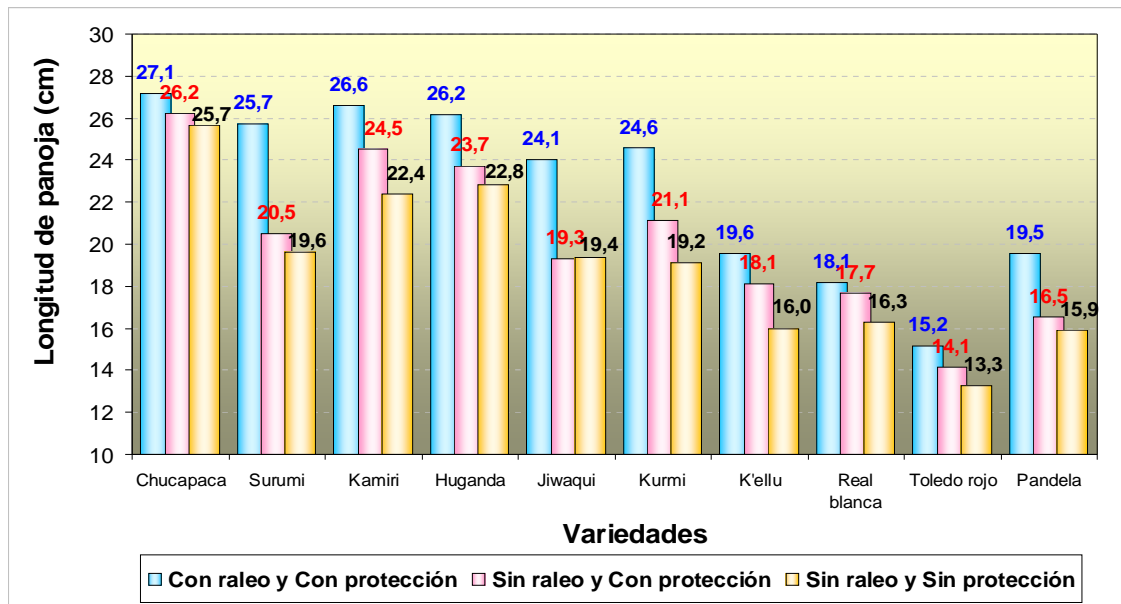
El análisis de varianza (Anexo13), con un coeficiente de variación de 8.2 %, determinó diferencias estadísticas significativas entre variedades y no significativo entre bloques, lo cual significa que el peso de 1000 semillas presento heterogeneidad entre cada variedad y que la disposición de los bloques no tuvo su efecto respecto a la pendiente. De acuerdo a la prueba de Duncan al 5% de significancia (Cuadro 22), la variedad Real blanca alcanzó el mayor promedio de peso con 4492.2 mg y la variedad Chucapaca el menor promedio en peso con 3279.8 mg.

**Cuadro 22. Prueba de Duncan al 5% para peso de 1000 semillas (mg) en 10 variedades de de quinua.**

<b>Variedades</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>		
Real blanca	4492.2	a		
Surumi	4290.0	a		
Kurmi	4096.1	a	b	
Kamiri	4084.0	a	b	
Huganda	3701.6		b	c
Jiwaki	3571.2			c
Pandela	3514.1			c
K'ellu	3383.0			c
Toledo rojo	3321.3			c
Chucapaca	3279.8			c

### 6.9.2 Longitud de panoja (cm)

En la Figura 40, se observa una ligera superioridad de longitud de panoja en plantas con efecto de raleo y protección de panojas, con un promedio de 22.67 cm, para las 10 variedades, una máxima longitud de 27.15 cm, obtenido por la variedad Chucapaca y una mínima de 15.2 cm en la variedad Toledo rojo. Les siguieron las plantas con protección de panojas y sin de raleo, obteniendo una longitud de panoja promedio de 20.19 cm, para las diez variedades, una máxima de 26.24 cm, obtenido por la variedad Chucapaca y una mínima de 14.15 cm en la variedad Toledo Rojo. Mientras que, las plantas sin raleo y sin protección de panojas, fueron las de menor longitud de panoja, con un promedio de 19.05 cm, para diez variedades, un máximo de 25.68 cm obtenido por la variedad Chucapaca y un mínimo de 13.29 cm en la variedad Toledo rojo.



**Figura 40. Longitud de panoja (cm), con efecto de raleo y protección de panojas, evaluada a la cosecha, en 10 variedades de quinua.**

La superioridad de la variedad Chucapaca, podría explicarse al mejor desarrollo y crecimiento, expresándose en un mayor promedio de altura de planta (97.5 cm), mayor diámetro de tallo (12.64 cm), consecuentemente un mejor desarrollo de panoja. Entre tanto, la menor longitud de panoja en la variedad Toledo rojo, también podría explicarse a un menor crecimiento y desarrollo de esta variedad, quien presentó la menor altura de planta (62.3 cm) y menor diámetro de tallo (9.67 cm), entre otros factores como mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades, cambio de hábitat, entre otros.

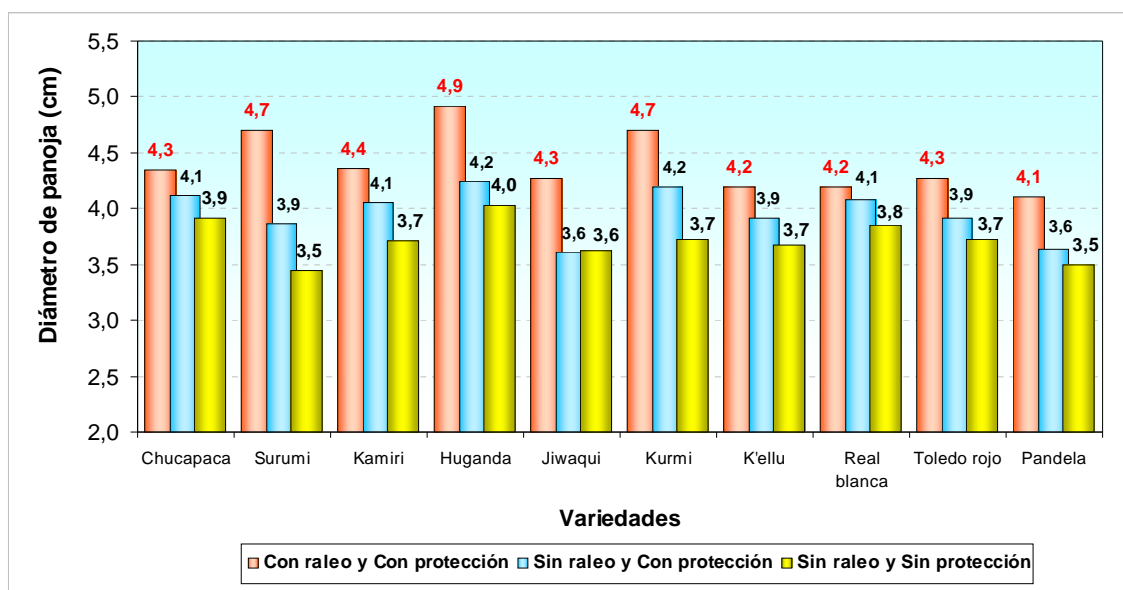
Según Mújica *et al.*, (2004), la panoja de la quinua alcanza una longitud de 30 a 80 cm, rangos que no fueron obtenidos en el presente ensayo. Sin embargo, fueron superiores a los reportados en otros ensayos, así por ejemplo Palma (2007), reportó longitudes máximas de 24.9 cm y 24.7 en las variedades Belén 2000 y Jiwaki, respectivamente; Quisbert (2006), registró una longitud máxima de 16.79 cm en la variedad Jiwaqui; en tanto, Veizaga (2006), registró un promedio de 22.3 cm para las condiciones de E.E. de Choquenaira, cuyo resultado se acerca más al obtenido en el presente ensayo. A su vez, Meléndez (2009), registró longitudes máximas de 16.56 y 16.52 cm en las variedades Kamiri y Surumi, respectivamente.

Respecto al parámetro, Palma (2007), efectuando una correlación entre la altura de planta y longitud de panoja, encontró correlaciones altamente positivas con coeficientes de determinación de 0.86 para variedades del Altiplano Central (Chucapaca, Surumi y Kamiri) y 0.80 para variedades del Norte (Huganda, Jiwaki y Belén 2000).

### **6.9.3 Diámetro de panoja (cm)**

En la Figura 41, se observa que plantas con práctica de raleo y protección de panojas, obtuvieron mayores diámetros de panoja, con un promedio de 4.41 cm para las 10 variedades, un máximo diámetro de 4.92 cm obtenido por la variedad Huganda, y un mínimo de 4.11 cm en la variedad Pandela. Las plantas sin práctica de raleo y con protección de panojas, alcanzaron un promedio igual a 3.96 cm, con un máximo de 4.25 cm en la variedad Huganda, y un mínimo de 3.61 cm en la variedad Jiwaki. Finalmente, las plantas sin raleo y sin protección de panoja, obtuvieron los menores diámetros de panoja, con un promedio de 3.72 cm, un máximo de 4.03 cm en la variedad Huganda y un mínimo de 3.45 cm en la variedad Surumi.

Las variedades que respondieron mejor al efecto del raleo y protección de panojas, incrementando la longitud y diámetro de panoja, además de mayor altura de planta, fueron: Chucapaca, Surumi, Kamiri, Huganda, Jiwaki, Kurmi y Pandela, mientras que el efecto del raleo y protección de panojas fue menor en el resto de las variedades. Al respecto, Kruk y Satorre (2004), señalan que la competencia (proceso a través del cual las plantas comparten recursos en forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada) causa reducción en el crecimiento y rendimiento de las plantas individuales del cultivo o de su fecundidad.

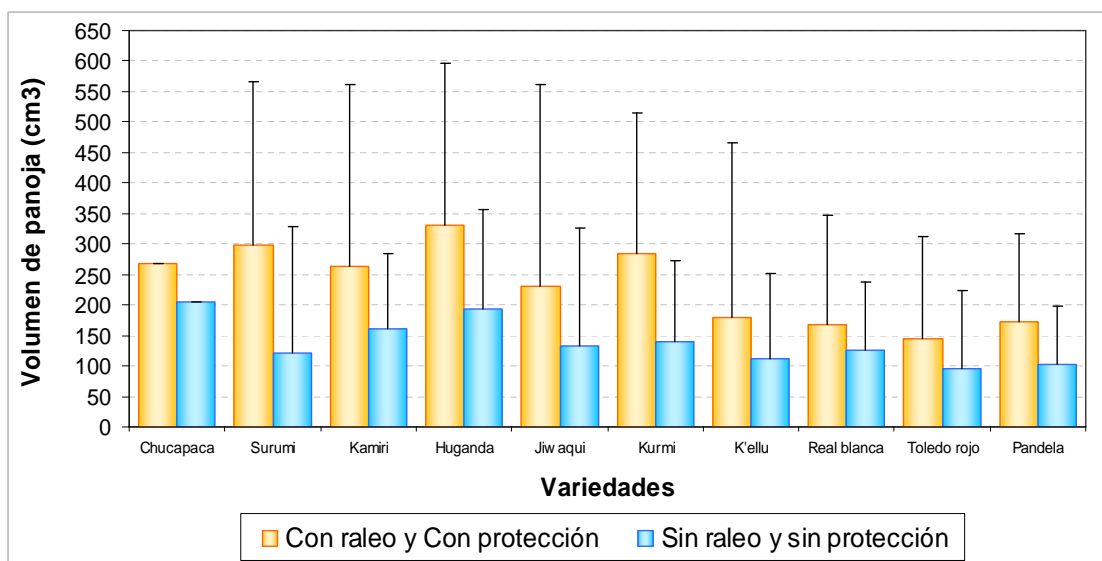


**Figura 41. Diámetro de panoja (cm), con efecto de raleo y protección de panojas, a la cosecha, en diez variedades de quinua.**

#### 6.9.4 Volumen de panoja (cm<sup>3</sup>)

A través de la Figura 42, se observa que el efecto del raleo y protección de panojas manifestó un incremento en el volumen de panoja, para todas las variedades, alcanzando un promedio de 234 cm<sup>3</sup>, donde sobresalió la variedad Huganda con el máximo volumen de 332 cm<sup>3</sup>. En tanto que, en plantas sin práctica de raleo y sin protección de panojas, el máximo volumen fue de 206 cm<sup>3</sup>, obtenido por la variedad Chucapaca, mientras el menor volumen lo registró la variedad Toledo rojo con 97 cm<sup>3</sup>, con un promedio para las diez variedades de 193 cm<sup>3</sup>.

Entre las variedades del Altiplano Central, las variedades Surumi, Kamiri y Kurmi, alcanzaron los mayores incrementos en volumen de panoja, con práctica de raleo y protección de panoja, que osciló entre 176 a 103 cm<sup>3</sup>. Las variedades Huganda y Jiwaki, del Altiplano Norte, registraron incrementos de 138 y 97 cm<sup>3</sup> respecto a las plantas sin raleo y sin protección. Finalmente, en variedades del Altiplano Sur, el raleo y protección de panojas influyó positivamente en el aumento de volumen de panoja, que fluctuó entre 71 a 41 cm<sup>3</sup> (Figura 42).



**Figura 42. Volumen de panoja (cm<sup>3</sup>), con efecto de raleo y protección de panojas, a la cosecha en diez variedades de quinua.**

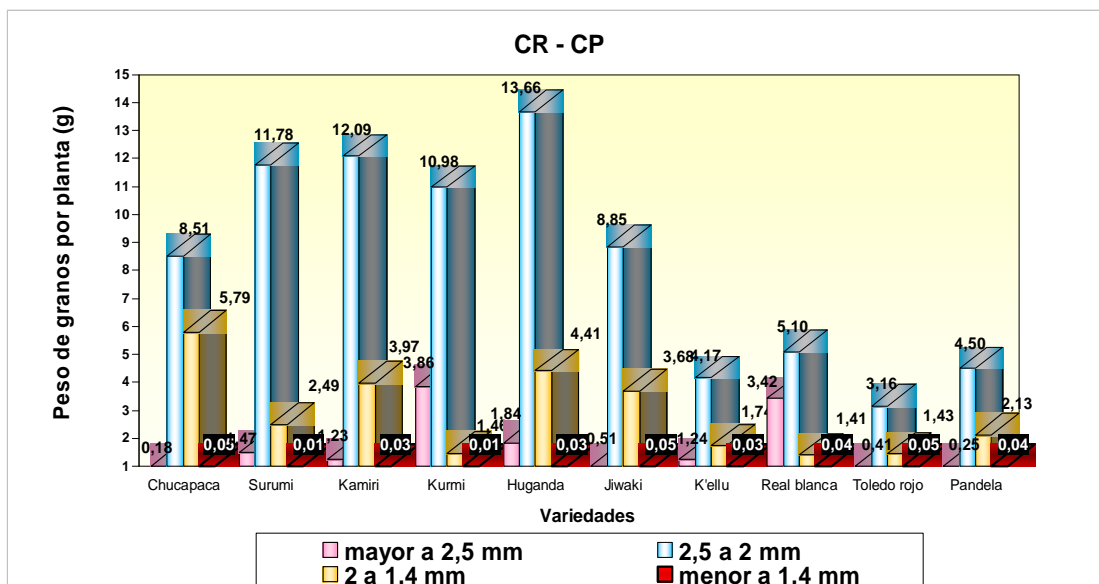
### 6.9.5 Peso de grano según diámetro (g/planta)

Una de las características preponderantes de la quinua es el tamaño de los granos, por lo cual, se realizó la evaluación del peso según tamaño de los granos en un planta promedio, los cuales se clasificaron en cuatro clases diametrales: mayor a 2.5 mm, entre a 2 mm a 2.5 mm, entre 1.4 mm a 2 mm y menor a 1.4 mm.

#### 6.9.5.1 Peso de granos, según diámetro, en plantas con práctica de raleo y con protección de panojas.

En plantas con práctica de raleo y protección de panojas, los granos de 2.5 a 2.0 mm de diámetro fueron de mayor predominancia, alcanzando un peso promedio de 8.28 g, para las diez variedades, representando a su vez el 64.3% del peso total de los granos, le siguieron los granos de diámetro entre 2.0 a 1.4 mm con 2.85 g (23.5%), posteriormente los granos de diámetro mayor a 2.5 mm con 1.44g (11.8%) y por último granos de diámetro menor a 1.4 mm que representó el 0.4 % con un peso de 0.03g.

Asimismo, la Figura 43 muestra que la variedad Huganda alcanzó el mayor peso en granos de 2.5 a 2.0 mm de diámetro, con 19.9 g, representando el 68.5% del peso total. En cambio, la variedad Toledo rojo registró el menor peso de grano con 5.05 g, representando el 62.6 % del peso total de los granos de una planta promedio.



**Figura 43. Peso de granos según el tamaño de los granos de una planta promedio, con prácticas de raleo y protección de panojas, en 10 variedades de quinua.**

Entre tanto, la mayor cantidad de granos de 2.5 mm de diámetro lo obtuvieron las variedades Real blanca y Kurmi, que alcanzaron un peso de grano de 3.42 g y 3.86 g, respectivamente. Al respecto, Borja y Soraide (2007), señalan que las quinuas que se cultivan en el Altiplano Sur de Bolivia se caracterizan por tener el grano de tamaño grande que varía de 2.3 a 2.6 mm de diámetro. Asimismo, Bonifacio y Vargas (2005), caracterizan a la variedad Kurmi como variedad de grano grande, de 2.5 mm de diámetro, y señalan que el 83% es grano de primera clase.

A su vez, Reigosa *et al.*, (2003), indican que semillas de tamaño pequeño abundan en la planta madre con respecto a las de tamaño grande, lo cual puede llegar a explicar la poca obtención de granos de mayor tamaño (> 2.5 mm). Sin embargo, las diez variedades presentaron mayor cantidad de granos de 2.0 mm de diámetro.

### 6.9.5.2 Peso de granos, según diámetro de granos, en plantas sin práctica de raleo y con protección de panojas.

En promedio, para las 10 variedades de quinua, con protección de panojas y ausencia de raleo de plantas, el 62.2% del peso de granos de una planta (5.49 g), se acumuló en granos de 2.0 a 2.5 mm de diámetro, el 26.1% (2.24 g) en granos de 1.4 a 2.0 mm, el 11.1% (0.98 g) en granos mayores a 2.5 mm, y el 0.7% (0.05g) en granos menores a 1.0 mm de diámetro.

Asimismo, en la Figura 44, se observa que variedades del Sur, registraron menor peso de granos, sin embargo, la variedad Real blanca sobresalió registrando un peso total de 8.49 g/planta, de los cuales los granos de 2.0 a 2.5 mm de diámetro presentaron el mayor porcentaje con 44.8% (4.48 g). En tanto que, en variedades del Altiplano Central se destacó la variedad Kurmi, al obtener un peso total de 12.37 g/planta, donde el mayor porcentaje también se distribuyó en granos de 2 a 2.5 mm de diámetro, representando el 68.4% (8.46 g) del peso total. Finalmente, entre las variedades del Altiplano Norte, Huganda sobresalió al obtener un peso total de 9.95 g/planta, de los cuales el 65.7% (6.54 g), perteneció a los granos de 2 a 2.5 mm de diámetro.

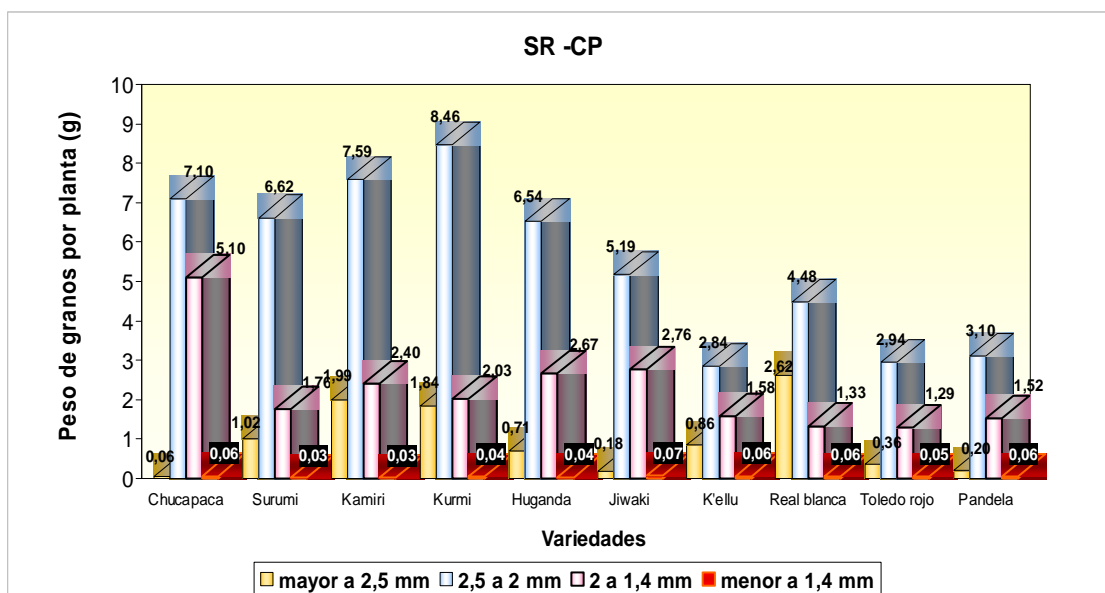


Figura 44. Peso de grano, según el diámetro de los granos, de una planta media, sin práctica de raleo y con protección de panojas, en 10 variedades de quinua.

### 6.9.5.3 Peso de granos, según diámetro, en plantas sin práctica de raleo y sin protección de panojas.

En promedio, para las 10 variedades de quinua, el 62.6% del peso de granos de una planta (3.86 g), se acumuló en granos de 2.0 a 2.5 mm de diámetro, mientras el 27.9% (1.70 g) en granos de 1.4 a 2.0 mm, el 9.0% (0.51 g) en granos mayores a 2.5 mm, y finalmente el 0.5% (0.03g) en granos menores a 1.0 mm de diámetro.

Asimismo, la Figura 45, muestra que las variedades del Sur registraron en promedio un menor peso en grano (4.32 g/planta), sobresaliendo la variedad Real blanca con un peso total de granos de 5.64 g/planta, de los cuales 1.90 g, es decir el 54.3% del peso total, representó granos de 2.0 a 2.5 mm de diámetro. En tanto que, en variedades del Altiplano Central se destacó la variedad Kamiri con un peso total de granos de 9.18 g/planta, donde 6.01 g (65.4% del peso total), se distribuyó en granos de 2 a 2.5 mm de diámetro. Entre las variedades del Altiplano Norte, Huganda obtuvo el máximo peso de granos con 9.95 g/planta, de los cuales 4.10 g (70.1% del peso total), representaron granos de 2 a 2.5 mm de diámetro.

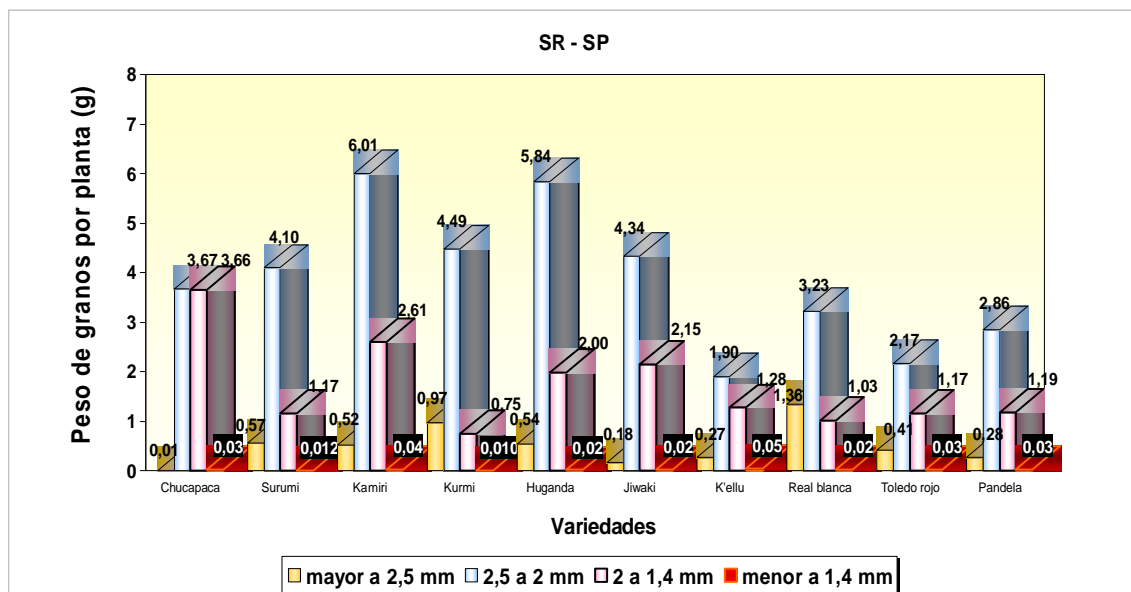


Figura 45. Peso de grano según el tamaño de los granos, sin práctica de raleo y Sin protección de panoja, de una planta media en 10 variedades de quinua.

### 6.9.6 Número de granos por planta

A través de la Figura 46, se evidencia la superioridad en número de granos, en plantas con práctica de raleo y con protección de panojas, alcanzando un número promedio de 3321 granos, sobresaliendo la variedad Huganda, con el mayor número de 5387 granos. Asimismo, el número promedio de granos por planta, para variedades del Altiplano Centro fue de 4527, sobresaliendo la variedad mencionada con anterioridad. En variedades del Altiplano Centro el número promedio fue de 4082 granos, con un máximo número de 4431, obtenida por la variedad Chucapaca. Finalmente, en variedades del Altiplano Sur el número promedio de granos fue de 2740, con un máximo de 2222, obtenido por la variedad Real blanca.

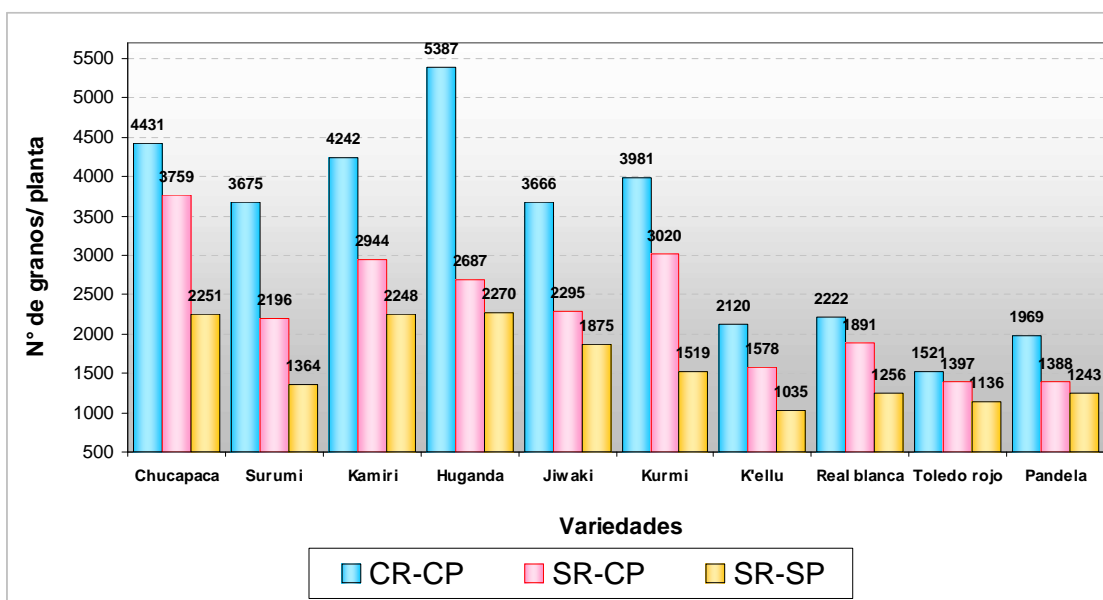


Figura 46. Número de granos por planta, en diez variedades de quinua.

A su vez, en plantas sin ralo y con protección de panoja obtuvo un máximo número de granos por planta de 3759 en la variedad Chucapaca, un mínimo de 2196, en la variedad Surumi, con un promedio de 2980 granos por planta para variedades del Altiplano Centro. Mientras en variedades del Altiplano Norte, se logró un máximo de 2687 granos en la variedad Huganda, un mínimo de 2295 en la variedad Jiwaki, con un promedio de 2491 granos por planta. Finalmente, en variedades del Sur el máximo número de granos por planta fue a 1891 en la variedad Real Blanca y el mínimo de 1388 en la variedad Pandela, con un promedio de 1954 granos por planta (Figura 46).

En tanto que, en plantas sin raleo y sin protección de panoja la máxima cantidad de granos fue de 2270 obtenido en la variedad Huganda, un mínimo de 1875 en la variedad Jiwaki, con un promedio de 2073 granos por planta para variedades del Altiplano Norte. Mientras, en variedades del Altiplano Centro el máximo número de granos por planta fue de 2251 logrado por la variedad Chucapaca y un mínimo de 1364 granos para la variedad Surumi, con un promedio de 1846 granos. Finalmente, en variedades del Altiplano Sur el número de granos por planta promedio fue de 1431 granos con un máximo de 1256 obtenido por la variedad Real blanca y un mínimo de 1035 en la variedad K'ellu (Figura 46).

Al respecto, Slafer *et al.*, (2004), en estudios de granos de cereales (trigo), demostraron que existe un periodo crítico para la definición del número de granos, que sucede en el lapso desde 20 días pre-floración y 10 post-floración. Este periodo coincide con el crecimiento activo de las espigas y los tallos hasta el cuaje de los granos. Asimismo, los mismos autores mencionan que el peso final del grano está determinado por la tasa de acumulación de materia seca y la duración del periodo de llenado. También señalan que el peso final dependerá de la potencialidad genética de cada cultivar y de las condiciones ambientales durante el periodo de llenado.

#### **6.9.6.1 Efecto de la protección de las panojas sobre el peso de los granos por panoja (%)**

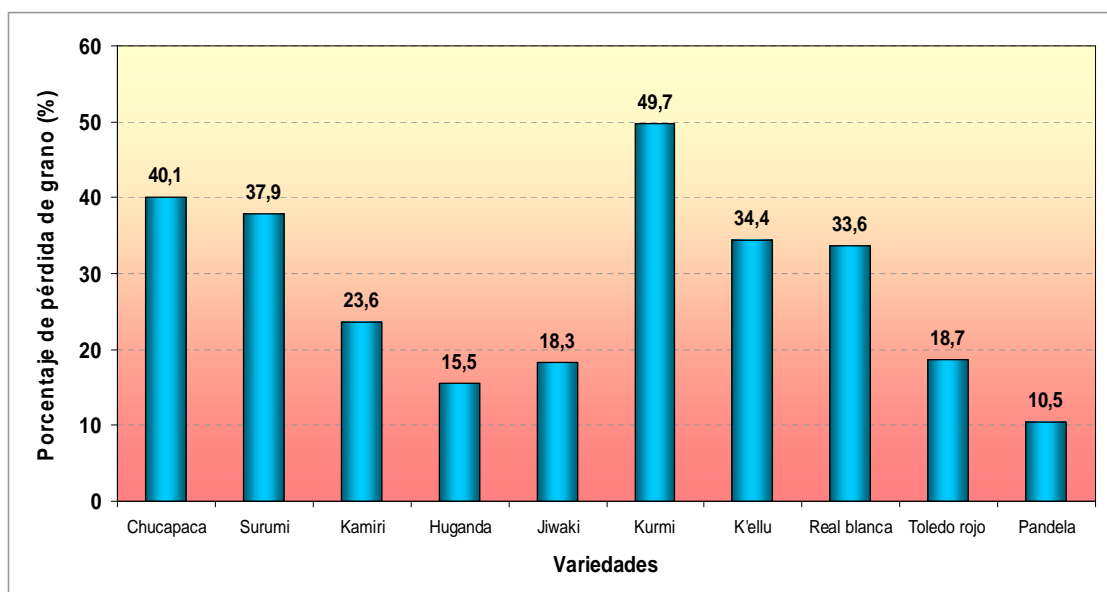
A través de la Figura 47, se observa que las plantas con protección de panoja alcanzaron mayor peso de granos, con un promedio de 8.8 g/planta, para las 10 variedades, un máximo de 12.4 g para la variedad Kurmi y un mínimo de 4.6 g obtenido por la variedad Toledo rojo. Asimismo, la mayor pérdida de grano se presentó en plantas sin protección de panojas, donde Kurmi fue la variedad con mayor pérdida de grano, con un 49.7%, en tanto la variedad Pandela alcanzó la menor pérdida con un 10.5%.

**Cuadro 23. Peso seco de granos por panoja (g), en plantas con práctica de protección de panoja y sin protección de panojas, en 10 variedades de quinua.**

Días	Chucapaca	Surumi	Kamiri	Huganda	Jiwaki	Kurmi	K'ellu	Real blanca	Toledo rojo	Pandela
CPP	12,3	9,4	12,0	9,9	8,2	12,4	5,3	8,5	4,6	4,9
SPP	7,4	5,9	9,2	8,4	6,7	6,2	3,5	5,6	3,8	4,4

CPP = Con protección de panojas

SPP = Sin protección de panojas



**Figura 47. Porcentaje de pérdida de granos por panoja, en diez variedades de quinua.**

El mayor porcentaje de pérdida de granos, en las variedades Kurmi, Chucapaca y Surumi, puede llegar a explicarse al carácter dulce de los granos, las cuales presentaron mayor ataque de pájaros. En tanto, variedades amargas como la Pandela presentaron menor porcentaje de pérdida de granos, pues no fueron muy afectados por los pájaros, por ser menos apetecibles.

### 6.10. Componentes de rendimiento correlacionadas con el rendimiento en grano

El análisis de varianza, con un coeficiente de variación igual a 18.03%, indica diferencias estadísticamente significativas entre variables de rendimiento con el rendimiento en grano. Asimismo, el coeficiente de determinación igual a 0.935 expresa que las variables de rendimiento afectaron con el 93.5% de la variación en el rendimiento en grano, en tanto el 6.5% son efectos de factores desconocidos.

**Cuadro 24. Coeficientes de correlación múltiple de componentes de rendimiento.**

		Rendimiento en grano (kg/ha)		Peso 1000 granos (g)		Longitud de panoja (cm)		Diámetro de panoja (cm)		Peso seco de granos de la planta (g)		Numero de granos por panoja		Índice de Cosecha	
		A	B	C	D	E	F	G							
Rendimiento en grano (kg/ha)	A	1,000													
Peso 1000 granos (g)	B	0,412	ns	1,000											
Longitud de panoja (cm)	C	0,758	*	0,024	ns	1,000									
Diámetro de panoja (cm)	D	0,448	ns	-0,098	ns	0,449	ns	1,000							
Peso seco de granos/planta (g)	E	0,857	**	0,289	ns	0,859	**	0,464	ns	1,000					
Numero de granos por panoja	F	0,761	*	-0,050	ns	0,911	**	0,541	ns	0,938	**	1,000			
Índice de Cosecha	G	0,848	**	0,473	ns	0,533	ns	0,090	ns	0,764	*	0,610	ns	1,000	

\* Significativo al 5%  
 \*\* Altamente significativo al 1%  
 ns No significativo

Asimismo, a través de los coeficientes de correlación múltiple, al 5% (0.05) de probabilidad, se observa que el rendimiento en grano esta correlacionada positivamente, con alta significancia (\*\*), con el índice de cosecha y el peso seco de granos por planta. Otras variables de rendimiento, que presentan una correlación estadísticamente significativa (\*) con el rendimiento en grano son: longitud de panoja y número de granos por panoja, en cambio, el peso de 1000 granos y diámetro de panoja no presentaron correlación positiva con el rendimiento en grano (Cuadro 24).

## 7. CONCLUSIONES

- Las variedades Chucapaca, Surumi, Kurmi, del Altiplano Centro, y Huganda, del Altiplano Norte, expresaron un mejor desarrollo y crecimiento, alcanzando en promedio mayor altura de planta (91.1 cm), mayor diámetro de tallo (11.0 mm), y mayor número de hojas por planta (14 a 16).
- A su vez, las variedades Kamiri, Jiwaki y Huganda, obtuvieron los mayores porcentajes de emergencia (44.8% promedio) y mayor densidad de plantas, alcanzando un promedio de 45 plantas/metro lineal (90 plantas/m<sup>2</sup>).
- La mayor producción de biomasa seca aérea por unidad de superficie se registró en la fase de grano lechoso, a los 120 DDS, destacándose la variedad Surumi con una producción de biomasa de 520 g/m<sup>2</sup>.
- La acumulación de la materia seca en los diferentes órganos aéreos de la planta es variable a medida que se desarrolla la planta, concentrándose en mayor proporción en las hojas a los 60 DDS, en los tallos a los 90 DDS, y en las panojas a los 120 DDS.
- El mayor incremento en peso de material vegetal por unidad de tiempo (TCA) se registró entre los 90 a 120 DDS, en fase de floración y grano lechoso, sobresaliendo las variedades Kurmi, Pandela y Kamiri.
- El mayor área foliar se registró en hojas inferiores de rango 12, con un área de hoja promedio de 22.7 cm<sup>2</sup>/hoja de las variedades, a excepción de las variedades Chucapaca y Kamiri, que obtuvieron las máximas superficies foliares en hojas de rango 16. A su vez, los máximos promedios de espesor de hoja (AFE), para las diez variedades se registraron en hojas de rangos 12 y 16.
- Asimismo, los máximos índices de área foliar (IAF) acontecieron entre los 90 y 120 DDS en fase floración y grano lechoso, destacándose la variedades del Altiplano Norte (Huganda) y Altiplano centro (Surumi, Chucapaca y Surumi) con los mayores IAF.

- Respecto a la madurez fisiológica: las variedades del Altiplano Sur alcanzaron una madurez temprana, adquiriendo un comportamiento precoz a semiprecoz, mientras las variedades del Altiplano Centro y Norte adquirieron un comportamiento tardío a semitardío.
- A lo largo de la maduración de granos, las variedades del Altiplano Sur fueron las primeras en estabilizar su peso entre 136 a 150 DDS, sobresaliendo Real blanca con un peso máximo de 5.29 mg de grano seco. Entre tanto, las variedades del Altiplano Norte y Centro alcanzaron sus pesos máximos entre los 156 a 173 DDS, destacando las variedades Surumi y Kurmi, con 4.15 y 4.14 mg respectivamente. A su vez, el mayor contenido de humedad del grano se registró a inicios de la maduración de granos (fase de grano lechoso).
- El raleo de plantas tuvo su efecto positivo sobre el rendimiento en grano por unidad de planta y no así por unidad de superficie. Asimismo, el máximo rendimiento de grano lo obtuvo la variedad Kamiri con 1655 kg/ha, sin efecto del raleo. A su vez, la variedad Huganda alcanzó el mayor rendimiento por unidad de planta con 9.38 g/planta con práctica de raleo.
- Las variedades del Altiplano Centro y Norte obtuvieron los mayores rendimientos de grano, excepto Surumi, con un promedio de 1359 kg/ha, en plantas con raleo y 1448 kg/ha, en plantas sin raleo. En tanto que, las variedades del Altiplano Sur alcanzaron rendimientos de 665 kg/ha, en promedio, en plantas con raleo y 717 kg/ha, en plantas sin raleo.
- Las variedades Kamiri y Kurmi, del Altiplano Centro, registraron mayores índices de cosecha, con 0.64 y 0.62 respectivamente. A su vez, las variedades del Altiplano Sur, obtuvieron menor productividad.
- La práctica de raleo de plantas y protección de panoja tuvo un efecto positivo en el peso de granos de las 10 variedades de quinua. Sin embargo, las variedades Kurmi, Surumi y Chucapaca, presentaron mayor porcentaje de pérdida de peso por panoja.

- Respecto a los componentes de rendimiento: el máximo peso de mil semillas fue de 4.49 g, obtenido por la variedad Real blanca, mientras el máximo volumen de panoja lo obtuvo la variedad Huganda con 332 cm<sup>3</sup>, esto con prácticas de raleo de plantas y con protección de panojas. Finalmente el mayor número de granos se obtuvieron en plantas con protección de panoja, en las diez variedades de quinua.
- Las variables que mejor expresaron el rendimiento fueron el índice de cosecha, el peso seco de granos por planta, longitud de panoja y número de granos por panoja, mientras que las variables peso de 1000 semillas y diámetro de panoja no presentaron ninguna asociación positiva con el rendimiento.
- Al evaluar el tamaño de granos a la cosecha, se concluye que los granos de 2.0 a 2.5 mm de diámetro fueron los de mayor predominancia por panoja alcanzando el 64.3% del peso total de los granos, le siguieron los granos de diámetro entre 2.0 a 1.4 mm con 23.5%, posteriormente los granos de diámetro mayor a 2.5 mm con 11.8% y por último granos de diámetro menor a 1.4 mm que representó el 0.4 %.
- Luego de tres años de investigación de la red quinua (IRD), desde el 2003 al 2006, donde se evaluó el comportamiento agronómico de 10 variedades de quinua en la zona de Choquenaira, el cual finaliza con el presente trabajo de investigación, se llega a concluir que las variedades Toledo rojo y K'ellu (variedades del Altiplano Sur) adquirieron un comportamiento precoz en condiciones del Altiplano Central, presentando bajos rendimientos, a excepción de la variedad Real blanca y Pandela, que lograron adaptarse a condiciones medio ambientales de la zona de Choqueanira, por lo que su introducción es aconsejable.

## 8. RECOMENDACIONES

- Debido a la creciente demanda de la quinua real, en el mercado local e internacional, por la calidad de grano, se recomienda seguir realizando trabajos de investigación con variedades de quinua real en el Altiplano Norte y Centro de Bolivia.
- Realizar trabajos de investigación referentes a la fisiología del cultivo de quinua y de la semilla, pues este es un recurso importante y básico para realizar otras investigaciones.
- Se recomienda realizar un estudio más detallado de la maduración de granos, por lo que esta variable posibilita determinar el momento óptimo de cosecha, para así poder reducir pérdidas de grano ya sea por desgrane, germinación en panoja, entre otros, que comprometen el rendimiento.
- Realizar el muestreo de granos, para la evaluación de la maduración de granos, en un tiempo menor a 7 días para obtener resultados más precisos del seguimiento del peso seco del grano.
- Se recomienda realizar la protección de panojas en variedades dulces, ya que expresaron mayores porcentajes de pérdida de grano y no así en variedades amargas, debido a que fueron indiferentes, pues tanto con protección de panojas y sin protección, los rendimientos fueron similares.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda emplear las variedades Kurmi, Surumi, Chucapaca, Huganda y Kamiri, para siembras posteriores en zonas similares al del ensayo, debido a que presentaron un buen desarrollo y crecimiento, como también obtuvieron un buen rendimiento de grano.
- Tomar en cuenta los componentes del rendimiento, los cuales nos ayudan a realizar un manejo adecuado y operaciones oportunas para lograr un mayor rendimiento.

## 9. LITERATURA CITADA

- ABELED, L.G.; KRUK, B.C.; SAVIN, R. 2004. Madurez y cosecha de los cultivos: Análisis de la generación del rendimiento. En: Satorre, E; Vence-Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.; Millares, D.; Otegui, M.E. y Savin, R. (eds). Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, Argentina. 783 p (717- 735).
- AEDS (Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible) 2006. Producción de quinua orgánica. 2da edición. Folleto N° 12. Arequipa, Perú. 30 p.
- ANDERSEN, S. 1983. Relación existente entre la maduración y el rendimiento de semilla de gramíneas. En: Producción Moderna de semillas. Traducida por Federico Stanham. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 798 p.
- APAZA, R. 2006. Evaluación comparativa del comportamiento agronómico de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Altiplano Norte. Tesis de grado, Facultad de Agronomía, UMSA. La Paz, Bolivia. 89 p.
- ARONI, G. 1999. Producción de quinua en Bolivia. En: Primer Taller Internacional en quinua: Recursos genéticos y sistemas de producción. Organizadores: Proyecto Quinua CIP-DANIDA, UNALM, CIP, UNAP (10-14 de mayo de 1999). Lima, Perú. FAO, CD versión 1.0, 2001.
- AYALA, G. s/f. Aporte de los Cultivos Andinos a la Nutrición Humana. En: Raíces Andinas – Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 112 p. (102 -106).
- AYALA, G. 1999. Usos de la quinua en poblaciones marginales. En: Primer taller Internacional en Quinua: Recursos Genéticos y Sistemas de Producción. Organizadores: CIP-DANIDA, UNA, UNALM, CIP y UNAP (10-14 de mayo de 1999). La Molina, Lima, Perú.
- BEADLE, C. I. 1988. Análisis del Crecimiento Vegetal. En: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Editada por Coombs, D. O. Hall; Long S.P. y Scurlock J.M.O. Editorial Futura S. A. Chapingo, México. P.17-19.
- BONIFACIO, A. s/f. Fisiología de la resistencia a factores adversos de la quinua: Resistencia de la quinua al mildiu. En: Primer taller Internacional de la quinua: Recursos genéticos y Sistemas de Producción (10 a 14 de mayo de 1999) La Molina, Lima, Perú. FAO, CD versión 1.0, 2001.
- BONIFACIO, A. 1999. Aspectos agrícolas y de mejoramiento de la quinua en Bolivia. En: Memorias; Reunión Técnica y Taller de Formulación de Proyecto Regional sobre Producción y Nutrición Humana en base a Cultivos Andinos (Arequipa, Perú, 20-24 de julio de 1998). Mujica, A.; Izquierdo, J.; Marathee, J.P.; Morón, C. y Jacobsen S-E. (eds.). Lima, Perú.

- BONIFACIO, A. y VARGAS, A. 2005. Variedad de quinua "Kurmi". Fundación PROINPA. Ficha técnica N°12. La Paz, Bolivia. 1-4 p.
- BORJA M., R. y SORAIDE L., D. 2007. Estudio del consumo de quinua en la ciudad de Potosí. Fundación AUTAPO, Programa Quinua. Segunda edición. Potosí, Bolivia. 114 p.
- BRENES. E. R., F. CRESPO, K. MADRIGAL 2001. El cluster de quinua en Bolivia: Diagnóstico competitivo y recomendaciones estratégicas. 54 p.
- CAF, CID, CLACDS – INCAE, 2001. Caracterización y análisis de la competitividad de la quinua en Bolivia. Proyecto Andino de Competitividad. La Paz, Bolivia.
- CALLISAYA, I. 1994. Caracterización de las tierras de la Estación Experimental de Choquenaira según su capacidad de uso y aptitud de riego. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 114 p.
- CALZADA, B. J. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Jurídica S.A. 3<sup>ra</sup> edición. Lima, Perú. 644 p.
- CÁRCOVA, J.; ABELEDO, L. G.; LÓPEZ, M. 2004. Fisiología del Rendimiento y la calidad: Análisis de la generación del rendimiento. En: Satorre, E; Benech- Arnold, R.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.; Millares, D.; Otegui, M.E. y Savin, R. (eds). Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, Argentina. 783 p (75- 93).
- CEPROBOL (Centro de Promoción Bolivia), 2007. Quinua y Derivados; perfil sectorial de productos. Ministerio de Relaciones exteriores y cultos, viceministerio de relaciones económicas y comercio exterior. La Paz, Bolivia. 10 p.
- CHILÓN, E. 1996. Manual de Edafología; Prácticas de Campo y laboratorio. Ediciones CIDAT, UMSA. La Paz, Bolivia. 290 p.
- CHILÓN, E. 1997. Fertilidad de suelos y Nutrición de plantas; Práctica de campo, invernadero y laboratorio. Ediciones CIDAT- UMSA-EMI. La Paz, Bolivia. 177p.
- CHOQUECALLATA, J.; VACHER, J.; FELLMANN, T.; IMAÑA, E. 1991. Evapotranspiración máxima del cultivo de quinua por lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el Altiplano boliviano. En: Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. Editores: D. Morales y J. J. Vacher. Realizado del 4 al 8 de febrero de 1991. La Paz, Bolivia. p. 63-67.
- CHOQUECALLATA, J. (1993). Evapotranspiración máxima de quinua Tesis Ing. Agr; Santa Cruz, Bolivia.

- CICRA (Centro Integral de Comunidades de la Región Andina), 2006. Proyecto: Seguridad Alimentaria y Nutrición Materno Infantil con una Alternativa de Desarrollo Rural Integral. Boletín Informativo. La Paz, Bolivia. 14 p.
- CIRNMA (Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente) 1997. Manual del productor de quinua. Editorial Altiplano E.I.R. Ltda. Perú. 157 p.
- COLLAO, G.; GABRIEL, S. 1992. Informe Ecológico: Efecto del Biol en la producción de Tomate. Cochabamba, Bolivia. 126 p.
- COOMBS, J.; HALLS, D.O.; LONG, S.P.; SCURLOCK, J.M.O. 1988. Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Segunda edición. Editorial Futura S. A. Chapingo, México, 246 p.
- DANIELSEN, S. y AMES, T. 2000. El mildiu (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la zona Andina. Manual Práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno. Centro Internacional de la papa. Lima, Perú. 13 p.
- DELATORRE, J. 1999. Efecto del estrés hídrico en la fotosíntesis. En: 1<sup>er</sup> curso Internacional sobre Fisiología de la resistencia a sequía en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Jacobsen S.-E. y Mujica, A. (eds). CIP, Lima, Perú 1999.
- DE LA VEGA y DE LA FUENTE. 2004. Interacción genotipo x ambiente. En: Satorre, E; Vence-Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.; Millares, D.; Otegui, M.E. y Savin, R. (eds). Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 783 p (319 - 344).
- ESPÍNDOLA, G. 1981. V Curso de producción de Quinua. Centro Experimental para la Industrialización de la quinua. Proyecto PNUD, FAO, MACA-IBTA. La Paz, Bolivia. 70 p.
- ESPÍNDOLA, G. 1994. Mejoramiento del cultivo de la quinua. In. Memorias del Seminario sobre Investigación, producción y comercialización de la quinua. Estación Experimental de Patacamaya. La Paz, Bolivia. p.16 – 28.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2006. La Quinua: Características del producto. Consultado 7 de septiembre del 2008. Disponible en: [http://www.fao.org/inpho/compent/text/ch\\_11-03.html](http://www.fao.org/inpho/compent/text/ch_11-03.html)
- FDTA - ALTIPLANO (Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Altiplano), 2002. Prospección de demandas de la cadena productiva de la quinua en Bolivia. Consultora CEP. La Paz, Bolivia. 127 p.
- FERNANDEZ, H. S. 2004. Interferencia fisiológica del agente causal de la enfermedad y expresión de síntomas. In. Curso taller: Diagnostico y evaluación de plagas (del 8 al 12 de noviembre del 2004) Lima, Perú.

- FONTURBEL, F. R. 2005. Problemática de la producción y comercialización de *Chenopodium quinoa* W. (Chenopodiaceae), debida a la presencia de las saponinas, La Paz, Bolivia. 10 p.
- FRERE M.; RIJKS J.Q.; REA J. 1975. Estudio Agroclimatológico de la zona Andina (Informe técnico). Proyecto Interinstitucional en Agroclimatología FAO/UNESCO/OMM-GINEBRA. Roma. 371 p.
- GANDARILLAS, H. 2001. Historia de la Investigación para el desarrollo Agropecuario en Bolivia: Producción de quinua. Cochabamba, Bolivia. 232 p.
- GERAUD, F.; CHIRINOS, D.; MARIN, M. y CHIRINOS, D. 1994. Desarrollo de la planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Millar); Índice de crecimiento relativo, razón de peso foliar y gamma. Trabajo de Investigación. Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.
- GTZ, IICA, INIAP, ERPES, 2001. Manual de producción de quinua de calidad. Ecuador. 135 p.
- GUTIERREZ, A. 2003. Evaluación del ritmo de crecimiento y desarrollo de 2 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en la Estación Experimental de Choquenaira. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz, Bolivia. 110 p.
- HERNANDEZ, J. E. y LEON, J. 1992. Cultivos Marginados, otra perspectiva de 1492. Roma, Italia. En CD, Colección FAO: Producción y Protección Vegetal. N° 26.
- HOLDRIDGE, L. 1992. Ecología basada en zonas de vida. Editorial IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). San José, Costa Rica. 115-116 p.
- HUIZA, Z. 1999. Efectos del déficit hídrico a marchites intensa sobre el ritmo de crecimiento de la quinua. Tesis. Lic. Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 111 p.
- IBTA/DNS. 1996. Catálogo de variedades mejoradas y recomendaciones para producción y uso de semilla certificada. Secretaria Nacional de Agricultura y Ganadería. La Paz, Bolivia. Boletín N° 2.
- IICA, PNUD. 1991. Estudio de mercado y comercialización de la quinua real de Bolivia. Editorial IICA. La Paz, Bolivia.
- INE (Instituto Nacional de Estadística), 2008. Datos estadísticos sobre producción de cultivos agrícolas. La Paz, Bolivia. Consultado el 28 de octubre de 2008. Disponible en: <http://www.ine.gov.org.html>
- INFOQUINUA, 2008. La quinua. Elaborado por Lic. Sunnai Alvestegui Lavadenz. En: CAMEX (Cámara de exportaciones) – Sistema de información INFOQUINUA. p. 12. Consultado el 31 de enero. Disponible en: <http://www.infoquinua.bo>

- INTA - PAYTAS, M. J. 2006. Evolución del Índice de Área Foliar en distintas densidades y distancias de siembra en el Cultivo de Algodón. Área de Investigación en Producción Agrícola. Consultado el 5 de diciembre del 2006. Disponible en: [http://www.inta.gov/indice\\_area\\_foliar\\_algodon](http://www.inta.gov/indice_area_foliar_algodon)
- JACOBSEN, S. E. Y SHERWOOD, S. 2002. Cultivo de granos Andinos en Ecuador; Informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto. FAO, CIP Y CRS. Editorial Abya –Yala. Quito, Ecuador. 89 p.
- KATOLIC, A. G; GIMENEZ, P. y DE LA FUENTE, E. B. 2004. Ciclo Ontogénico, Dinámica del desarrollo y Generación del Rendimiento de la soya. En: Satorre, E; Benech- Arnold, R.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.; Millares, D.; Otegui, M.E. y Savin, R. (eds). Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires- Argentina. 783 p (167- 195).
- KRUK y SATORRE, 2004. Densidad y arreglo espacial del cultivo. En: Satorre, E; Benech- Arnold, R.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.; Millares, D.; Otegui, M.E. y Savin, R. (eds). Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 783 p (279- 312).
- LEDESMA, M. 2000. Climatología y Meteorología Agrícola. Editorial Spain Paraninfo S.A. Madrid, España. 451 p.
- LEÓN H., J. M. 2003. Cultivo de la quinua en Puno – Perú; Descripción, Manejo y Producción. Ciencias Agrarias UNA - PUNO. Puno, Perú. 63 p.
- LIRA, R. 1994. Fisiología Vegetal: Crecimiento, desarrollo y acción de las hormonas en las plantas. Editorial Trillas. S.A. D. F., México. 225 p.
- MACA (Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios) 2005. Estadísticas Agrícolas; Campañas Agrícolas 2003-2004 y 2004-2005. Viceministerio de Asuntos Campesinos y Desarrollo rural. Dirección General de Desarrollo Productivo y Financiamiento. La paz, Bolivia. 42 p.
- MAMANI, C. 1997. Comportamiento Agronómico de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en asociación con cebada para ensilaje en el Altiplano Central. Tesis de Grado Facultad de Agronomía, U. Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 105 p.
- MAMANI, F. 2004. Evaluación agronómica de variedades de quinua. In: Informe Anual de la Estación Experimental de Belén, Facultad de Agronomía-UMSA, La Paz, Bolivia.
- MEJORPASTO, 2007. Índice de Área foliar. Consultado el 2 de mayo de 2008. Disponible en: <http://www.mejorpasto.com.ar>
- MENESES, R. y RODRIGUEZ, C. 2000. Seminario Uniformación de Técnicas y criterios de Investigación. Cochabamba, Bolivia. 147 p.

- MELENDEZ, F. 2009. Evaluación agrofisiológica de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la localidad de Tunusi Altiplano Norte, departamento de La Paz, Municipio de Achacachi. Tesis Lic. Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 103 p.
- MIRALLES, D. J.; WINDAUER, L. B.; GÓMEZ, N. 2004. Fisiología del Rendimiento y la calidad: Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. En: Satorre, E; Benech- Arnold, R.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.; Millares, D.; Otegui, M.E. y Savin, R. (eds). Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 783 p (61- 65).
- MONJE, Y. 2006. Estudio de las características Bromatológicas de 10 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en 4 zonas del Altiplano Boliviano. Tesis. M Sc. Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 57 p.
- MUJICA, A. 1997. Cultivo de quinua. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Dirección General de Investigación Agraria. Lima, Perú. 68 p.
- MUJICA, A. y JACOBSEN, S. E. 1999. Resistencia de la Quinua a la sequía y otros factores abióticos adversos y su mejoramiento. En: 1er. Curso Internacional sobre Fisiología de la Resistencia a Sequía en Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). CIP. Lima, Perú.
- MUJICA, A.; IZQUIERDO, J.; MARATHEE, J. P. 2001. Origen y descripción de la quinua; Agronomía del cultivo de la quinua. En: Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.); Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO versión 1.0, 2001. Santiago, Chile.
- MUJICA. A.; JACOBSEN, S.; IZQUIERDO, J.; MARATHEE, J. P. 2004. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. 2da edición. Santiago, Chile. 361 p.
- MUÑOZ, R. y ACEVEDO E. 2002. Evaluación del rendimiento potencial y bajo estrés hídrico de 11 genotipos de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta y Campo experimental Antumapu. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Santiago, Chile. 43 p.
- ORTIZ, R. s/f. Insectos plaga en quinua. En: Memorias Primer Taller Internacional en quinua: Recursos genéticos y sistemas de producción (10-14 de mayo de 1999) La Molina, Lima, Perú. Organizadores: Proyecto Quinua CIP-DANIDA, UNALM, CIP, NAP. FAO, CD versión 1.0, 2001.
- PACHECO, A; MORLON, P; ROSSEL, J. 1978. El sistema radicular de las plantas de interés económico en el Altiplano de Puno: un estudio preliminar. Puno, Perú. 20 p.
- PALMA, G. 2007. Comparación Agrofisiológica de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y las consecuencias del raleo en los componentes del rendimiento y la calidad del grano, en el Altiplano Norte de

Bolivia. Tesis Lic. Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 123 p.

PALOMO. G., J. OROZCO, E. GUTIERREZ DEL RIO, A. ESPINOZA, S. RODRIGUEZ. 2003. Análisis de crecimiento de variedades de algodón transgénicas y Convencionales. 130 p.

PÉREZ. J., E. GARCIA, J. ENRÍQUEZ, A. QUERO, J. PÉREZ, A. HERNANDEZ. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria híbrido*, c.v.), México. 458 p.

PROINPA. 2001. Primer Informe Compendio: Campañas 1998-1999; 1999-2000; 2000-2001. Cochabamba, Bolivia. 52 p.

\_\_\_\_\_. 2002. Variedades de quinua recomendadas para el Altiplano Norte y Central. Elaborado por Alejandro Bonifacio. MAGDER-PREDUZA-COSUDE-McKNIGHT- DANIDA. La Paz, Bolivia. 8 p.

\_\_\_\_\_. 2003. Catálogo de Quinua Real. Elaborado por Juan Carlos Aroni, Genaro Aroni, Reinaldo Quispe y Alejandro Bonifacio. Fundación PROINPA, fundación Mc KNIGHT, MACIA - SINARGEAA. La paz, Bolivia. 51 p.

QUISBERT, E. 2006. Comportamiento agronómico de 10 variedades de quinua (*Chenopodium quínoa* Willd.), en la estación experimental de Choquenaira. Tesis Lic. Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 111 p.

QUISPE, N. 1999. Estudio comparativo de variedades de Avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum aestivum*). Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, UMSA. La Paz, Bolivia. p. 15, 16.

RAMIREZ, J. 1995. Producción Económica de Quinuas: Conceptos reales para encarrilar una óptima producción. 81 p.

RAFFAILLAC, J.-P.; BOSSENO, R.; CONDE, H.; PALMA, G.; VEIZAGA, A. 2006. Efectos de la fertilización nitrogenada en el crecimiento, desarrollo, componentes del rendimiento y calidad de los granos de la quinua en las condiciones del Altiplano de Bolivia. Trabajo de Investigación. La Paz, Bolivia. 14 p.

REIGOSA. M., N PEDRAL, A. SÁNCHEZ. 2004. La Ecofisiología Vegetal. Impreso en España. 1193 p.

REPO, C.; ESPINOZA, C.; JACOBSEN, S.E. 1999. Valor Nutricional y Usos de la quinua y la kañiwa. En: Primer taller Internacional en Quinua: Recursos Genéticos y sistemas de producción. Organizadores: CIP-DANIDA, UNA, UNALM, CIP y UNAP (10-14 de mayo de 1999). La Molina, Lima, Perú.

RIQUELME, M. 1998. Comportamiento agronómico de 8 líneas precoces de quinua (*Chenopodium quínoa* Willd.) bajo tres épocas de siembra en el Altiplano

central. Tesis Lic. Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 104 p.

ROBLES, R. 1991. Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico. Impreso en México. Pág. 263-273.

RODRIGUEZ, M. 1997. Fisiología Vegetal. Segunda Edición. Editorial Los Amigos del Libro. Cochabamba, Bolivia. 425 p.

RODRÍGUEZ, F. H.; RODRÍGUEZ, A. J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. Edt. Trillas. D.F., México. 196 p.

RODRIGUEZ, J. 2005. El papel del tamaño de semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el crecimiento y desarrollo de las plantas frente a diferentes profundidades de siembra. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 109 p.

RODRIGUEZ, C.; RAFFAILLAC. J.-P.; J. ALCÓN. 2006. Uso del Programa Sigma Scan Pro 5 para determinación del Área Foliar. Facultad de Agronomía U.M.S.A. - IRD (Instituto de Investigación para el Desarrollo). La Paz, Bolivia. 12 p.

ROMERO, B. 1990. Semillas, biología y tecnología. Ediciones Mundi - Prensa. España.

ROMO, S.; ROSERO, A.; FORERO, C. L. y CERON, E. 2006. Potencial nutricional de harinas de quinua (*chenopodium quinoa* W.) variedad piartal en Los Andes Colombianos. Primera parte. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol. 4 N°1. Colombia. 125 p.

SALISBURY, F. B. y ROSS, C. W. 2000. Fisiología de las Plantas: Crecimiento y desarrollo. Editorial Paraninfo, S. A.. Madrid, España. 985 p.

SARAVIA, R. y ARONI, G. 2001. Situación actual del cultivo de quinua en Bolivia. En: Taller binacional Perú – Bolivia. Puno, Perú.

SENAMHI. 2006. Planillas de registro pluviométrico y temperatura de 1997 a 2005. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. CIN-Viacha, Provincia Ingavi, Departamento de La Paz, Bolivia.

SEVILLA, R. y HOLLE, M. 2004. Recursos Genéticos Vegetales: Evolución, domesticación y Centro de origen de las plantas cultivadas. Edición Luis León Asociados S.R.L La Molina, Lima, Perú. 443 p.

SLAFER, G. A.; MIRALLES, D.J.; SAVIN, R.; WHITECHURCH, E.M. y GONZALEZ, F.G. 2004. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: Satorre, E; Benech- Arnold, R.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.; Millares, D.; Otegui, M.E. y Savin, R. (eds). Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 783 p (101- 129).

SOLOBOLIVIA, 2000. La quinua. Consultado el 26 de octubre del 2005. Disponible en:

<http://www.info@solobolivia.com>

- SOTO, J. L.; HARTWICH, F.; MONGE, M.; AMPUERO, L. 2006. Innovación en el Cultivo de Quinua en Bolivia: Efectos de la Interacción Social y de las Capacidades de Absorción de los Pequeños Productores. Bolivia. 74 p.
- TAPIA, M.; GANDARILLAS, H.; ALANDIA, S.; CARDOZO, A.; MUJICA, A.; ORTIZ, R.; OTAZU, v.; REA, J.; SALAS, B.; ZANABRIA E. 1979. La Quinua y la Kañiwa; Cultivos andinos. Editorial IICA y CIID. Bogotá, Colombia. 227 p.
- TAPIA, M. E. 2000. Agronomía de los Cultivos Andinos. En: Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación; Capítulo 3. 2da edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. FAO 2001. Santiago, Chile.
- TAPIA, M. y FRIES, A. M. 2007. Guía de Campo de los Cultivos Andinos: Agronomía de los Cultivos Andinos; Granos Andinos. FAO y Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú. Lima, Perú. 222 p.
- TRÁPANI, N.; LÓPEZ, M.; O. SADRAS, V. y J. HALL, A. 2004. Ciclo Ontogénico, Dinámica de desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en el girasol. En: Satorre, E; Benech- Arnold, R.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.; Millares, D.; Otegui, M.E. y Savin, R. (eds). Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires - Argentina. 783 p (205- 236).
- UDABE, B. J. 1994. Diagnóstico socio económico de la Micro región Irpa Tayka Choquenaira. Estación Experimental radio San Gabriel Choquenaira. Proyecto "Irpa Tayka". Viacha, Provincia Ingavi, La Paz, Bolivia. 209 p.
- VARGAS, A. 2006. Fases fenológicas y evaluación agronómica en 20 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) seleccionadas en América del Sur y Europa. Tesis Lic. Ing. Agr. U.M.S.A. La Paz, Bolivia. 123 p.
- VEIZAGA, R. 2006. Evaluación de la maduración de granos de variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en relación con las condiciones climáticas del Altiplano boliviano. Tesis Lic. Ing. Agr. U.M.S.A. La Paz, Bolivia. 122 p.
- ZAMUDIO, T. 2006. La Quinua. Ediciones Digitales G.A.T.Z. Disponible en: <http://www.indigenas.bioteca.org>.

## **10. ANEXOS**

## Anexo 2. Croquis del ensayo experimental.

N



Código de las variedades:

V01: Chucapaca	V02: Surumi	V03: Kamiri	V04: Huganda	V05: Jiwaqui
V06: Kurmi	V07: K'ellu	V08: Real Blanca.	V09: Toledo Rojo	V10: Pandela

### Anexo 3. Características técnicas del ensayo experimental

Características	Cantidad y unidad
Número de bloques	4
Número de tratamientos	10
Número de unidades experimentales (UE) por bloque	10
Nº total de unidades experimentales	40
Número de surcos por UE	16
Distancia entre surcos	0.5 m
Longitud del surco	4 m
Longitud de la unidad experimental	8 m
Ancho de la unidad experimental	4 m
Longitud de bloque	50 m
Ancho del bloque	8 m
Ancho de pasillo	1 m
Área de la unidad experimental	32 m <sup>2</sup>
Área del bloque	400 m <sup>2</sup>
Área total del ensayo (más pasillo)	1568 m <sup>2</sup>
Área neta de la cosecha (sin pasillo)	1280 m <sup>2</sup>
Densidad de siembra	10 kg/ha
Cantidad de semilla por surco	1.8 g
Cantidad de semilla por U.E.	28.8 g

### Anexo 4. Promedio del porcentaje de germinación en laboratorio (%).

VARIETADES	Horas después de la siembra								
	4	6	12	24	36	48	72	96	120
Chucapaca	7,4	7,6	32,6	97,8	99,4	99,6	100,0	100,0	100,0
Surumi	3,4	3,8	35,4	99,0	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4
Kamiri	0,0	0,4	4,2	95,8	98,2	98,4	98,4	98,8	99,2
Huganda	0,2	0,4	5,4	94,4	97,6	97,6	97,6	98,6	98,8
Jiwaki	0,0	0,2	6,6	95,0	97,2	97,8	98,4	99,0	99,2
Kurmi	0,6	2,2	19,8	96,6	98,8	98,8	98,8	99,2	99,2
K'ellu	2,0	2,8	11,6	87,2	93,0	93,2	93,8	95,4	95,4
Real Blanca	0,2	0,4	10,4	97,8	99,2	99,2	99,4	99,4	99,4
Toledo Rojo	0,4	0,6	6,6	93,0	95,8	96,6	96,8	97,8	97,8
Pandela	0,2	0,2	7,2	99,0	99,2	99,2	99,4	99,4	99,4

**Anexo 5. Análisis de varianza para porcentaje de germinación a 5 días después de la siembra (120 hrs).**

Fuente de Variación	G.L.	S. C	C.M	Fc	Pr > F
Tratamientos	(t-1)=9	86.1	9.6	8.62	0.0001(**)
Error	t(r-1)=40	44.4	1.11		
Total	t r-1= 49	130.5			

GL = Grados de libertad, t = número de tratamientos, r = número de repeticiones; S.C.= Suma de cuadrados; C.M.=Cuadrado medio; Fc=F calculado; Pr F=Probilidad de F; \*\* =altamente significativo; \* = significativo; ns = no significativo.

**Anexo 6. Análisis de varianza para altura de planta (cm) a los 152 días después de la siembra, en diez variedades de quinua.**

Fuente de Variación	G.L.	S. C	C.M	Fc	Pr > F
Bloques	3	91.45	30.49	0.29	0.8332 (ns)
Tratamientos	9	5367.81	596.42	5.65	0.0002(**)
Error	27	2852.57			
Total	39	8311.54			

**Anexo 7. Análisis de varianza para diámetro de tallo principal (mm) a los 152 días después de la siembra, en diez variedades de quinua.**

Fuente de Variación	G.L.	S. C	C.M	Fc	Pr > F
Bloques	3	2.23	0.74	0.30	0.8243 (ns)
Tratamientos	9	31.62	30.52	1.42	0.2269 (ns)
Error	27	66.59			
Total	39	100.44			

**Anexo 8. Análisis de varianza para número de hojas del tallo principal a los 45 días después de la siembra, en diez variedades de quinua.**

Fuente de Variación	G.L.	S. C	C.M	Fc	Pr > F
Bloques	3	5.59	1.86	2.09	0.1248 (*)
Tratamientos	9	42.92	4.77	5.36	0.0003 (**)
Error	27	24.04			
Total	39	72.55			

**Anexo 9. Análisis de varianza para días a la floración, en 10 variedades de quinua.**

Fuente de Variación	G.L.	S. C	C.M	Fc	Pr > F
Bloques	3	542.68	180.89	10.17	0.0001 **
Tratamientos	9	921.03	102.34	5.76	0.0002 **
Error	27	480.08			
Total	39	1943.78			

**Anexo 10. Análisis de varianza para días a la Madurez fisiológica, en 10 variedades de quinua.**

Fuente de Variación	G.L.	S. C	C.M	Fc	Pr > F
Bloques	3	321.90	107.30	5.55	0.0042 **
Tratamientos	9	833.60	92.62	4.79	0.0007 **
Error	27	521.60			
Total	39	1677.10			

**Anexo 11. Análisis de varianza para Rendimiento de grano, con efecto de raleo (kg/ha) en 10 variedades de quinua.**

Fuente de Variación	G.L.	S. C	C.M	Fc	Pr > F
Bloques	3	908036.41	302678.81	1.66	0.1984 ns
Tratamientos	9	5729258.92	636584.32	3.50	0.0055 *
Error	27	4913161.76			
Total	39	11550457.09			

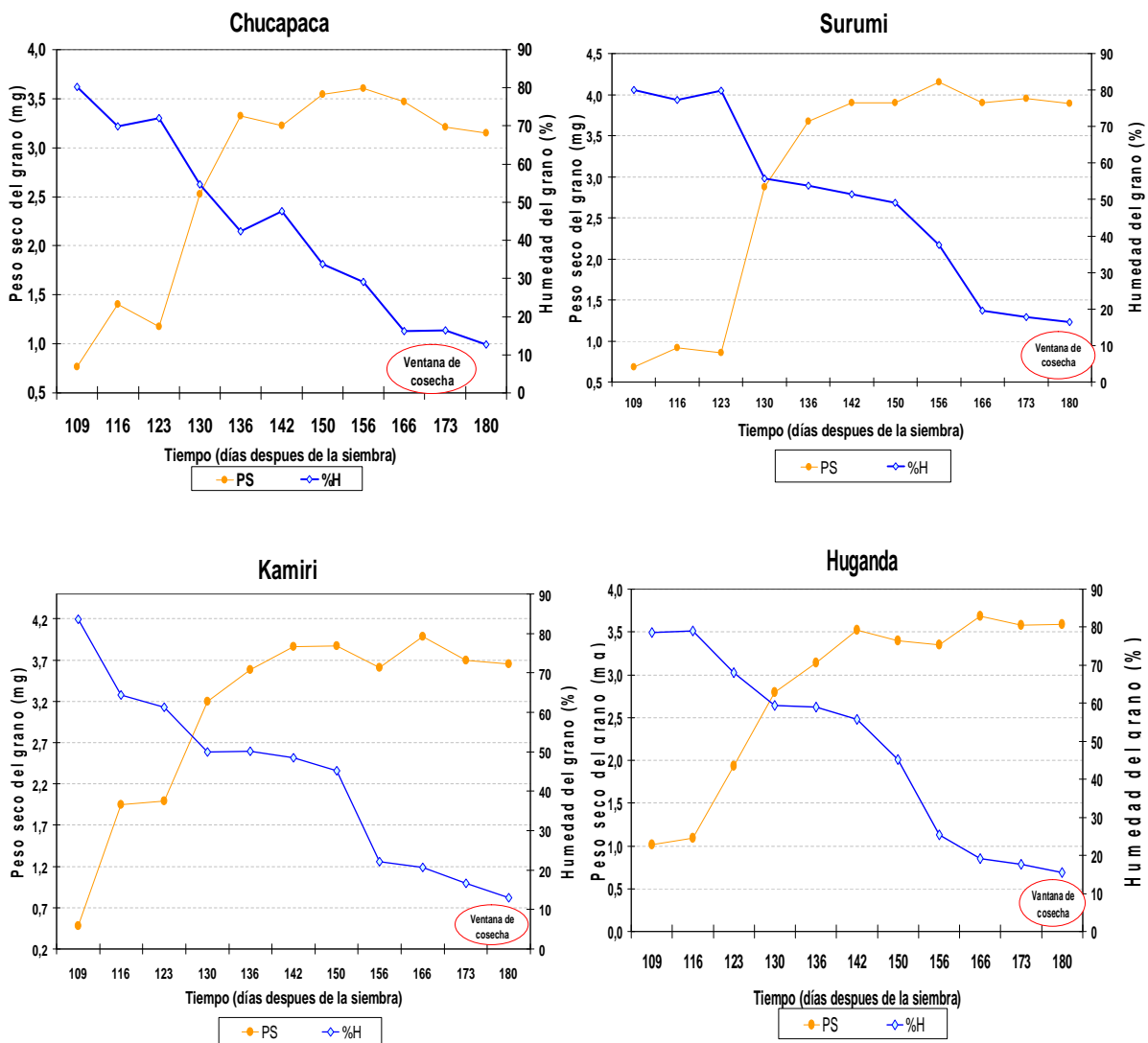
**Anexo 12. Análisis de varianza para Rendimiento de grano (kg/ha) sin efecto del raleo, en 10 variedades de quinua.**

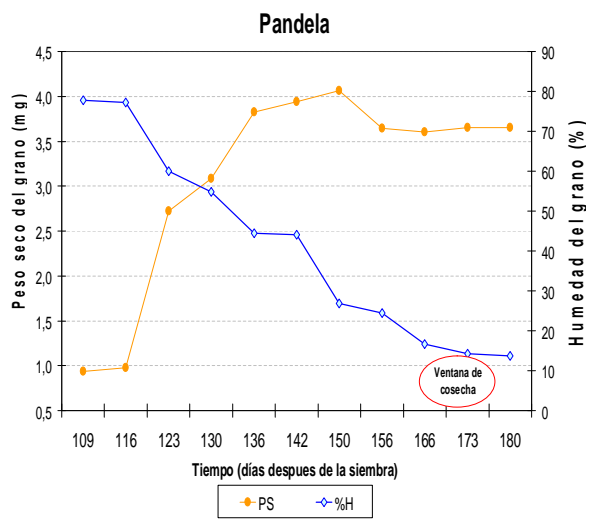
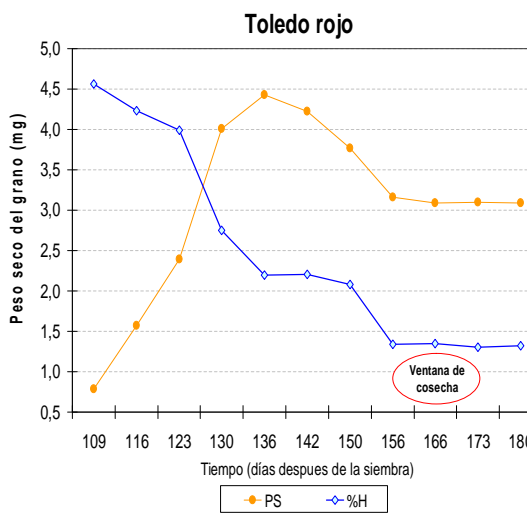
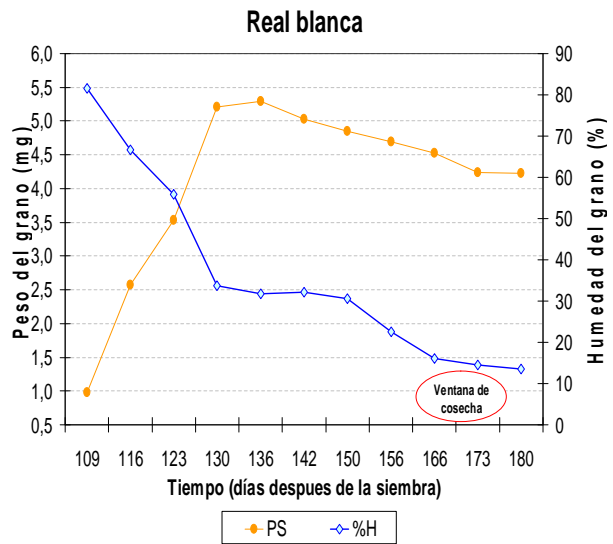
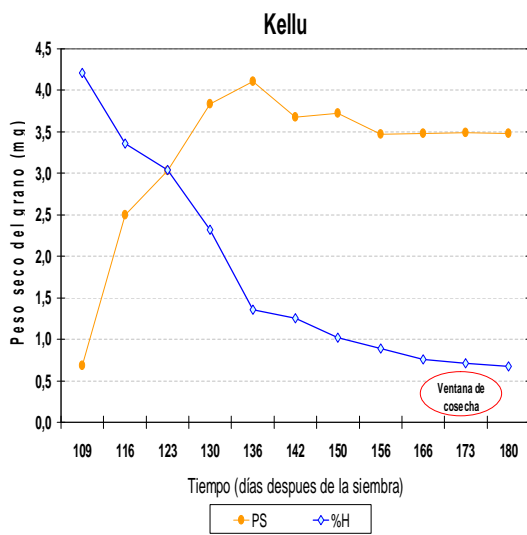
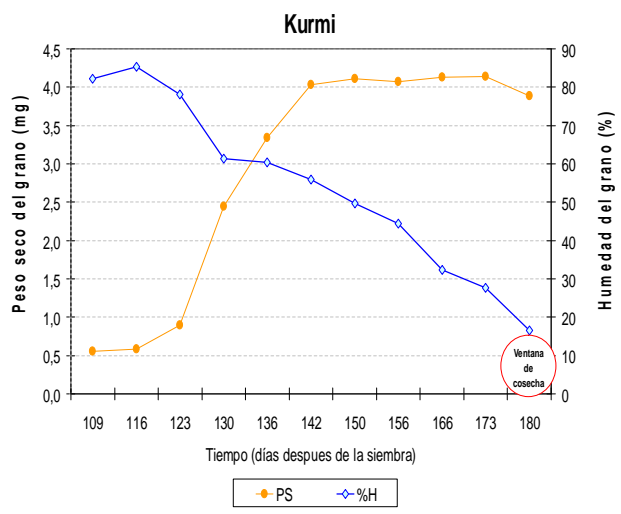
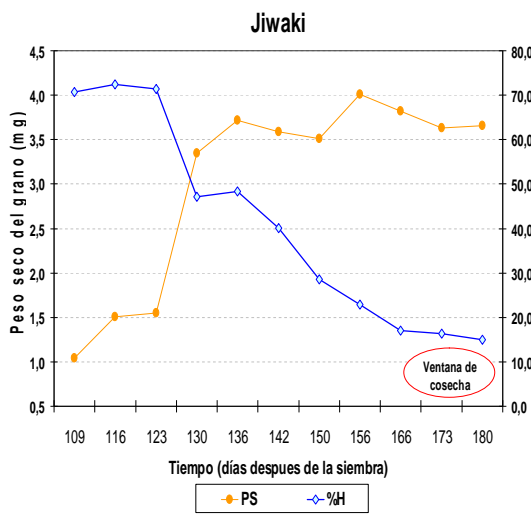
Fuente de Variación	G.L.	S. C	C.M	Fc	Pr > F
Bloques	3	417662.24	139220.75	0.70	0.5611 ns
Tratamientos	9	7366103.26	818455.92	4.11	0.0020 *
Error	27	5380727.12			
Total	39	13164492.62			

**Anexo 13. Análisis de varianza para peso de 1000 semillas (mg) en 10 variedades de quinua.**

Fuente de Variación	G.L.	S. C	C.M	Fc	Pr > F
Bloques	3	120995.88	40331.96	0.42	0.7416 ns
Tratamientos	9	7004981.26	778331.25	8.07	0.0001 **
Error	27	2605623.33			
Total	39	9731600.47			

**Anexo 14. Gráficas de la dinámica de acumulación de materia seca (mg) del grano de quinua (línea clara o naranja), y del % de humedad (línea oscura o azul) en función del tiempo desde la formación de grano, y ventana de cosecha (círculo), en 10 variedades de quinua.**





Anexo 15. Variedades de quinua



Chucapaca



Surumi



Kamiri



Huganda



Jiwaki



Kurmi



K'ellu



Real Blanca



Toledo Rojo



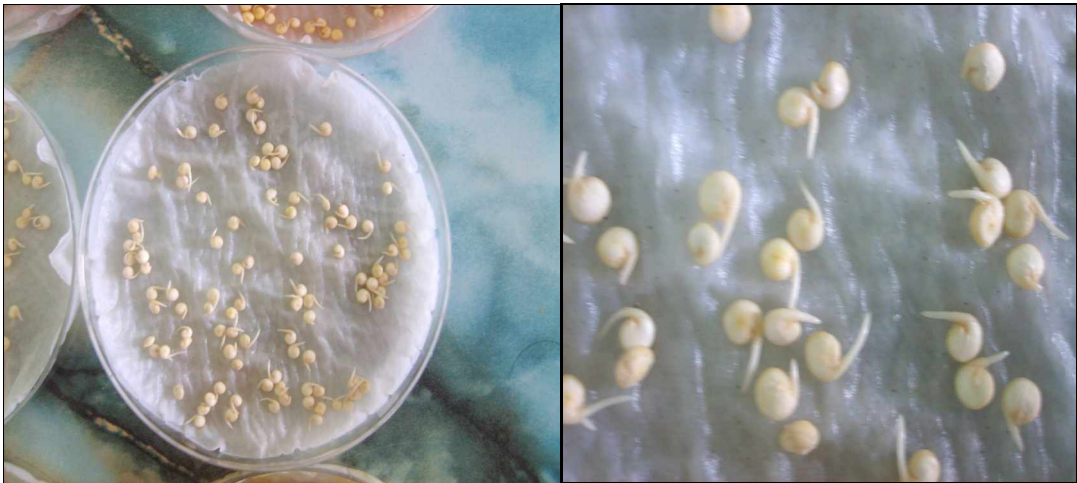
Pandela

**Anexo 16. Siembra en el sitio experimental.**



**Foto 11.** Sistema de siembra en surco.

**Anexo 17. Germinación de semillas de quinua.**



**Foto 12.** Germinación de semillas en laboratorio, de la variedad real blanca, a las 24 horas.

**Anexo 18.**



**Foto 13.** Medición de diámetro de tallo de la variedad Chucapaca (plantas con raleo).

**Anexo 19. Protección de panojas.**



**Foto 14.** Plantas con protectores (bolsitas de tul), en panojas principales de las plantas.

**Anexo 20.**



**Foto 15.** Venteo de los granos en venteadota eléctrica.