

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



“COMPARATIVO DE ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) EN CONDICIONES DE COSTA CENTRAL”

Presentado por:

VANESSA DEL PILAR MENDOZA SOTO

Tesis para optar el título de

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima – Perú

2013

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**“COMPARATIVO DE ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium
quinoa* Willd.) EN CONDICIONES DE COSTA CENTRAL”**

Tesis para Optar el Título de:

INGENIERO AGRONÓMOMO

VANESSA DEL PILAR MENDOZA SOTO

Sustentado y Aprobado ante el siguiente jurado:

**Ing. Mg. Sc. Vidal Villagómez Castillo
PRESIDENTE**

**Dra. Luz Gómez Pando
PATROCINADORA**

**Dr. Hugo Soplin Villacorta
MIEMBRO**

**Dr. Jorge Jiménez Dávalos
MIEMBRO**

Lima – Perú

2013

INDICE GENERAL

	Pág.
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 ORIGEN DE LA QUINUA	4
3.2 CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA	5
3.3 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LA QUINUA	5
3.4 ADAPTACIÓN	7
3.4.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y ECOLOGÍA	7
3.4.2 ADAPTABILIDAD	10
3.5 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO	12
3.5.1 SUELO	12
3.5.2 pH Y SALINIDAD	13
3.5.3 CLIMA	13
3.5.4 HUMEDAD Y TEMPERATURA	13
3.5.5 HUMEDAD RELATIVA	14
3.5.6 TEMPERATURA	14
3.5.7 RADIACIÓN	15
3.5.8 FOTOPERIODO	16
3.5.9 AGUA, PRECIPITACIÓN Y RIEGOS	17
3.5.10 ALTITUD	20
3.6 FENOLOGÍA	20
3.6.1 EMERGENCIA	21
3.6.2 HOJAS COTILEDÓNEAS	21
3.6.3 DOS HOJAS VERDADERAS	22
3.6.4 CUATRO HOJAS VERDADERAS	22
3.6.5 SEIS HOJAS VERDADERAS	22
3.6.6 RAMIFICACIÓN	22
3.6.7 INICIO DE PANOJAMIENTO	23
3.6.8 PANOJAMIENTO	23
3.6.9 INICIO DE FLORACIÓN	23
3.6.10 PLENA FLORACIÓN	24

3.6.11	GRANO LECHOSO	24
3.6.12	GRANO PASTOSO	24
3.6.13	MADUREZ FISIOLÓGICA	24
3.7	RENDIMIENTO	25
3.8	ÍNDICE DE COSECHA	27
3.9	PESO DE MIL GRANOS	27
3.10	UNIDADES DE CALOR O UNIDADES TÉRMICAS ACUMULADAS	27
3.10.1	UNIDADES DE CALOR EN QUINUA	31
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
4.1	MATERIALES	34
4.1.1	UBICACIÓN DE LA ZONA EXPERIMENTAL	34
4.1.2	ANÁLISIS DE SUELO	34
4.1.3	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA	35
4.1.4	MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO	36
4.2	MÉTODOS	40
4.2.1	CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL	40
4.2.2	MANEJO DEL CULTIVO	41
4.2.3	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	43
4.2.4	DISEÑO EXPERIMENTAL	45
4.3	EVALUACIONES	45
4.3.1	CARACTERES AGRONÓMICOS	45
4.3.2	VARIABLES MORFOLÓGICAS	47
4.3.3	CARACTERES DE CALIDAD	47
4.3.4	FENOLOGÍA DEL CULTIVO	48
4.3.5	DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE CALOR	50
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	51
5.1	CARACTERES AGRONÓMICOS	51
5.1.1	RENDIMIENTO	51
5.1.2	ALTURA DE PLANTA	56
5.1.3.	MILDIU (PORCENTAJE DE HOJA AFECTADA)	58
5.1.4.	BIOMASA	59
5.1.5	ÍNDICE DE COSECHA	61
5.2	CARACTERES DE CALIDAD	62

5.2.1	CONTENIDO DE PROTEÍNA EN EL GRANO	62
5.2.2	CONTENIDO DE SAPONINA EN EL GRANO	65
5.2.3	PESO DE MIL GRANOS	66
5.3	FENOLOGÍA DEL CULTIVO	67
5.3.1	GERMINACIÓN	74
5.3.2	DESARROLLO VEGETATIVO	76
5.3.3	RAMIFICACIÓN	79
5.3.4	DESARROLLO DEL BOTÓN FLORAL	81
5.3.5	DESARROLLO DE LA INFLORESCENCIA	84
5.3.6	FLORACIÓN	87
5.3.7	ANTESIS	90
5.3.8	GRANO ACUOSO	93
5.3.9	GRANO LECHOSO	96
5.3.10	GRANO PASTOSO	99
5.4	DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE CALOR (°D) REQUERIDAS PARA LAS FASES DE LOS GENOTIPOS DE QUINUA	111
5.4.1	GERMINACIÓN	115
5.4.2	DESARROLLO VEGETATIVO	115
5.4.3	RAMIFICACIÓN	116
5.4.4	DESARROLLO DEL BOTÓN FLORAL	116
5.4.5	DESARROLLO DE LA INFLORESCENCIA	116
5.4.6	FLORACIÓN	117
5.4.7	ANTESIS	117
5.4.8	GRANO ACUOSO	118
5.4.9	GRANO LECHOSO	118
5.4.10	GRANO PASTOSO	119
VI.	CONCLUSIONES	122
VII.	RECOMENDACIONES	124
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
IX.	ANEXOS	133

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Humedad y temperatura según los grupos agroecológicos de quinua	15
Cuadro 2: Promedios de rendimientos de quinua en diferentes años según la precipitación, el nivel de fertilización y el efecto de plagas y enfermedades	26
Cuadro 3: Rendimientos potenciales de la quinua en el altiplano de Puno	26
Cuadro 4: Valores promedio de los datos climatológicos: horas de sol, humedad relativa máxima y mínima, evapotranspiración y precipitación, durante el período octubre 2011 – febrero 2012. La Molina	36
Cuadro 5: Cronograma de las actividades realizadas durante la conducción del experimento	44
Cuadro 6: Código decimal desarrollado en base a la escala de Darwinkel, A. y Stolen, O. citados por Gómez (2010)	49
Cuadro 7: Cuadrados medios de los caracteres agronómicos, saponina y peso de mil granos de 17 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012	52
Cuadro 8: Valores promedios y Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del rendimiento, altura de planta, mildiu, biomasa e índice de cosecha de 17 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012	53
Cuadro 9: Análisis de variancia del porcentaje de proteína en el grano de 16 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012	63
Cuadro 10: Valores promedios y Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del peso de mil granos, proteína y saponina de 17 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre	64

2011 – Febrero 2012

- Cuadro 11: Cuadrados medios del N° de días de la duración total de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012 69
- Cuadro 12: Cuadrados medios del N° de días para el inicio (DDS) de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formar n grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012 70
- Cuadro 13: Cuadrados medios del N° de días para la culminación de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012 71
- Cuadro 14: Datos estadísticos generales de la duración total en días de las fases: germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012 72
- Cuadro 15: Rangos del N° de días para el inicio, culminación y duración de las fases fenológicas características de los 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012 73

- Cuadro 16: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de germinación de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012 75
- Cuadro 17: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase del desarrollo vegetativo de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012 77
- Cuadro 18: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de días y grados día (°D) para el inicio correspondientes a la fase de ramificación de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012 79
- Cuadro 19: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase del desarrollo del botón floral de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012 82
- Cuadro 20: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase del desarrollo del de la inflorescencia de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012 85

Cuadro 21:	Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de floración de 17 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012	88
Cuadro 22:	Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de antesis de 17 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012	91
Cuadro 23:	Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de grano acuoso de 17 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012	94
Cuadro 24:	Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de grano lechoso de 17 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012	97
Cuadro 25:	Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de grano pastoso de 17 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012	100
Cuadro 26:	Resumen de los valores promedios acumulados de días para la culminación de las fases representativas de 17 genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) que formaron grano en condiciones de	101

la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

Cuadro 27: Resumen de los valores promedios acumulados de grados día (°D) para el inicio y la culminación de las fases representativas de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012 112

Cuadro 28: Cuadrados medios de los grados día (°D) para el inicio de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012 113

Cuadro 29: Cuadrados medios de los grados día (°D) para la culminación de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012 114

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Fluctuación de la temperatura promedio mensual durante la campaña Octubre 2011 – Febrero 2012	35
Figura 2: Fase 0 (Germinación – Hojas cotiledóneas extendidas)	74
Figura 3: Fase 1 (desarrollo vegetativo)	78
Figura 4: Fase 2 (ramificación)	80
Figura 5: Fase 3 (desarrollo del botón floral)	83
Figura 6: Fase 4 (desarrollo de la inflorescencia)	86
Figura 7: Fase 5 (floración)	89
Figura 8: Fase 6 (antesis)	92
Figura 9: Fase 7 (grano acuoso)	95
Figura 10: Fase 8 (grano lechoso)	98
Figura 11: Fase 9 (grano pastoso)	102
Figura 12: Correlación entre las fases de desarrollo, meses y los valores promedio de los grados día acumulados requeridos para el inicio y culminación de cada fase de 17 genotipos de quinua que formaron grano en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012	109
Figura 13: Correlación entre las fases de desarrollo, meses y los valores promedio de los grados día acumulados requeridos para el inicio y culminación de cada fase de 8 genotipos de quinua que no formaron grano en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012	110
Figura 14: Fluctuación de las temperaturas máximas y mínimas mensuales durante la campaña octubre 2011 – febrero 2012. La Molina	111
Figura 15: Fluctuación de las temperaturas máximas y mínimas diarias durante la campaña octubre 2011 – febrero 2012 La Molina	112

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Área cosechada (ha) de quinua en tres países andinos en cuatro años referenciales	133
ANEXO 2: Producción en toneladas de quinua en tres países andinos en cuatro años referenciales	134
ANEXO 3: Exportaciones de quinua peruana	134
ANEXO 4: Características morfológicas de 25 genotipos de quinua en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012	135
ANEXO 5: Análisis del suelo en el que se llevó a cabo el experimento La Molina. Campaña Octubre 2011 – Febrero 2012	136
ANEXO 6: Costos de Producción del cultivo de quinua. La Molina. Campaña Octubre 2011 – Febrero 2012	137

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es una especie valiosa por su calidad nutritiva y su adaptación a zonas marginales de suelo y clima; por su tolerancia a sequía y sales que la convierten en una alternativa importante para la costa peruana. Para lograr su cultivo rentable se requieren de variedades adaptadas a condiciones de costa. El presente experimento tuvo como objetivos estudiar el comportamiento de genotipos de quinua en condiciones de costa central, y determinar las unidades de calor acumuladas para el crecimiento y desarrollo de los diferentes genotipos evaluados bajo condiciones de costa central. El experimento se llevó a cabo en el Campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en la Molina, entre octubre del 2011 y febrero 2012. El diseño empleado fue bloques completos al azar, con tres repeticiones y 25 genotipos de quinua. Los caracteres evaluados fueron: rendimiento, altura de planta, biomasa, mildiu, índice de cosecha (IC), porcentaje de proteína y saponina, peso de mil granos, las fases fenológicas (en días) y las unidades de calor (grados día) requeridas para alcanzar cada fase de desarrollo. Sólo 17 genotipos formaron granos de los cuales 4 mostraron el mejor comportamiento agronómico y alcanzaron los mayores rendimientos: PEQPC- 411/CUZCO (933,60 kg/ha), PEQPC- 321/CUZCO (951,70 kg/ha), PEQPC- 357/CUZCO (1007,30 kg/ha) y PEQPC- 498/CUZCO (1535,10 kg/ha). Las unidades de calor requeridas para culminar las 10 fases características de la quinua fueron: fase 0.0 (germinación) 102,75 °D, fase 1.0 (desarrollo vegetativo) 377,04 °D, fase 2.0 (ramificación) 209,06 °D, fase 3.0 (desarrollo del botón floral) 406,90 °D, fase 4.0 (desarrollo de la inflorescencia) 571,66 °D, fase 5.0 (floración) 699,03 °D, fase 6.0 (antesis) 838,73 °D, fase 7.0 (grano acuoso) 1095,22 °D, fase 8.0 (grano lechoso) 1371,68, fase 9.0 (grano pastoso) 1709,42 °D. Los genotipos restantes (8), sólo llegaron hasta la fase de antesis y no formaron granos.

Palabras clave: Quinua, genotipos, unidades de calor, grados día, rendimiento, fenología.

II. INTRODUCCIÓN

La Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano nativo altamente nutritivo, es uno de los pocos vegetales que posee los aminoácidos esenciales para el ser humano. Además proporciona minerales, aceites, vitaminas y no contiene gluten (Repo, 2003). Por otro lado, el cultivo tiene una extraordinaria adaptabilidad a diferentes pisos agroecológicos, principalmente desarrolla en suelos secos y salinos entre los 2500 y 4000 msnm (Aguilar y Jacobsen, 2003). Puede crecer con humedades relativas desde 40 por ciento hasta 88 por ciento, y soporta temperaturas desde -4°C hasta 38°C . Es una planta eficiente en el uso de agua, es tolerante y resistente a la falta de humedad en el suelo, y permite obtener rendimientos de grano aceptables con precipitaciones de 100 a 200 mm. La quinoa cuenta con más de tres mil genotipos tanto cultivados como silvestres que se clasifican en cinco categorías según el gradiente altitudinal: ecotipos del nivel del mar, del altiplano, de valles interandinos, de los salares y de las Yungas (Tapia, *et al.*, 2000 y PROINPA, 2011). Crece tradicionalmente en los Andes de Bolivia, Perú y Ecuador, lugares donde es un alimento básico e importante (National Research Council, 1989 citado por Rasmussen, *et al.*, 2003).

Los principales productores de quinoa son Bolivia, Perú y Ecuador (FAOSTAT, 2011). Su cultivo se ha iniciado en Estados Unidos, Canadá, Europa, Asia y África donde se han obtenido buenos rendimientos (Gesinski, 2008, PROINPA, 2011 y FAO *et al.*, 2012). Desde la década de los sesenta se empieza a reconocer su valor nutritivo y se inicia su exportación, generando recursos para las regiones más pobres donde crece (Helling y Higman, 2003, citados por J. F. Bois, *et al.*, 2006). Su potencial excepcional de supervivencia y su alto valor nutritivo han hecho que este cultivo se convierta en un producto agrícola con valor estratégico importante para la seguridad alimentaria de la humanidad (PROINPA, 2011), y ha sido seleccionada por la FAO como uno de los cultivos destinados para combatir el hambre y la desnutrición en el mundo, en este siglo (Jacobsen, 2003a).

Crece especialmente en los Andes, donde existe un alto grado de riesgo debido a factores climáticos adversos, como sequía, helada, vientos, granizo y salinidad del suelo. (Mujica y Jacobsen, 1999; Jensen *et. al.*, 2000; Jacobsen *et. al.*, 2003; García *et. al.*, 2003; citados por Jacobsen *et. al.*, 2004). Factores como las heladas y sequía afectan la duración del ciclo de los cultivos y variedades (Jacobsen, *et. al.*, 2004), así como el rendimiento. El rendimiento promedio en el Perú para el año 2011 fue de 1126 kg/ha (MINAG 2013). La creciente demanda interna e internacional de la quinua ha despertado interés por su cultivo en la región de la costa, donde los factores adversos de clima son menores y el nivel agrícola es más alto, lo cual puede permitir obtener mayores rendimientos. Estos mayores rendimientos e incrementos de área podrían permitir tener mayor cantidad de quinua en el mercado, permitiendo reducir los precios actualmente altos. De esta manera el consumo interno de quinua aumentaría, mejorando la alimentación de la población, la cual en muchas zonas del país es deficiente (INEI, 2011). Esto es posible porque la quinua presenta una gran diversidad genética, estratégica para desarrollar variedades superiores para diferentes ambientes. Sin embargo, previamente es importante conocer el grado de adaptación de los ecotipos y variedades comerciales a ambientes diferentes a aquellos donde normalmente se originan y evolucionan. En base a lo anteriormente señalado se estableció este experimento, donde la hipótesis a comprobar fue:

Existen genotipos de Quinuas de buen rendimiento y calidad nutritiva que se adaptan a condiciones de costa.

Para comprobar esta hipótesis se determinaron los objetivos siguientes:

- Determinar los caracteres agronómicos y de calidad de los genotipos de quinuas en condiciones de costa central.
- Determinar las unidades de calor o unidades térmicas acumuladas para el crecimiento y desarrollo de los diferentes genotipos de quinua evaluados bajo condiciones de costa central.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 ORIGEN DE LA QUINUA

La quinua es uno de los cultivos más antiguos de la región Andina, con aproximadamente 7000 años de cultivo (FAO *et. al.*, 2012). Las especies consideradas como ancestros de la quinua, (*Chenopodium quinoa* Willd), son *Chenopodium hircinum*, *Ch. petiolare* y *Ch. berlandieri*. Es importante reconocer que la quinua tiene un pariente muy cercano en el huazontle, *Chenopodium berlandieri s sp nuttaliae*, el cual fue cultivado intensamente hace muchos años por los aztecas en México (Tapia y Fries, 2007).

Cuando y donde se desarrollaron las especies cultivadas de quinua, es un tema aún por definirse, sin embargo existen diversas hipótesis. Para algunos investigadores, el centro de origen y domesticación es el altiplano que rodea el lago Titicaca (Gandarillas, 1968 citado por Tapia y Fries, 2007) donde se encuentra la mayor diversidad genética y distribución de especies del género *Chenopodium* (Jacobsen *et. al.*, 1999). Otros autores se refieren a diferentes centros de origen ubicados en los valles interandinos y opinan que las quinuas fueron llevadas al altiplano del lago Titicaca, constituyéndose este en el gran centro de diversificación (Tapia y Fries, 2007).

La quinua fue descrita por primera vez por Willdenow en 1778, como una especie nativa de Sudamérica, cuyo centro de origen, según Buskasov se encuentra en los Andes de Bolivia y Perú (Cárdenas, 1944 citado por PROINPA, 2011). Esto fue corroborado por Gandarillas (1979b), citado por PROINPA (2011) quien indica que su área de dispersión geográfica es muy amplia, no sólo por su importancia social y económica, sino porque allí se encuentra la mayor diversidad de ecotipos tanto cultivados técnicamente como en estado silvestre.

Según Lescano (1994) citado por PROINPA (2011), se identifican cuatro grandes grupos de quinuas según las condiciones agroecológicas donde se desarrolla: valles interandinos, altiplano, salares y nivel del mar, los cuales, presentan características botánicas, agronómicas y de adaptación diferentes.

3.2 CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA (TAXONOMÍA)

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Amaranthaceae
- Subfamilia: Chenopodioideae
- Género: *Chenopodium*
- Especie: *Chenopodium quinoa* Willdenow (APG, 2009)

3.3 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LA QUINUA

La quinua es conocida también como “el cereal madre”, en quechua como “Arroz Inca”, “Trigo Inca o “Han” (China) (Gobierno Boliviano, 2002 citado por Geerts, 2008a). En los últimos años su popularidad ha crecido rápidamente y ha ganado un gran interés en el mundo (Jacobsen 2003, Bhargava *et. al.*, 2006 citados por Geerts, 2008a).

La quinua es una planta dicotiledónea, anual, C3, cuya altura varía desde 0,5 hasta los 2,5 metros, pero se han encontrado cultivares que han alcanzado hasta 3,5 metros de altura; sus raíces son pivotantes y fasciculadas; su tallo puede ser recto o ramificado de color variable y puede medir de 60 centímetros a 2 metros; presenta tres tipos de hojas (romboidales, triangulares y lanceoladas) de acuerdo a la posición de éstas en los tallos.

La planta termina en una panoja cuya altura varía entre 15 y 70 centímetros, la cual está conformada por flores pequeñas, incompletas (no presentan pétalos), hermafroditas y pistiladas con estigma trífido (Mujica *et. al.*, 2001) y produce solo una semilla por flor (FAO *et. al.*, 2012 y Fontúrbel, 2003). El grano varía en tamaño entre 1,5 y 2,5 milímetros de diámetro y en color, dependiendo de la variedad. Existen quinuas de varios colores, por ejemplo: quinuas de color crema, plomo, amarillo, rosado, rojo y morado (Repo, *et. al.*, 2007).

El fruto es un aquenio; cubierto por el perigonio, el cual se desprende con facilidad al frotarlo, cuando el grano está seco. A su vez, la semilla está envuelta por un epispermo casi adherido. El epispermo está formado por cuatro capas: una externa, la cual determina el color de la semilla, de superficie rugosa, quebradiza y seca que se desprende fácilmente; la segunda capa difiere en color de la primera y se observa sólo cuando la primera es traslúcida; la tercera capa es delgada, opaca, de color amarillo; la cuarta es traslúcida y está formada por una sola hilera de células que cubre el embrión. Las saponinas se ubican en la primera membrana, su contenido y adherencia en los granos es muy variable. El grano de quinua almacena los almidones en el perisperma, a diferencia de los cereales que lo hacen en el endospermo (Repo, *et. al.*, 2007).

3.3.1 BIOLOGÍA FLORAL

Mujica *et. al.* (2001) reportan que las flores de la quinua permanecen abiertas de 5 a 7 días. En una misma inflorescencia, la floración dura de 12 a 15 días. Sin embargo, León (2003) menciona que cada flor puede estar abierta hasta por 13 días y que la floración de una panoja puede demorar hasta 3 o 4 semanas. La quinua presenta homogamia, es decir, las flores hermafroditas y pistiladas se abren al mismo tiempo en la misma panoja. El porcentaje de cada tipo de flor varía según los genotipos, habiendo casos en los que se presentan sólo flores pistiladas. Se ha observado también protoginia y protandria y la dehiscencia del polen ocurre desde el amanecer hasta el anochecer. Se han encontrado tres tipos de flores en quinua: hermafroditas, pistiladas y androestériles (Mujica, *et. al.*, 2001).

Este cultivo es una especie autógama con un cierto porcentaje de alogamia cuyo valor depende de la variedad y de la distancia entre las plantas que se puedan cruzar, y oscila entre 2 por ciento al 10 por ciento (León, 2003).

Erquinigo (1970) citado por Mujica *et. al.* (2001) estudió la biología floral en los genotipos Real de Bolivia y Cheweca de Orurillo, Perú y encontró que la mayoría de las flores presentan autogamia, seguida de marcada alogamia, Ignacio (1976) citado por Mujica *et. al.* (2001) observó que el máximo de floración ocurre desde las 10 a.m. a las 2 p.m., siendo este período el óptimo para efectuar cruzamientos y emasculaciones, encontrando una relación directa entre la intensidad de floración con la intensidad solar.

3.4 ADAPTACIÓN

3.4.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y ECOLOGÍA

La quinua es originaria de la zona andina, su cultivo se extiende por todo el altiplano peruano-boliviano-chileno, valles interandinos y otras zonas. Está distribuida desde Colombia (Pasto) hasta el norte de Argentina (Jujuy y Salta) y Chile (Antofagasta), y se ha encontrado un grupo de quinuas del nivel del mar en la Región de Concepción (Lescano, 1994 citado por PROINPA, 2011). La distribución geográfica de la quinua en los Andes se extiende desde los 5° Latitud Norte al sur de Colombia, hasta los 43° Latitud Sur en la Décima Región de Chile, y su distribución altitudinal varía desde el nivel del mar en Chile hasta los 4000 m.s.n.m. en el altiplano que comparten Perú y Bolivia (Rojas, 1998 citado por PROINPA, 2011).

La distribución de la quinua en un territorio amplio con diversidad de climas, suelos, precipitación y altitud ha sido posible gracias a una serie de cambios en las características morfológicas y fisiológicas que han permitido la adaptación del cultivo a diversos ambientes. Se puede afirmar que los subtipos climáticos y nichos ecológicos tienen ecotipos propios, producto de la selección natural y adaptación (Mujica *et. al.*, 2001).

A continuación se presenta un resumen de la distribución de la quinua en la región andina (Rojas *et. al.*, 2010 citado por PROINPA, 2011):

- En **Colombia** en el departamento de Nariño, en las localidades de Ipiales, Puesres, Contadero, Córdova, San Juan, Mocondino y Pasto.
- En **Ecuador** en las áreas de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Loja, Latacunga, Ambato y Cuenca.

- En **Perú** se destacan las zonas de Cajamarca, Callejón de Huayllas, Valle del Mantaro, Andahuaylas, Cusco y Puno (altiplano).
- En **Bolivia** en el altiplano de La Paz, Oruro y Potosí y en los valles interandinos de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y Tarija.
- En **Chile** en el altiplano Chileno (Isluga e Iquique), Concepción y en la Novena y Décima región.
- En **Argentina** se cultiva en forma aislada en Jujuy, Salta y en los Valles Calchaquíes de Tucumán.

Tapia y colaboradores (2000) sugieren que existen según su centro de domesticación, hasta cinco grandes grupos de quinuas y que de acuerdo a su importancia se mencionan de la siguiente manera:

a. QUINUAS DEL VALLE: propias de los valles andinos de 2000 a 3600 msnm, se cultivan mayormente en la parte central y norte del Perú. Son plantas de gran desarrollo, cuya altura varía de 2 a 2,5 m de altura, algunas llegan a medir hasta 3,5 m como las observadas en Urubamba (Perú) y Cochabamba (Bolivia). La mayoría muy ramificadas con períodos vegetativos mayores a los 220 días, rendimientos no muy altos, con panojas de tipo amarantiforme muy laxa y semillas pequeñas. En este grupo se encuentran fuentes de resistencia/tolerancia al mildiú (*Peronospora farinosa*). Pueden crecer en valles secos (Junín) y en valles húmedos. Existen variedades características como la Blanca y Rosada de Junín, Amarilla de Maranganí, Dulce de Quitopampa (Colombia), Dulce de Laso (Ecuador), Nariño, etc.

b. QUINUAS DEL ALTIPLANO: crecen en el área circundante al lago Titicaca, entre los 3600 a 3800 msnm, pero pueden crecer a altitudes mayores. En esta área se encuentra la mayor variabilidad de caracteres y el mayor número de variedades mejoradas. Son plantas de 1 a 1,8 m con tendencia a un solo tallo, panoja terminal glomerulada densa y de semillas más pequeñas que las quinuas del valle, variables en su tolerancia al Mildiú y al ataque de insectos, son resistentes a las heladas. Generalmente con alto contenido de saponina. Este tipo de quinuas también se hallan en las pampas altas. Algunas líneas son precoces (130 – 140 días) y otras son tardías de 210 días. Pueden ser quinuas blancas alrededor del lago Titicaca y de colores en la región agroecológica Suni.

Entre las variedades características se mencionan: quinuas precoces (Illpa-INIA y Salcedo-INIA); semi-tardías: (Blanca de Juli) y tardías (Kancolla, Chewecca, Tahuaco, Amarilla de Marangani).

c. QUINUAS DE LOS SALARES: plantas de 1 a 1.50 m con un tallo principal bien desarrollado, alto contenido de saponina, frutos con los bordes afilados, adaptadas a suelos salinos y con pH alto (7,5 a 8) y prosperan bajo climas muy secos (300 mm de precipitación). Los granos son amargos y tienen alto porcentaje de proteínas. Son propias del Altiplano sur de Bolivia (salar de Uyumi y Mendoza). La variedad Real Boliviana, de semillas grandes (2,3 mm de diámetro), es la más conocida de la zona. Una variedad comercial proveniente de esta zona es la quinua Sajama que se caracteriza por presentar granos dulces y de buen tamaño. Su período vegetativo dura aproximadamente entre 154 y 170 días. Otras variedades son Ratuqui y Rabura, Kellu, Michka, etc.

d. QUINUAS DEL NIVEL DEL MAR: son aquellas que se cultivan al sur de Chile en el área de Concepción y Valdivia, son plantas de tamaño mediano (2m de altura), se caracterizan por presentar granos de color amarillo a rosados y amargos, y porque se adaptan a fotoperiodos más largos. En general, no son ramificadas. Estas quinuas están más adaptadas a climas húmedos y con temperaturas más regulares y sobre todo a latitudes de los 40° LS. Los ecotipos más sobresalientes son: Quechuco de Cautin, Picharan de Maule, Baer, Litu, etc.

e. QUINUAS DE YUNGAS O SUBTROPICALES: localizadas en los valles interandinos de Bolivia, entre los 1500 y 2000 msnm, estas plantas tienen una coloración verde oscura a la floración y en la madurez se tornan naranja, las semillas son pequeñas de color naranja. Alcanzan hasta de 2,20 m. Están adaptadas a climas subtropicales lo cual les permite adecuarse a niveles más altos de precipitación y calor.

En el Perú se cultivan las quinuas del Valle y del Altiplano (Apaza, 1995; Tapia, 2003; León, 2003; Bonifacio, 2003 y Gómez, L. y Eguiluz, A. L. 2011).

3.4.2 ADAPTABILIDAD

La región Andina y, principalmente, el Altiplano peruano - boliviano presentan una de las ecologías más difíciles para la agricultura moderna, cuyos límites altitudinales son de 3000 a 4000 msnm, con suelos frecuentemente aluviales y de escaso drenaje (Espíndola, 1986 citado por PROINPA, 2011), sin embargo es en esa zona donde han desarrollado las especies del Género *Chenopodium*, familia Amaranthacea, subfamilia Chenopodioideaea (APG, 2003), cuya característica principal es su resistencia a condiciones climáticas y edáficas adversas. Las quenopodiaceae pueden sobrevivir en lugares donde otros cultivos no pueden prosperar e incluye cultivos importantes para la producción de alimentos y forraje (National Research Council, 1989 citado por Bonifacio, 2003).

La quinua pertenece a dicho grupo y es caracterizada por una gran variedad y plasticidad entre especies, lo cual le permite crecer bajo condiciones climáticas y agronómicas diversas. Ejemplos de su adaptación excepcional al medio ambiente son: la tolerancia a la sequía (Jensen *et. al.* 2000, García *et. al.* 2003, 2007, Jacobsen *et. al.* 2001, 2003a,b,c, Bois *et. al.* 2006, Geerts *et. al.* 2008 citados por Jacobsen y Soronsen, 2010), a las heladas (Jacobsen *et. al.* 2005, 2007 citados por Jacobsen y Soronsen, 2010), a los suelos salinos (Koyro and Eisa 2008, Rosa *et. al.* 2009, Ruffi no *et. al.* 2010, Jacobsen and Mujica 2003a; Hariadi *etal.*, 2010 citados por Jacobsen y Soronsen, 2010) y otros factores abióticos y bióticos adversos (Jacobsen *et. al.* 2006a, b citados por Jacobsen y Soronsen, 2010; Bertero *et. al.* 2004).

Gracias a su amplia variabilidad genética, está bien adaptada a climas que van desde el desértico hasta los de la Puna, crece desde el nivel del mar hasta altitudes como la del Altiplano donde su cultivo tiene especial importancia (FAO *et. al.*, 2012), puede crecer con humedades relativas desde 40 por ciento hasta 88 por ciento, la temperatura adecuada para el cultivo es de 15 a 20°C, pero puede soportar desde - 4°C hasta 38°C. Es una planta eficiente al uso de agua, es tolerante y resistente a la falta de humedad del suelo, obteniéndose producciones aceptables con precipitaciones de 100 a 200 mm. (PROINPA, 2011).

Según Jacobsen (2003a) este cultivo también crece desde los 40° S hasta 2° N de latitud. Los cultivares de quinua con respuesta neutra al fotoperiodo pueden crecer bajo las condiciones de días largos del norte de Europa (Christiansen *et. al.*, 2010 citado por FAO *et. al.*, 2012). En esta zona, como en Canadá y en las regiones altas el ciclo del cultivo es corto por lo que se requieren cultivares precoces para dichas condiciones. En el sur de Europa, Estados Unidos, en ciertas partes de África y de Asia hay un buen potencial para una mayor producción de quinua (Jacobsen, 2003a). Todo esto hace posible seleccionar, adaptar y desarrollar cultivares para una amplia gama de condiciones ambientales.

En cuanto a la tolerancia al frío se han encontrado plantas de quinua que toleran hasta -5°C cuando se encuentran en la fase de formación de grano, la tolerancia al frío depende de la etapa de desarrollo en que la helada ocurre y de la protección natural de las serranías. (Espíndola, 1986 citado por PROINPA, 2011). Existen reportes que indican que la quinua sobrevive a -7,8°C en las fases de desarrollo iniciales en condiciones de Montecillo, México, ubicada a 2245 msnm; asimismo tolera suelos de diferente textura y pH, e incluso crece en suelos muy ácidos y fuertemente alcalinos (Mujica, 1988 citado por PROINPA, 2011) y diferentes niveles de precipitación, según la zona (PROINPA, 2011).

Según Bonifacio (2003) las especies silvestres relacionadas con la quinua cultivada muestran una gran variabilidad genética y podrían ser usadas en el mejoramiento genético del cultivo. Estas especies son: *C. carnosolum*, *C. petiolare*, *C. ambrosioides*, *C. hircinum* y *Suaeda foliosa*; y están distribuidas en los valles y en el altiplano. Además, son de gran importancia, porque es posible que hayan participado en la evolución de la quinua, por ejemplo: *C. carnosolum*, por su gran tolerancia a la salinidad y *C. petiolare*, por su resistencia a la sequía, incluso, *C. pallidicaule* por su resistencia al frío (Mujica y Jacobsen, 2006).

Debido a su gran potencial como alimento, es muy conocido por Norteamérica, Centroamérica, Brasil, Europa y Asia (FAO *et. al.*, 2012). Algunos resultados indican el potencial de la quinua en África, donde, en el 2009 se sembraron 83 000 ha con quinua y produjeron 69 000 toneladas de grano, con un promedio de 800 kg/ha (FAO, 2011 citado por FAO *et. al.*, 2012).

Por todo lo anterior la quinua, es una de las pocas especies que se desarrolla sin muchos inconvenientes en las condiciones extremas de clima y suelos. La gran adaptación a las variaciones climáticas y su eficiente uso de agua convierten a la quinua en una excelente alternativa de cultivo frente al cambio climático que está alterando el calendario agrícola y provocado temperaturas cada vez más extremas (PROINPA, 2011), así como a la inseguridad alimentaria en el mundo.

3.5 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO

3.5.1 SUELO:

Mujica *et. al.*, (2001) señalan que la quinua prospera en suelos francos, poco arenosos, arenosos o franco arcillosos; semiprofundos, con alto contenido de materia orgánica, con pendientes moderadas; y que en estos suelos se obtienen los mejores rendimientos. Además, señalan que los suelos deben tener buen drenaje, porque la quinua es muy susceptible al exceso de humedad, sobre todo en los primeros estados. Tapia, *et. al.* (2000) señala que puede desarrollarse en suelos arenosos y con déficit de agua con rendimientos aceptables y que en suelos pobres tiene un bajo rendimiento de grano.

3.5.2 pH Y SALINIDAD:

Mujica *et. al.*, (2001) menciona que en estudios realizados se indica que el pH ideal para la quinua son los cercanos a la neutralidad, sin embargo se obtienen producciones buenas en suelos alcalinos de hasta 9 de pH, en los salares de Bolivia y Perú, como también en condiciones de suelos ácidos hasta 4,5 de pH, en la zona de Michiquillay en Cajamarca, Perú. Respecto a la salinidad, algunas investigaciones han demostrado que la quinua puede germinar en concentraciones salinas extremas de hasta 52 mS/cm como en los salares Bolivianos, y que cuando se encuentra en estas condiciones extremas de concentración salina el período de germinación se puede retrasar hasta en 25 días (Jacobsen *et. al.*, 1998; Quispe y Jacobsen, 1999; citados por Mujica *et. al.*, 2001).

Es conveniente recalcar que existen genotipos adecuados para cada una de las condiciones extremas de salinidad o alcalinidad, por ello se recomienda utilizar el genotipo más adecuado para cada condición de pH, y salinidad en el suelo. Esto también se debe a la amplia variabilidad genética de esta planta.

3.5.3 CLIMA

La quinua se adapta a variados climas como el desértico, caluroso y seco en la costa hasta el frío y seco de las grandes altiplanicies, pasando por los valles interandinos templados y lluviosos, llegando hasta la ceja de selva con mayor humedad relativa, a la puna y zonas andinas de grandes altitudes. Por ello es necesario conocer que genotipos son adecuados para cada una de las condiciones climáticas (Mújica *et. al.*, 2001). En general, este cultivo puede soportar más de 35° C, pero no desarrolla adecuadamente, también puede tolerar climas fríos, de hasta -1° C en cualquier etapa de su desarrollo, excepto durante la floración, debido a problemas de esterilidad del polen a bajas temperaturas.

3.5.4 HUMEDAD Y TEMPERATURA:

La quinua es un cultivo con diferentes requerimientos de humedad y temperatura. Estos dependen según el grupo de quinuas al que pertenece. Estos requerimientos se presentan en el Cuadro 1, basado en trabajos de investigación, efectuados en Perú y Bolivia (Tapia, *et. al.*, 2000). Por ejemplo en las quinuas de valle se presentan diferencias entre aquellas que se desarrollan en valles interandinos con acceso al riego, como ocurre en Urubamba (Perú), Cochabamba (Bolivia) y aquellas que se cultivan en secano como en Huaraz, parte alta del Mantaro, Ayacucho y Abancay (Perú). Las primeras alcanzan una altura hasta de 3,5 m (Tapia, 1997).

Las quinuas del altiplano también se producen bajo condiciones variables: las variedades Kcancolla, Blanca de Juli y Tahuaco se desarrollan bajo poca precipitación y condiciones climáticas favorables como en la zona circunlacustre del lago Titicaca, en lagunas o quebradas cercanas a ríos de donde son originarias; en cambio, existen otras variedades que se adaptan a las pampas altas como son la Cheweca y Witulla, con panojas coloreadas y que soportan temperaturas más bajas (Tapia *et. al.*, 2000).

3.5.5 HUMEDAD RELATIVA

Crece sin mayores inconvenientes desde el 40 por ciento de HR en el altiplano hasta 100 por ciento de HR en la costa, esta alta humedad relativa se presenta en los meses de mayor desarrollo de la planta (enero y febrero), lo que facilita que las enfermedades fungosas como el mildiu, progresen con mayor rapidez, por ello en zonas con alta humedad relativa se debe sembrar variedades resistentes al mildiu. (Mujica *et. al.*, 2001).

3.5.6 TEMPERATURA

Aún no hay umbrales definidos de temperaturas óptimas para el desarrollo de la quinua, sin embargo los investigadores sostienen que la temperatura media adecuada para la quinua está alrededor de 15 – 20° C, sin embargo se ha observado que con temperaturas medias de 10° C, el cultivo se desarrolla perfectamente; lo mismo, ocurre con temperaturas medias y altas de hasta 25° C, prosperando adecuadamente. Las variedades de valles están adaptadas a temperaturas que fluctúan entre 10 y 18° C y no son resistentes a las heladas. Jacobsen *et al* (2004) señalan que los ecotipos de Valle pueden presentar hasta 56 por ciento de pérdidas en el rendimiento debido a incidencias de temperaturas de -4°c en la etapa de antesis, mientras que los ecotipos del altiplano presentan pérdidas de 27 por ciento bajo las mismas condiciones en la fase de antesis. Al respecto se ha determinado que esta planta posee mecanismos de escape y tolerancias a bajas temperaturas (Mujica *et. al.*, 2001).

Según Tapia *et. al.*, (2000), la quinua puede soportar hasta menos 5 °C en la fase de ramificación, dependiendo del ecotipo y de la duración de la temperatura mínima. Su resistencia ontogénica al frío y a la sequía es muy variable; existen ecotipos que resisten menos 8 °C, como las de los salares Bolivianos, y sobreviven 20 días (temperatura mensual promedio). La fase más tolerante es la ramificación y las más susceptibles son la floración y llenado de grano. (Mujica *et. al.*, 2001). La floración es muy sensible, pudiendo resistir solo hasta 1° C (Lescano, 1994 citado por Quillatupa, 2009), con temperaturas menores los rendimientos son afectados negativamente. Respecto a las temperaturas extremas altas, se ha observado que temperaturas mayores a 38 °C producen aborto de flores y muerte de estigmas y estambres, imposibilitando la formación de polen, impidiendo así la formación de grano (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1990 citado por Mujica *et. al.*, 2001).

Cuadro 1: Humedad y temperatura según los grupos agroecológicos de quinua

Ecotipo	Precipitación (mm)	T mínima (C°)
Valle	700 – 1500	3
Altiplano	400 – 800	0
Salares	250 – 400	-1
Nivel del mar	800 – 1500	5
Yungas	1000 – 2000	7

FUENTE: Tapia, *et. al.* (2000)

3.5.7 RADIACIÓN

La quinua soporta radiaciones extremas en las zonas altas de los andes; sin embargo estas altas radiaciones permiten compensar las horas de calor necesarias para cumplir con su período vegetativo y productivo. En la zona de mayor producción de quinua del Perú (Puno), el promedio anual de la radiación global (RG) que recibe la superficie del suelo, asciende a 462 cal/cm²/día, y en la costa de Arequipa alcanza a 510 cal/cm²/día. Mientras que en el altiplano central de Bolivia (Oruro), la radiación alcanza a 489 cal/cm²/día y en La Paz es de 433 cal/cm²/día, sin embargo el promedio de radiación neta (RN) recibida por la superficie del suelo o de la vegetación, llamada también radiación resultante alcanza en Puno 176 y en Arequipa 175, mientras que en Oruro 154 y en la Paz, Bolivia 164, solamente debido a la nubosidad y la radiación reflejada por el suelo. (Frere *et. al.*, 1975 mencionados por Mujica *et. al.*, 2001). Vacher *et. al.*, 1998 mencionados por Mujica *et. al.* (2001) determinaron que existen condiciones favorables para la agricultura en el Altiplano de Perú y Bolivia. Además, mencionan que una RG elevada favorece una fotosíntesis intensa y una producción vegetal importante, y además una RN baja se traduce en requerimientos bajos de agua por parte de los cultivos.

3.5.8 FOTOPERIODO

Es la respuesta de los vegetales a la longitud relativa de los periodos de luz y oscuridad y su orden de alternancia (Salisbury, 1961; Zeevart, 1976, et al citados por Gonzales y De la Torre, 2009). En la Latitud sur 15°, alrededor de la cual se tiene las zonas de mayor producción de quinua, el promedio de horas de luz diaria es de 12,19 con un acumulado de 146,3 horas al año (Risi *et.al.*, 1989 citado por Alvarez, 2009).

La respuesta fotoperiódica de la quinua ha sido descrita por diversos autores. Se encontró que los cultivares ecuatorianos necesitaban al menos quince días cortos de 10 horas para inducir antesis (Sívori, 1947 citado por Jacobsen (1998) y Jacobsen y Risi, 1998), mientras que Füller (1949) citado por Jacobsen (1998) y Jacobsen y Risi (1998) encontró que los cultivares de quinua bolivianos florecían bajo un amplio rango de fotoperiodos, pero no bajo iluminación continua. Mientras más corto fue el fotoperiodo, más rápido florecieron. Aunque Simmonds (1965) citado por Jacobsen (1998) y Jacobsen y Risi (1998) argumentó que la floración de la quinua está controlada de una interacción genotipo-nutricional y no por la duración del día, sugiriendo que mientras menos espacio tengan las raíces para desarrollar más rápidamente ocurrirá la floración.

Risi y Galwey, 1984 citados por Jacobsen (1998) y Jacobsen y Risi (1998), señalan que la quinua parece ser cuantitativa de día corto, donde la duración del período vegetativo no solo depende de la duración del día y de la latitud de origen, sino también de la altitud de origen. En consecuencia, los experimentos que incluyeron un gran número de genotipos demostraron que los genotipos de diferentes orígenes variaron en la duración de todas las fases de crecimiento (Risi, 1986; Jacobsen, 1997; Bertero *et. al.*, 1999 citados por Jacobsen (1998) y Jacobsen y Risi, 1998) y todos los cultivares de quinua evaluados se comportaron como plantas cuantitativas de día corto para el tiempo de antesis (Bertero *et. al.*, 1999 citado por Jacobsen (1998) y Jacobsen y Risi, 1998).

La sensibilidad al fotoperiodo y a la temperatura varía entre orígenes. Los cultivares originarios de valles andinos, donde el clima es más cálido se caracterizan por una mayor sensibilidad al fotoperiodo y una fase vegetativa más larga. Los cultivares del Altiplano peruano - boliviano y del nivel mar (Chile) muestran menor sensibilidad al fotoperiodo y una fase vegetativa más corta.

Adicionalmente, los cultivares de quinua poseen una fase juvenil insensible al fotoperiodo, su duración está relacionada negativamente con la latitud de origen. La sensibilidad a la temperatura aumenta para el tiempo a la floración mientras que la sensibilidad al fotoperiodo disminuye a medida que aumenta la latitud de origen (Bertero, 2003). La sensibilidad foto periódica para el llenado de grano cumple una función importante en la adaptación de las plantas al ambiente, sobre todo al final de la ciclo del cultivo. La sensibilidad permite un llenado de grano acelerado cuando el fotoperiodo se acorta. Sin embargo, dicha sensibilidad limita la adaptación de la quinua a latitudes mayores. Por lo tanto, la adaptación de la quinua de origen chileno a mayores latitudes ha sido una selección por carencia o menor sensibilidad al fotoperiodo en el llenado de grano, (Bertero, 2001 citado por Gonzales y De la Torre, 2009). Conocer la variación de la sensibilidad al fotoperiodo y su base genética, permite obtener genotipos que pueden desarrollar en latitudes altas con poca o ninguna sensibilidad, o sembrar cultivares en los lugares tradicionales de los Andes con mayor sensibilidad (Jacobsen, 1998 y Jacobsen y Risi, 1998).

Bertero (2001) citado por Jacobsen (1998) y Jacobsen y Risi (1998), indica que la complejidad de la respuesta fotoperiódica de la quinua es tal, que durante el llenado de grano y pre – anthesis, pueden afectar el crecimiento de semillas; además la misma respuesta es afectada por la temperatura. En un estudio realizado con los cultivares Kancolla y Blanca de Junín, se observó que la mayor inhibición del llenado de granos y la mayor reducción en el rendimiento, ocurren cuando existe la combinación de temperaturas altas y días largos, y que todas las fases de desarrollo son sensibles al fotoperiodo (Bertero, 2003).

3.5.9 AGUA, PRECIPITACIÓN Y RIEGOS

La quinua prospera con diferentes niveles de precipitación, ésta depende de la zona agroecológica y del genotipo al que pertenece la planta. Varía desde el rango de 200 y 250 mm en los salares de Bolivia (Tapia *et. al.*, 2000), llegando a producir 1500 kg/ha (Mujica *et al*, 1998 citado por Aguilar y Jacobsen, 2003), hasta 2600 mm en Concepción – Chile (Mujica *et. al.*, 2001).

En los andes ecuatorianos crece con precipitaciones desde 600 a 880 mm, en el Valle de Mantaro de 400 a 500 mm, en la zona del Lago Titicaca de 500 a 800 mm y en Puno de 250 a 500 mm (Canahua *et. al.*, 2001 citado por Quillatupa, 2009). Conforme se desplaza hacia el sur del Altiplano boliviano y el norte chileno, la precipitación va disminuyendo hasta niveles de 50 a 100 mm, condiciones bajo las cuales también se produce quinua y el Altiplano Sur de Bolivia es considerado la principal área geográfica donde se produce el cultivo y se cubre gran parte de la demanda internacional del producto (PROINAP, 2011). Aunque muestra alta resistencia a períodos de sequía, requiere suficiente humedad en la fase inicial del cultivo (Tapia *et. al.*, 2000), generalmente, la quinua es favorecida con lluvias durante las fases de crecimiento y desarrollo, mientras que durante la maduración y cosecha requiere de condiciones de sequedad (Mujica, 1993 citado por Quillatupa, 2009).

Las fases fenológicas en las cuales la precipitación es más importante son la germinación, la formación del botón floral, la floración y el llenado inicial del grano (Mujica *et. al.*, 1998 citados por Aguilar y Jacobsen, 2003; Geerts, 2008a).

La quinua responde positivamente al riego durante periodos secos, especialmente en las fases fenológicas mencionadas anteriormente. Por otro lado, la quinua es susceptible al exceso de precipitación y al drenaje insuficiente. En el Altiplano se siembran en camas altas o waru warus para facilitar el drenaje y la aireación de las raíces, así como para evitar la inundación (Aguilar y Jacobsen, 2003).

Mujica *et. al.*, (2001), señalan que la quinua es una planta eficiente en el uso del agua puesto que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten tolerar a los déficit de humedad. Sin embargo, la quinua es susceptible al exceso de humedad en sus primeros estadios (Tapia *et. al.*, 2000). En base a estudios realizados en Argentina, se halló que un estrés hídrico moderado incrementa la producción de biomasa y crecimiento (Gonzales *et. al.*, 1974, citados por Tapia *et. al.*, 2000). En caso de utilizar riegos, estos deben ser periódicos y ligeros. Los sistemas de riego pueden ser por gravedad, por aspersión o por goteo.

En la costa, donde no hay precipitaciones, se recomienda utilizar riego por aspersión por las mañanas muy temprano o por las tardes, cerca al anochecer, para evitar la excesiva evapotranspiración y que el viento lleve las partículas de agua a otros campos, produciendo un riego ineficiente (Mujica *et. al.*, 2001). Una frecuencia de dos horas cada seis días es suficiente para el normal crecimiento y producción de la quinua bajo riego por aspersión (Cárdenas, 1999, citado por Mujica *et. al.*, 2001). Si se utiliza riego por goteo, se debe sembrar en líneas de dos surcos para aprovechar mejor el espacio y la humedad disponible de las cintas de riego.

Geerts (2008a), desarrollaron una estrategia de riego en varias localidades del Altiplano Boliviano. Consistió en aplicar riego en las etapas fenológicas susceptibles a la sequía (establecimiento del cultivo, floración y llenado inicial del grano) y permitir el estrés hídrico durante las etapas tolerantes a la sequía. Es llamado riego deficitario (ID) y permite aumentar en gran medida la productividad del agua en el cultivo de quinua, estabilizando la producción en vez de maximizarla e incrementando al máximo la productividad del agua, ya sea de lluvia o de riego. Se comparó la productividad de la quinua bajo riego deficitario, bajo secano y bajo irrigación completa (IC), obteniéndose resultados buenos y estables con el primero. Se obtuvo hasta 1600 kg/ha en las regiones semiáridas, con un buen tamaño de grano. Los resultados indicaron que la producción de quinua en los tres altiplanos (norte, central y sur) se pueden estabilizar en 4 años de 5, a un mínimo de 2200, 1600 y 1500 kg/ha respectivamente. En cultivo de secano, la producción confiable en 4 años de 5 solo alcanza a 1100, 500 y 200 kg/ha. Finalmente, concluyeron que con una cantidad limitada de agua de riego (ID) el rendimiento de quinua podría ser estabilizado al 60 y 70 por ciento de su potencial.

El riego deficitario ya se practica para la reintroducción de quinua en regiones áridas de Chile (FAO *et. al.*, 2012). Por otro lado, actualmente la quinua es cultivada rara vez bajo riego durante todo el ciclo del cultivo (IC), porque, según las investigaciones realizadas en el altiplano Boliviano, sólo se obtiene resultados ligeramente mejores que los obtenidos con quinua cultivada bajo ID (Geerts *et. al.*, 2008b). Además no hay suficiente agua disponible para la irrigación completa (IC) (FAO *et. al.*, 2012).

3.5.10 ALTITUD

Según Mujica *et. al.*, (2001), este cultivo crece y se adapta desde el nivel del mar hasta cerca de los 4000 msnm. Tapia y Ames (2007), señalan que la altitud óptima para las quinuas del Valle va de 2000 a 3 400 msnm y para las quinuas de Altiplano va de 3800 a 4000, por otro lado. En general, el mejor desarrollo del cultivo se tiene entre los 2800 a 3900 msnm para la zona andina (Soto, 2010).

Mujica *et. al.*, (2001) señalan que las Quinuas sembradas al nivel del mar disminuyen su período vegetativo, comparadas con quinuas de la zona andina, además sostienen que el mayor potencial productivo se obtiene al nivel del mar alcanzando rendimientos de hasta 6000 Kg/ha con riego y buena fertilización.

3.6 FENOLOGÍA

La fenología, es el estudio de los cambios externos diferenciables y visibles que muestran las plantas como resultado de sus relaciones con las condiciones ambientales (temperatura, luz, humedad, suelo) del lugar donde se desarrollan. La fenología mide las diferentes fases de desarrollo de la planta, a través de la observación y determina los distintos eventos de transformación fenotípica de la planta, dando rangos de tiempo comprendidos entre una y otra etapa (Mujica, 2006).

Las fases pueden ser vegetativas o reproductivas y cuando se manifiestan exteriormente son llamadas fases visibles (desarrollo del botón floral, floración, etc.). Las fases invisibles son aquellas que no se pueden apreciar a simple vista como la germinación, lo cual hace más complejo su observación y registro (Gastiazoro, 2002 citado por Quillatupa, 2009). El tiempo que transcurre entre dos fases sucesivas de una planta se denomina etapa (Fuentes, 1996 citado por Quillatupa, 2009).

El tiempo desde la emergencia hasta la madurez fisiológica es afectado por la latitud y el clima (Gesinski, 2008). En Sudamérica y en Europa, *Chenopodium quinoa* necesita días largos para crecer y desarrollar (Gesinski, 2006 citado por Gesinski 2008).

En general, el ciclo de crecimiento, varía entre 80 y 240 días debido a la amplia variación entre cultivares (Spehar y Lorena de Barros Santos, 2002; Delgado, 2009 y FAO *et. al.*, 2012). Autores como Delgado (2009), señala que el ciclo del cultivo en los países andinos varía de 150 a 240 días y en Brasil, de 80 a 150 días (Spehar y Lorena de Barros Santos, 2002). Adicionalmente, la fenología es muy flexible en respuesta al estrés por agua, con diferencias en el tiempo a la maduración de hasta 30 días para el mismo cultivar (Geerts *et. al.*, 2008c citado por FAO *et. al.*, 2012). Bajo condiciones sin estrés el tiempo desde la siembra a la emergencia es de 3 a 10 días. La fenología se complica aún más por una respuesta al fotoperiodo. Con una respuesta de día corto para la duración desde la emergencia hasta la floración y para algunos cultivares para todas las fases (Bertero, 2003).

La floración comienza entre los 60 y 120 días y dura aproximadamente 20 días. La senescencia comienza aproximadamente un mes antes de la madurez fisiológica y avanza relativamente rápido. Estos valores son dados para cultivares que crecen a gran altitud y podrían estar sesgados porque las condiciones de crecimiento (temperatura, fertilidad, suministro de agua) no son óptimas (FAO *et. al.*, 2012).

Mujica (2006), determinó que la fenología de la quinua atraviesa por 13 fases importantes y claramente distinguibles. Las fases son las siguientes:

3.6.1 EMERGENCIA: es cuando los cotiledones emergen del suelo a manera de una cabeza de fósforo y es distinguible solo cuando uno se pone al nivel del suelo, en esta etapa es muy susceptible de ser consumido por las aves por su succulencia y exposición de la semilla encima del talluelo, ello ocurre de los 5-6 días después de la siembra, en condiciones adecuadas de humedad.

3.6.2 HOJAS COTILEDÓNEAS: es cuando los cotiledones emergidos se separan y muestran las dos hojas cotiledóneas extendidas de forma lanceolada angosta, pudiendo observarse en el surco las plántulas en forma de hilera nítida., en muchos casos se puede distinguir la coloración que tendrá la futura planta sobre todo las pigmentadas de color rojo o púrpura, también en esta fase es susceptible al daño de aves, debido a la carnosidad de sus hojas, esto ocurre de los 7-10 días después de la siembra.

3.6.3 DOS HOJAS VERDADERAS: es cuando, fuera de las dos hojas cotiledóneas, aparecen dos hojas verdaderas extendidas que ya tienen forma romboidal y con nervaduras claramente distinguibles y se encuentran en botón foliar el siguiente par de hojas, ocurre de los 15-20 días después de la siembra, mostrando un crecimiento rápido del sistema radicular, en esta fase puede ocurrir el ataque de los gusanos cortadores de plantas tiernas (*Copitarsia, Feltia*) “Ticuchis”.

3.6.4 CUATRO HOJAS VERDADERAS: es cuando ya se observa dos pares de hojas verdaderas completamente extendidas y aún se nota la presencia de las hojas cotiledóneas de color verde, encontrándose en botón foliar las siguientes hojas del ápice de la plántula e inicio de formación de botones en las axilas del primer par de hojas; ocurre de los 25-30 días después de la siembra, en esta fase ya la planta tiene buena resistencia a la sequía y al frío, porque ha extendido fuertemente sus raíces y muestra movimientos násticos nocturnos cuando hace frío, dada la presencia de hojas tiernas, se inicia el ataque de insectos masticadores de hojas, *Epitrix* y *Diabrotica* ” Pulguilla saltona y Loritos” sobre todo cuando hay escasez de lluvias.

3.6.5 SEIS HOJAS VERDADERAS: se observa tres pares de hojas verdaderas extendidas, tornándose amarillas y flácidas, las hojas cotiledóneas, se puede notar los botones axilares e incluso algunos en apertura, siendo evidente la presencia de hojas axilares, la cual inicia en la base de la planta y se dirige hacia el ápice de la misma. Esta fase ocurre de los 35-45 días después de la siembra, en la cual se nota con mayor claridad la protección del ápice vegetativo por las hojas más adultas, especialmente cuando se presentan bajas temperaturas, sequía y sobre todo al anochecer.

3.6.6 RAMIFICACIÓN: se nota 8 hojas verdaderas extendidas y las hojas axilares extendidas hasta la tercera fila de hojas en el tallo, las hojas cotiledóneas se caen y dejan cicatrices claramente notorias en el tallo, también se observa la presencia de la inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto la panoja, ocurre de los 45 a 50 días después de la siembra.

En esta fase se efectúa el aporque para las quinuas de valle, así mismo es la etapa de mayor resistencia al frío y se nota con mucha nitidez la presencia de cristales de oxalato de calcio en las hojas dando una apariencia cristalina e incluso de colores que caracterizan a los distintos genotipos; debido a la gran cantidad de hojas es la etapa en la que mayormente se consume las hojas como verdura, hasta esta fase el crecimiento parece ser lento, para luego alargarse rápidamente.

3.6.7 INICIO DE PANOJAMIENTO: la inflorescencia va emergiendo del ápice de la planta, observándose alrededor aglomeraciones de hojas pequeñas con bastantes cristales de oxalato de calcio, las cuales van cubriendo a la panoja en sus tres cuartas partes. Ello ocurre de los 55 a 60 días después de la siembra; así mismo se puede ver amarillamiento del primer par de hojas verdaderas (hojas que dejaron de ser fotosintéticamente activas) y se produce una fuerte elongación del tallo, así como engrosamiento. En esta fase ocurre el ataque de la primera generación de *Eurisacca quinoa* Povolmy “kcona-kcona”. En esta fase, la parte más sensible a las heladas no es el ápice, sino por debajo de este y sólo en caso de que temperaturas bajas severas afecten a la planta, se produce el colgado del ápice.

3.6.8 PANOJAMIENTO: la inflorescencia sobresale con mucha nitidez por encima de las hojas superiores, notándose los glomérulos de la base de la panoja, los botones florales individualizados sobre todo los apicales que corresponderán a las flores pistiladas. Esta etapa ocurre de los 65 a 70 días después de la siembra; a partir de esta etapa se puede consumir las panojas tiernas como verdura.

3.6.9 INICIO DE FLORACIÓN: es cuando las flores hermafroditas apicales de los glomérulos se encuentran abiertos, mostrando los estambres separados de color amarillo, ocurre de los 75 a 80 días después de la siembra, en esta fase es bastante sensible a la sequía y heladas. Ocurre amarillamiento y defoliación de las hojas inferiores sobre todo aquellas de menor eficiencia fotosintética.

3.6.10 PLENA FLORACIÓN: es cuando el 50 por ciento de las flores de la inflorescencia principal (cuando existan inflorescencias secundarias) se encuentran abiertas, esto ocurre de los 90 a 100 días después de la siembra, esta fase es muy sensible a las heladas, pudiendo resistir solo hasta -2°C , esta fase debe observarse al medio día, ya que en horas de la mañana y al atardecer las flores se encuentran cerradas, por ser heliófilas. Adicionalmente, la planta elimina en mayor cantidad las hojas inferiores que son menos activas fotosintéticamente y existe abundancia de polen en los estambres que tienen una coloración amarilla.

3.6.11 GRANO LECHOSO: fase durante la cual los frutos al ser presionados entre las uñas de los dedos pulgares, explotan y dejan salir un líquido lechoso, ocurre de los 100 a 130 días después de la siembra. En esta fase el déficit de agua es perjudicial para la producción.

3.6.12 GRANO PASTOSO: es cuando los frutos al ser presionados presenta una consistencia pastosa de color blanco, ocurre de los 130 a 160 días después de la siembra, en esta fase el ataque de la segunda generación de *Eurissacca quinoae* Povolny “Kcona-Kcona” causa daños considerables, así mismo el déficit de humedad afecta fuertemente a la producción.

3.6.13 MADUREZ FISIOLÓGICA: es la fase en la que la planta completa su madurez, y se reconoce cuando los granos al ser presionados por las uñas presentan resistencia a la penetración, ocurre de los 160 a 180 días después de la siembra, en esta etapa el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16 por ciento; el lapso comprendido desde la floración hasta la madurez fisiológica, viene a constituir el período de llenado de grano.

Bonifacio *et. al.* (2007) citado por Quillatupa (2009) diferenciaron entre las fases de floración y grano lechoso una fase claramente distinguible y la denominaron fase de grano acuoso.

3.7 RENDIMIENTO

Los rendimientos varían en función a la variedad, fertilidad, drenaje, tipo de suelo, manejo del cultivo en el proceso productivo, factores climáticos, nivel tecnológico, control de plagas y enfermedades, obteniéndose entre 800 kg/ha a 1500 kg/ha en años buenos. Sin embargo según el material genético se puede obtener rendimientos de hasta de 3000 kg/ha (Tapia *et. al.*, 2000).

Mujica (1983) citado por Mujica et al, 2001 sostiene que el rendimiento potencial de grano es de 11 t/ha. Sin embargo la producción más alta obtenida, en promedio, en condiciones óptimas de suelo, humedad, temperatura y en forma comercial está alrededor de 6 t/ha. En la práctica, en condiciones adecuadas de prácticas agrícolas, fertilización y humedad, se obtienen rendimientos de 3,5 t/ha. En campos de secano, en el altiplano, la producción no excede los 850 kg/ha (Mujica *et. al.*, 2001), sin embargo se han obtenido rendimientos en el rango de 600 a 2500 kg/h (Tapia y Fries, 2007). Tal es así que durante la segunda mitad del 2012 se tuvo rendimientos de entre 1200 y 1500 kg/ha en Puno (comunicación oral de una productora de quinua de Puno). Mientras que en los valles interandinos el rendimiento promedio es de 1500 kg/ha (Mujica *et. al.*, 2001) y el rango va desde 700 a 2800 kg/ha (Tapia y Fries, 2007). En general, el rendimiento promedio nacional se encuentra entre los 800 y 1000 kg/ha (Siicex).

Mujica *et. al.* (2001), señalan que los rendimientos varían de acuerdo a las variedades, puesto que existen unas con mayor capacidad genética de producción que otras. También varían de acuerdo a la fertilización o abonamiento proporcionado. La quinua responde favorablemente a una fertilización sobre todo nitrogenada y fosfórica. Además, las labores culturales y los controles fitosanitarios deben ser proporcionados oportunamente durante el ciclo del cultivo de quinua. En general las variedades nativas son de rendimiento moderado, resistentes a los factores abióticos adversos, pero específicas para un determinado uso y de mayor calidad nutritiva.

Cuadro 2: Promedios de rendimientos de quinua en diferentes años según la precipitación, el nivel de fertilización y el efecto de plagas y enfermedades

Cultivo	Rendimientos (kg/ha)			Pérdidas de Producción	
	Año seco	Año húmedo	Según nivel de fertilización	Efecto de Plagas	Efecto de enfermedades
Quinua	1000 - 1500	600 - 1000	Baja: 600	40 - 50por ciento	20 - 30por ciento
			Media: 1200		
			Alta: 1800		

No están incluidas las pérdidas por efecto de las granizadas, el exceso de humedad, la variedad y ataque de pájaros.

FUENTE: numerosas experiencias de campo en Puno, Cajamarca y Junín, Perú.

Citados por Tapia y Fries (2007).

Cuadro 3: Rendimientos potenciales de la quinua en el altiplano de Puno

Rendimiento	Año según precipitación	kg/ha
Bajo	Seco	500-700
Mediano	Muy lluvioso	700-900
Alto	Intermedio/sin heladas	1200-1800

FUENTE: Tapia, 2010. Disponible en

<http://www.ecoticias.com/naturaleza/67270/2012/06/21/quinua-amaranthus-blitum-inca-garcilaso->

En lo que respecta a la producción de materia seca después de la cosecha alcanza en promedio a 16.0 t/ha (incluido grano, tallos y broza), pudiéndose obtener en promedio 7.2 t/ha de tallos, 4.7 t/ha de broza (hojas, partes de inflorescencia, perigonios y pedicelos) y 4.1 t/ha de grano (Mujica *et. al.*, 2001).

3.8 ÍNDICE DE COSECHA

El índice de cosecha, es un marco fisiológico útil para investigar los efectos del ambiente y del genotipo en el comportamiento del cultivo, es definida como la eficiencia biológica con respecto a la cantidad de grano producida (Apaza, 1995; Charles – Edwards, 1982 citados por Bertero, *et. al.*, 2004). El índice de cosecha es calculado como la proporción de la materia seca del grano sobre la materia seca (Bertero, *et. al.*, 2004). En quinua se obtiene de la relación entre el peso de la semilla (rendimiento económico) y el peso seco de toda la planta, incluyendo la semilla (rendimiento biológico) (PIWANDES, 2008).

El índice de cosecha de quinua en el campo se encuentra entre 0,3 y 0,5. El desarrollo del índice de cosecha toma poco tiempo para los cultivares precoces y desde 80 a 100 días para los tardíos (FAO *et. al.*, 2012). En un estudio realizado por Spehar y Santos en Brasil, se encontraron valores de índice de cosecha bajos para genotipos tardíos y valores altos para genotipos precoces, esto demuestra que es posible desarrollar quinua para producciones altas de grano y biomasa en los sistemas agrícolas de zonas donde las temperaturas son altas, como Brasil (Spehar y Santos, 2005).

3.9 PESO DE MIL GRANOS

El peso de mil granos es un parámetro con el que se mide indirectamente la calidad del grano ya que a mayor peso de mil granos se tendrá granos mejor llenados y de mayor calidad (Apaza, 1995). El tamaño de los granos varía bastante entre cultivares, bajo condiciones sin estrés el peso de mil grano está entre 1,2 y 6 gramos (Rojas, 2003 citado por FAO *et. al.*, 2012).

3.10 UNIDADES DE CALOR O UNIDADES TÉRMICAS ACUMULADAS

La temperatura tiene gran influencia sobre los cultivos y es clave en la determinación de la fecha de siembra, cosecha y las variables de producción. Las unidades térmicas son uno de los índices más comúnmente utilizados para estimar el desarrollo de las plantas y predecir la fecha de cosecha (Hoyos *et. al.*, 2012).

La temperatura influye sobre la duración de las diferentes fases fenológicas, las cuales afectan la productividad de los cultivos (Tewari y Singh, 1993 citados por Hoyos *et. al.*, 2012) y es considerado el elemento que tiene mayor importancia sobre la tasa o velocidad de crecimiento y el desarrollo de las plantas (Machado *et. al.*, 2006; Ritchie y Ne Smith, 1991 citados por Hoyos *et. al.*, 2012).

El conocimiento de la duración exacta de las fases de desarrollo y su interacción con los factores ambientales, es esencial para alcanzar rendimientos máximos en las plantas cultivadas, ya que determinan factores como el llenado de frutos que influye directamente sobre la productividad del cultivo (Prabhakar *et. al.*, 2007 citados por Hoyos *et. al.*, 2012).

Desde 1730, Reaumur introduce el concepto de unidades de calor o unidades térmicas (HU, por *Heat Units*) cuya unidad de medida son los grados día (GDD por *Growing Degree Days* - °D días) (McMaster *et. al.*, 1997 y UC IPM). Se afirma que el crecimiento de una planta varía de acuerdo con una cantidad de calor a la cual ella está sometida durante toda su vida; a esta cantidad de calor se le llama grado – día (Salazar, 1994). Los organismos vivos requieren una cierta cantidad de calor para desarrollar desde una fase en su ciclo de vida a otra. Esta medida del calor acumulado se conoce como tiempo fisiológico. Teóricamente, este concepto involucra la combinación adecuada de grados de temperatura y el tiempo cronológico, y es siempre el mismo. El Tiempo fisiológico se expresa en grados-día (UC IPM online).

Se han usado varios métodos para calcular los grados día, los cuales han sido útiles para la agricultura, principalmente en las áreas de fenología y desarrollo de los cultivos, mejorando ampliamente la predicción y descripción de los eventos fenológicos (Cross and Zuber, 1972; Gilmore and Rogers, 1958; Klepper *et. al.*, 1984; McMaster, 1993; McMaster and Smika, 1988; Russelle *et. al.*, 1984 citados por McMaster *et. al.*, 1997).

Aunque la acumulación de grados día para las diferentes etapas de desarrollo es relativamente constante e independiente de la fecha de siembra, cada híbrido, variedad o cultivar de una especie, puede tener valores específicos para estos parámetros (Phadnawis y Saini, 1992; Qadir *et. al.*, 2006 citados por Hoyos *et. al.*, 2012).

La forma modelo para calcular los grados día (GDD) o unidades de calor (U.C) es:

$$U.C = \{(T^{\circ} \text{ max.} + T^{\circ} \text{ min.}) / 2\} - T^{\circ} 0$$

T° max: Temperatura máxima, T° min: temperatura mínima, T° 0: temperatura base

T°0, es la temperatura por debajo de la cual el proceso fenológico en estudio no se lleva cabo. La temperatura base varía entre especies y posiblemente entre cultivares, además, probablemente varía con la etapa de crecimiento en estudio (Wang, 1960 citado por McMaster *et. al.*, 1997). La intención de la ecuación es describir la energía térmica recibida por el cultivo durante un período de tiempo dado (McMaster *et. al.*, 1997), es decir es la cantidad fija de calor requerida para que una fase determinada de desarrollo se lleve a cabo, la temperatura es cuantificada positivamente por encima de un umbral de temperatura o temperatura base, cada día (Bois *et. al.*, 2006).

Un grado – día es una unidad de medida que se obtiene de la diferencia de temperatura media diaria y el umbral inferior de desarrollo o temperatura base para una especie. Ejemplo: si la temperatura base de una especie es de 10° C y la temperatura media diaria es de 16° C se obtiene 6 ° C grados – día. Los grados días también son conceptuados como la sumatoria del calor efectivo para el crecimiento de plantas, acumulado durante un día. (Salazar, 1994 y UC IPM).

Se han realizado muchas modificaciones para mejorar el significado biológico de la ecuación, por ejemplo: se ha incorporado un umbral superior de temperatura (Gilmore y Rogers, 1958; McMaster y Smika, 1988; Wang, 1960 citados por McMaster *et. al.*, 1997), se ha convertido las unidades de calor mediante la adición del fotoperiodo (Masle *et. al.*, 1989; Nuttonson, 1948 citados por McMaster *et. al.*, 1997), se ha usado sólo la temperatura máxima o mínima o una porción del día (Cross y Zuber, 1972; Masle et al, 1989 citados por McMaster *et. al.*, 1997), y se ha incorporado funciones para otros factores ambientales que afectan la fenología o el proceso en estudio como por ejemplo el agua, los nutrientes, la calidad de luz o cantidad de CO (McMaster et al, 1992b;. Wilhelm y McMaster, 1995 citados por McMaster *et. al.*, 1997).

También, se han hecho esfuerzos por mejorar la forma de representar la ecuación, como por ejemplo, calcular la temperatura media utilizando temperaturas horarias (Cross y Zuber, 1972 citados por McMaster *et. al.*, 1997) o modificando otros patrones de temperatura diurnas (Allen, 1976; Pruess, 1983; Zalom et al, 1983 citados por McMaster *et. al.*, 1997) y corrigiendo los tiempos para la temperatura máxima y mínima (DeGaetano y Knapp, 1993 citados por McMaster *et. al.*, 1997). Aunque estos esfuerzos mejoran la exactitud de las predicciones, siguen existiendo errores en la determinación de los grados día, por lo cual es conveniente señalar y describir la fórmula que se está usando para un experimento dado (McMaster *et. al.*, 1997).

Quillatupa (2009) cita a Snyder, *et. al.*, (1999), quien plantea calcular los grados – día (°D) en base a los grados – hora (°H). Los mismos autores definen que un grado – hora es considerado cuando la temperatura del aire está un grado por encima de la temperatura base de crecimiento por el lapso de una hora. Se asume que las tasas de desarrollo son insignificantes cuando la temperatura del aire está por debajo de la temperatura base de desarrollo. Si la temperatura es mayor en un grado a la temperatura base, entonces los grados – hora serán igual a la temperatura del aire menos la temperatura base de desarrollo establecida previamente para el cultivo. Como resultado, una diferencia grande entre la temperatura base y la temperatura del aire implica más grados hora y una tasa de desarrollo más rápida. Los grados – día son calculados como el total de grados – hora por un día dividido entre 24. Los mismos autores sostienen que la información de temperaturas máximas y mínimas por horas, diarias, son usadas con frecuencia para estimar grados – día por aproximación a las tendencias de las temperaturas diurnas. El rango de error en los cálculos es menor al utilizar las temperaturas medias horarias que las temperaturas medias diarias.

Las temperaturas cercanas al óptimo favorecen el crecimiento de la plantas, mientras que las bajas limitan de manera importante el crecimiento; temperaturas altas y constantes durante varios días, pueden ser muy perjudiciales, sobre todo si la humedad del suelo es baja (Hall *et. al.*, citado por Jarma *et. al.*, 2012). Adicionalmente, White (1985) citado por Quillatupa (2009), menciona que las bajas temperaturas retardan el crecimiento, mientras que las altas causan una aceleración en el desarrollo.

La temperatura umbral máxima o el umbral superior de desarrollo de un organismo es la temperatura por encima de la cual la tasa de crecimiento comienza a disminuir o el desarrollo se detiene y la temperatura umbral mínima o el umbral inferior de desarrollo es la temperatura por debajo de la cual la fisiología de la planta es afectada y el desarrollo se detiene (UC PIM). Las temperaturas por encima o por debajo de los umbrales de desarrollo, son las temperaturas letales, causan daño y la muerte de tejidos (Castillo y Castellví, 1996).

De forma complementaria Neild y Smith (1983), sostienen los siguientes conceptos:

- Existe una temperatura base (T_b), bajo la cual las plantas no desarrollan.
- La tasa de desarrollo aumenta cuando la temperatura ambiental es mayor que la temperatura base (T_b).
- Las variedades de los cultivos requieren de diferentes valores acumulados de grados – día (D°) en función a su ciclo de desarrollo.

Castillo y Castellví (2001) citados por Quillatupa (2009) mencionan que numerosas compañías productoras de semillas se basan en las unidades de calor para la programación de las cosechas y no en días calendario, esto se debe a que una variedad de cualquier cultivo producida en dos regiones diferentes no requieren el mismo número de días desde la germinación hasta la maduración, sin embargo, las unidades de calor necesarias son muy similares.

3.10.1 UNIDADES DE CALOR EN QUINUA

Salazar (1994), evaluó la fenología de 20 genotipos de quinua en el distrito de Anta en el Departamento de Ancash – Perú. Clasificó a los 20 genotipos en tres grupos de acuerdo al lugar de procedencia y a características fenotípicas. En cuanto a la fenología precisó 5 etapas que fueron: germinación, dos pares de hojas verdaderas, panojamiento, floración y maduración. El promedio de los 20 genotipos en cuanto a las unidades de calor acumulados en grados – día fueron: 57.93; 147.69; 487,70; 629,19 y 1068,60 respectivamente. Y utilizó la siguiente fórmula para calcular las unidades de calor diarias.

$$U.C = \{(T^{\circ} \text{ max.} + T^{\circ} \text{ min.})/ 2\} - T^{\circ} 0$$

T° max: Temperatura máxima, T° min: temperatura mínima, T° 0: temperatura base *

*Salazar (1994) utilizó como temperatura base 10°C porque esta es la temperatura base del maíz y este cultivo crece en asociación con el de quinua en el Callejón de Huaylas (Ancash).

Salinas *et. al.*, (2007), citado por Quillatupa (2009) mediante el uso de una estación meteorológica automática, instalado en la cercanía del área de cultivo, determinaron la acumulación de grados – día (°D) en forma diaria. Estos resultados se relacionaron con la ocurrencia de los estados fenológicos representativos de la quinua en el altiplano chileno, a unos 3800 msnm en la localidad de Ancovinto, Región de Tarapacá – Chile. Las quinuas que utilizaron correspondieron a variedades locales, con las cuales determinaron que las etapas fenológicas acumularon las siguientes cantidades de unidades de calor: siembra a emergencia 72,5 G.D., de siembra a primer par de hojas verdaderas 139,5 G.D., de siembra a segundo par de hojas verdaderas 243,0 G.D; de siembra a tercer par de hojas verdaderas 344,5 G.D; de siembra a inicio de panoja 441,5 G.D; de siembra a inicio de floración 534,0 G.D; de siembra a floración plena 596,5 G.D.; de siembra a grano pastoso 1161.5 G.D.; de siembra a madurez fisiológica 1243,5 G.D.

Quillatupa (2009), determinó las unidades de calor para cada fase fenológica de 16 genotipos de quinua, bajo condiciones de costa central, en La Molina – Lima. Recabó el registro diario de temperaturas medias por horas (T°m) de la Estación Meteorológica Automática, ubicada en la Estación Alexander Von Humboldt en la UNALM. Usó 7° C como temperatura base (Tb), por ser la temperatura mínima promedio del centro de origen de la quinua (Altiplano Peruano – boliviano) esto lo menciona como una comunicación personal de Mario Tapia. Los cálculos los hizo en planillas de Excel, de acuerdo a lo planteado por Snyder *et al* (1999) quienes calculan °D (grados día) en base a °H (grados hora).

$$^{\circ}D = (\sum^{\circ}H)/24 \text{ siendo } ^{\circ}H = T^{\circ}m - T_b$$

Después correlacionó las unidades de calor con las fases fenológicas previamente determinadas. Las unidades de calor acumuladas requeridas para culminar cada fase fueron: germinación 44,32; desarrollo vegetativo 316,29; ramificación 269,32 (requerimiento para empezar la fase); desarrollo del botón floral 443,36; desarrollo de la inflorescencia 623,50; floración 864,21; antesis 1220, 28; grano acuoso 1219, 14; grano lechoso 1441,14 y grano pastoso 1804,29.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

4.1.1 UBICACIÓN DE LA ZONA EXPERIMENTAL

El presente experimento se llevó a cabo en el campo Guayabo 2, conocido comúnmente como Tomatillo, ubicado en la calle Raúl Ferrero, a espaldas de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima – Perú. La ubicación geográfica es la siguiente: (a) departamento: Lima, (b) distrito: La Molina, (c) latitud: 12°4'52,2042" sur, (d) longitud: 76°57'6,4938" oeste y (e) altitud: 243,7 msnm.

El cultivo previo sembrado durante la campaña 2011 I fue centeno (*Secale cereale*).

4.1.2 ANÁLISIS DE SUELO

Los suelos de la Molina se encuentran situados fisiográficamente en una terraza media de origen aluvial. Para la caracterización fisicoquímica del suelo donde se llevó a cabo el experimento, se realizó un muestreo del mismo. El análisis se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Los resultados se presentan en el ANEXO 5.

El suelo presenta una textura franco arenoso, lo cual lo caracteriza como un suelo con baja capacidad de retención de agua, alta velocidad de infiltración y drenaje, razones por las que los riegos deben ser más frecuentes. El pH es ligeramente alcalino y con un contenido bajo de calcáreo total. Según el valor de la conductividad eléctrica se clasifica este suelo como muy ligeramente salino. El porcentaje de materia orgánica es bajo, por ende la cantidad de nitrógeno en el suelo es limitada. Los valores de fósforo y potasio son medios.

La capacidad de intercambio catiónico indica que la fertilidad potencial del suelo es baja. Respecto a los cationes cambiabiles, predominan el calcio y el magnesio, saturando en un 91 por ciento el complejo de cambio. Las relaciones catiónicas Ca/Mg y K/Mg son normales, cuyos valores son 7,88 y 0,24 (meq/100 g de suelo) respectivamente.

4.1.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA

El distrito de la Molina presenta condiciones típicas de la costa central, cuyo clima es templado cálido. La zona está clasificada como un desierto subtropical árido caluroso. Se recabaron las temperaturas promedio de cada hora a lo largo de todo el ciclo del cultivo (octubre 2011 – febrero 2012). Dichas temperaturas fueron obtenidas de una estación meteorológica automática de precisión marca DAVIS, la cual determina las temperaturas máximas, mínimas y promedio de cada hora, además de otras variables climáticas. Este equipo se encuentra en la Estación Meteorológica Alexander Von Humboldt de la UNALM. En la figura 1 se presenta la fluctuación de la temperatura promedio durante toda la campaña del cultivo y en el Cuadro 4 se presentan los valores promedio de los datos climatológicos, donde se destaca las horas de luz, los mayores valores se presentaron en los meses de enero con 7 horas 29 minutos y febrero con 5 horas 44 minutos.

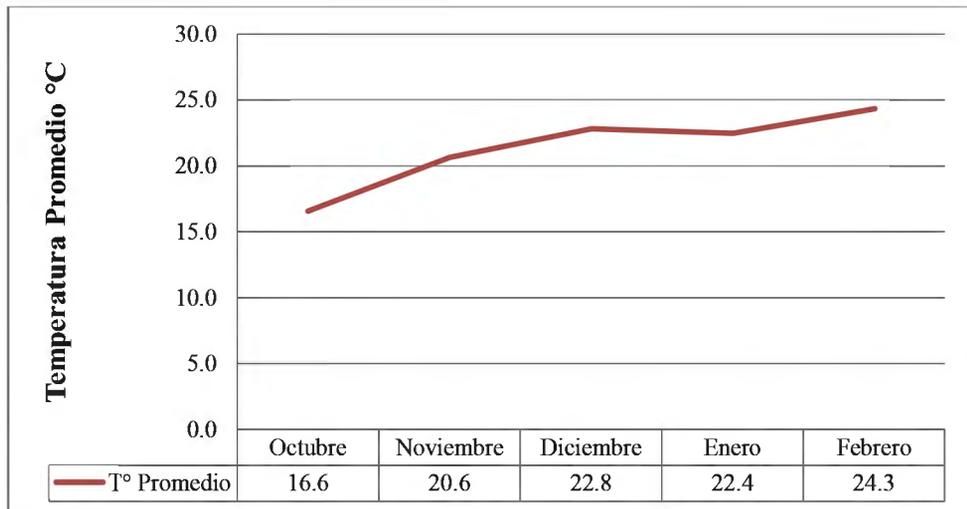


FIGURA 1: Fluctuación de la temperatura promedio mensual durante la campaña Octubre 2011 – Febrero 2012

Cuadro 4: Valores promedio de los datos climatológicos: horas de sol, humedad relativa máxima y mínima, evapotranspiración y precipitación, durante el período octubre 2011 – febrero 2012. La Molina.

Meses	Horas de Sol	H.R. MAXIMA por ciento	H.R. MINIMA por ciento	Evap. Tanque (mm/día)	Precipitación (mm/día)
Octubre	5h 11 min	92,645	72,258	2,661	0,013
Noviembre	5h 18 min	92,533	71,867	2,937	0,053
Diciembre	4h 33 min	92,677	69,581	3,042	0,000
Enero	7h 29 min	92,742	60,806	4,432	0,000
Febrero	5h 44 min	92,571	61,619	4,367	0,190
Promedio	5h 39 min	92,634	67,226	3,488	0,051

FUENTE: Elaboración propia

4.1.4 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO

Los materiales y equipos utilizados en el presente trabajo de investigación fueron:

a. MATERIAL GENÉTICO:

Se utilizaron 25 genotipos de quinua, procedentes del Banco de Germoplasma del Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Todos los genotipos presentaron características morfológicas diferentes, como se puede apreciar en el ANEXO 4. Los genotipos proceden de los siguientes departamentos: Cuzco (12 accesiones), Apurímac (5 accesiones), Puno (3 accesiones), Valle del Mantaro (1 accesión y una variedad comercial), Cajamarca (2 accesiones) y Ancash (1 accesión). A continuación se detallan las algunas características de cada una de las accesiones utilizadas en este experimento.

- **Accesión 1:** N° Pasaporte: PEQPC-357/ ORIGEN POQ-C VM 10B 1/ Departamento: Cuzco/ Provincia: Quispicanchis/ Distrito: Oropesa/ Localidad: Tipón/ Altitud: 3144 msnm/ Color de grano: Amarillo.

- **Accesión 2:** N° Pasaporte: PEQPC-410/ ORIGEN POQ-C VM 10B 3/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Canchis/ Distrito: Marangani/ Localidad:
Manuera/ Altitud: 3698 msnm/ Color de grano: Amarillo.
- **Accesión 3:** N° Pasaporte: PEQPC-2810/ Origen POQ-C VM 10B 16/
Departamento: Apurímac / Color de grano: Amarillo.
- **Accesión 4:** N° Pasaporte: PEQPC-325/ ORIGEN POQ-C VM 10B 18/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Urubamba/ Distrito: Chinchero/ Localidad:
Querapata/ Altitud: 3762 msnm/ Color de grano: Amarillo.
- **Accesión 5:** N° Pasaporte: PEQPC-547/ ORIGEN POQ-C VM 10B 20/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Canchis/ Distrito: San Pedro/ Localidad: Raqchi/
Altitud: 3500 msnm/ Color de grano: Amarillo.
- **Accesión 6:** N° Pasaporte: PEQPC-648/ ORIGEN POQ-C VM 10B 21/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Pauro/ Distrito: Colcha/ Localidad: Ccochirhuay/
Altitud: 2796 msnm/ Color de grano: Amarillo.
- **Accesión 7:** N° Pasaporte: PEQPC-2810/ Origen POQ-C VM 10B 30/
Departamento: Apurímac/ Color de grano: Amarillo.
- **Accesión 8:** N° Pasaporte: PEQPC-2875/ Origen POQ-C VM 10B 32/
Departamento: Apurímac/ Color de grano: Amarillo.
- **Accesión 9:** N° Pasaporte: PEQPC-415/ ORIGEN POQ-C VM 10B 34/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Canchis/ Distrito: Marangani/ Localidad:
Manuera/ Altitud: 3795 msnm/ Color de grano: Amarillo.
- **Accesión 10:** N° Pasaporte: PEQPC-498/ ORIGEN POQ-C VM 10B 35/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Canchis/ Distrito: Tinta/ Localidad: Machamarca/
Altitud: 3488 msnm/ Color de grano: Amarillo.

- **Accesión 11:** N° Pasaporte: PEQPC-821/ Origen POQ-C VM 10B 38/
Departamento: Puno/ Provincia: Puno/ Distrito: Capachica/ Localidad: Barrio – 3/
Altitud: 3860 msnm/ Color de grano: Negro.
- **Accesión 12:** N° Pasaporte: PEQPC-31/ Origen POQ-C VM 10B 50/
Departamento: Valle del Mantaro (Junín)/ Color de grano: Negro.
- **Accesión 13:** N° Pasaporte: PEQPC-461/ ORIGEN POQ-C VM 10B 52/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Canchis/ Distrito: Sicuani/ Localidad: Hercca/
Altitud: 3600 msnm/ Color de grano: Negro.
- **Accesión 14:** N° Pasaporte: PEQPC-1144/ Origen POQ-C VM 10B 66/
Departamento: Puno/ Provincia: Yunguyo/ Distrito: Yunguyo/ Localidad: Tahuaco/
Altitud: 3826 msnm/ Color de grano: Naranja.
- **Accesión 15:** N° Pasaporte: PEQPC-411/ ORIGEN POQ-C VM 10B 71/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Canchis/ Distrito: Marangani/ Localidad:
Quisine/ Altitud: 3809 msnm/ Color de grano: Naranja.
- **Accesión 16:** N° Pasaporte: PEQPC-595/ ORIGEN POQ-C VM 10B 79/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Paucartambo/ Distrito: Caicay/ Localidad:
Huasac/ Altitud: 3466 msnm/ Color de grano: Naranja.
- **Accesión 17:** N° Pasaporte: PEQPC-537/ ORIGEN POQ-C VM 10B 80/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Canchis/ Distrito: San Pedro/ Localidad: Raqchi/
Altitud: 3497 msnm/ Color de grano: Naranja.
- **Accesión 18:** N° Pasaporte: PEQPC-2235/ Origen POQ-C VM 10B 81/
Departamento: Cajamarca/ Provincia: Cajamarca/ Distrito: Llanacora/ Localidad:
Sulloscocha/ Color de grano: Gris.
- **Accesión 19:** N° Pasaporte: PEQPC-2933/ Origen POQ-C VM 10B 83/
Departamento: Apurímac/ Color de grano: Gris.

- **Accesión 20:** N° Pasaporte: PEQPC-2688/ ORIGEN POQ-C VM 10B 97/
Departamento: Ancash/ Color de grano: Rojo.
 - **Accesión 21:** N° Pasaporte: PEQPC-321/ ORIGEN POQ-C VM 10B 102/
Departamento: Cuzco/ Provincia: Canchis/ Distrito: Maranganí/ Localidad:
Manuera/ Altitud: 3726 msnm/ Color de grano: Rojo.
 - **Accesión 22:** N° Pasaporte: PEQPC-710/ ORIGEN POQ-C VM 10B 109/
Departamento: Cajamarca/ Provincia: San Marcos/ Distrito: J. M. Quiroz/
Localidad: Moradas/ Altitud: 2251 msnm/ Color de grano: Púrpura
 - **Accesión 23:** N° Pasaporte: PEQPC-2821/ rigen POQ-C VM 10B 110/
Departamento: Apurímac/ Color de grano: Púrpura.
 - **Accesión 24:** N° Pasaporte: PEQPC-1592/ Origen POQ-C VM 10B 112/
Departamento: Puno/ Provincia: Puno/ Distrito: Puno/ Localidad: C.P. Ichu/
Altitud. 3827 msnm/ Color de grano: Púrpura.
 - **Accesión 25: Rosada de Huancayo: (RH)/** Departamento: Junín.
- b. **MATERIALES DE CAMPO:** insumos (fertilizantes, pesticidas)
- Fertilizantes: Urea, Fosfato di amónico, Kalex
 - Pesticidas: Vertimex, Botricsin, Fordazim, Cipermex, Perfekthion, Pounce, Bidrin.
 - Otros: Solt pH
- c. **HERRAMIENTAS DE CAMPO:** palas, bomba de mochila
- d. **EQUIPOS DE CAMPO:** tractor e implementos
- e. **OTROS:**
- Wincha de 30 metros
 - Balanza de campo

- Balanza analítica
- Bolsas de papel kraft
- Regla graduada
- Rafia de colores
- Contómetro
- Datos meteorológicos
- Cámara digital
- Infratek
- Equipo agitador mecánico
- Afrosímetro
- Zarandas de agujeros redondos de 2 y 2.4 mm
- Cronómetro
- Tubos de ensayo de 16 x 150 mm
- Porta tubos
- Agua destilada

4.2 MÉTODOS

4.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

Las dimensiones y características del campo experimental fueron las siguientes:

- Número de parcelas por bloque: 25
- Número de repeticiones por accesión: 3
- Número de surcos por parcela: 4
- Distancia entre surcos: 0,80 m
- Longitud de surcos: 2,3 m
- Ancho de parcela: 3,6 m
- Distancia entre parcelas: 0.7428 m
- Área efectiva del experimento: 998,62 m²

4.2.2 MANEJO DEL CULTIVO

a. PREPARACIÓN DEL TERRENO EXPERIMENTAL

Esta actividad se llevó a cabo de acuerdo a la preparación convencional en los terrenos de la costa. La preparación del terreno se llevó a cabo del 26 al 30 de setiembre del 2011.

Primero se aplicó un riego de machaco, después se roturó el suelo con el arado, luego se pasó el arado semiprofundo para mullir el suelo, seguidamente se niveló el terreno, luego se surcó el terreno con la ayuda de un tractor, se bloqueó el terreno con yeso y finalmente, se distribuyó el material vegetal.

b. FERTILIZACIÓN

El cultivo anterior al experimento, fue centeno. Durante la preparación del terreno se incorporaron los rastrojos del cultivo previo. Adicionalmente, a la siembra se aplicó la dosis de fertilización de 50 – 69 – 00, para ello se tomó en cuenta el contenido de NPK en el suelo, descrito en el análisis del mismo. Las fuentes usadas fueron urea y fosfato diamónico. A los 15 días después de la siembra, se aplicó el abono foliar de potasio Kalex. Al aporque no se aplicó una segunda dosis de nitrógeno.

c. SIEMBRA

La siembra de los 25 genotipos se realizó en forma manual y a chorro continuo sobre el lomo del surco. Se llevó a cabo el 4 de octubre del 2011. La densidad fue de 10 kg/ha para todos los genotipos. El distanciamiento entre surcos fue de 0,80 m. Al momento del tapado de las semillas se procuró que éstas quedaran a no más de 2 cm de profundidad.

d. DESAHÍJE

Se llevó a cabo cuando las plantas estaban en las fases de desarrollo vegetativo, botón floral e inicios del desarrollo de la inflorescencia, se dejó aproximadamente 5 cm de distancia entre planta y planta. Se realizó en los dos surcos centrales de cada parcela experimental.

e. PURIFICACIÓN

Se llevó a cabo a lo largo de todo el ciclo de crecimiento de los genotipos debido a que algunas diferencias morfológicas se muestran durante el desarrollo vegetativo, otras son visibles a la floración y otras a la madurez. Consistió en eliminar plantas débiles del mismo genotipo y plantas diferentes al genotipo sembrado, en los dos surcos centrales de cada parcela.

f. CONTROL DE MALEZAS

Esta actividad se realizó de forma manual, en forma simultánea con el desahije. Se aprovechó la humedad del suelo después del riego.

g. RIEGOS

Los riegos aplicados fueron por gravedad. En el Cuadro 5, se presentan los riegos aplicados y sus fechas correspondientes.

h. APORQUE

Se llevó a cabo el 14 de noviembre del 2011, cuando las plantas se encontraban en promedio en la fase de botón floral. Esta labor permitió dar mayor fijación a las plantas y controlar las malezas ubicadas entre los surcos. No se aplicó una segunda dosis de nitrógeno.

i. CONTROL FITOSANITARIO

Los genotipos de quinua evaluados en el experimento, sufrieron el ataque *Spodoptera eridania*, desde la emergencia hasta el llenado de grano, se aplicó Cypermex (Alfacipermetrina) para su control y para otros gusanos comedores de hojas y granos se aplicó Pounce (Permetrina). Otro insecto fue *Lyriomiza huidobrensis*, la cual atacó durante los primeros estadios del cultivo, fue controlada con Cypermex. Además, se presentaron problemas con trips y aves, para lo cual se aplicaron Perfekthion (Dimetoato) y Bidrín (Dicrotofos) respectivamente.

Respecto a las enfermedades, se aplicaron preventivos como Botrizim y Fordazim (Carbendazim) para chupadera. Se presentaron otras enfermedades como mildiu (*Peronospora farinosa f. sp. chenopodii*), la cual no se controló porque fue un parámetro a evaluar en este experimento. Adicionalmente, algunas plantas presentaron pudrición seca del cuello causada por *Rhizoctonia solani* en algunas parcelas.

j. COSECHA

La cosecha se realizó de acuerdo a la madurez fisiológica de cada genotipo. Se debe recalcar que de los 25 genotipos evaluados, sólo 17 llegaron a formar grano.

Primero se cortaron todas las plantas de los surcos centrales de todas las parcelas, al ras del suelo, para luego pesarlas. Luego se dejaron en el campo durante días, para que sequen completamente. Una vez secas, se llevó a cabo la trilla.

Finalmente se procedió a limpiar los granos usando una venteadora para ser guardados dentro de bolsas de papel kraff, debidamente etiquetadas.

4.2.3 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Las labores principales realizadas durante la conducción del experimento se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Cronograma de las actividades realizadas durante la conducción del experimento

Fecha	Labor realizada
26/09/11 – 30/09/11	Preparación del terreno
4/10/11	Fertilización y Siembra
6/10/11	Primer riego
15/10/11	Aplicación de Kalex (37,5 cc), Fordazim (26,25 cc) y Ciperhex (30 cc)
20/10/11	Segundo Riego
21/10/11	Aplicación de Kalex (37,5 cc), Botrizim (26,25 cc) y Ciperhex (30 cc)
27/10/11	Tercer Riego
28/10/11	Aplicación de Ciperhex (30 cc), Perfekthion (26,25 cc)
31/10/11	Aplicación de Vertimex (11,25 cc), Pounce (7,5 cc)
5/11/11	Cuarto Riego
14/11/11	Aporque
16/11/11	Aplicación de Vertimex (22,5 cc), Pounce (15 cc) , Ciperhex (60 cc)
15/11/11 – 7/12/11	Desahije
25/11/11	Aplicación de Ciperhex (75 cc), desmalezado
26/11/11	Quinto Riego
8/12/11	Aplicación de Ciperhex (78,75 cc), desmalezado
17/12/11	Sexto Riego
20/12/11	Aplicación de Ciperhex (78,75 cc)
22/12/11	Séptimo Riego
4/01/12	Evaluación de Mildiu
10/01/12	Ciperhex (78,75 cc)
14/01/12	Octavo Riego
15/01/12	Bidrin (18,75 cc)
15 y 16/02/12	Corte de los genotipos y determinación de la biomasa aérea
21/02/12	Cosecha de todos los genotipos que formaron grano

FUENTE: Elaboración propia

4.2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento constó de 25 tratamientos (25 genotipos de quinua), el diseño experimental empleado fue el de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con tres repeticiones. Para la comparación de medias en los tratamientos, se empleó la prueba de Tukey. Los ANVA y Tukey se obtuvieron utilizando el programa estadístico SAS.

MODELO ADITIVO LINEAL

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde:

$i = 1, 2, 3, \dots$ (Genotipos)

$j = 1, 2, 3, \dots$ (Bloques o repeticiones)

Y_{ij} = Rendimiento de una unidad experimental de la i –ésima accesión en el j –ésimo bloque.

μ = Media general.

T_i = Efecto del genotipo de la i –ésima accesión.

B_j = Efecto del j –ésimo bloque.

E_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental asociado a Y_{ij}

Todos los datos se obtuvieron de la evaluación de los dos surcos centrales de las parcelas.

4.3 EVALUACIONES

4.3.1 CARACTERES AGRONÓMICOS

- **Rendimiento:** Después de la trilla, limpieza y venteo, se determinó la masa de los granos obtenidos de los surcos centrales de cada parcela. Se expresó en kg/ha.
- **Altura de planta:** medida a partir de la superficie del suelo, hasta el ápice de la panoja. Se realizó durante el llenado del grano cuando las plantas alcanzaron su altura máxima. Se hicieron diez medidas por parcela y se promedió los datos obtenidos. Se expresó en metros.

- **Biomasa aérea:** se cortaron las plantas de los surcos centrales de cada parcela experimental, a la altura del cuello, al momento de la cosecha, luego se determinó el peso fresco. Luego se calculó la biomasa correspondiente a cada parcela experimental. Se estimó en kg/ha de materia seca.
- **Mildiu (porcentaje del área foliar infectada):** se determinó el área foliar de la hoja infectada por mildiú, para ello se escogió a simple vista, la hoja más afectada en promedio del tercio medio de la planta. En el haz de las hojas se observaron manchas cloróticas irregulares, el tamaño fue diferente entre los genotipos. En algunos se observaron manchas rojizas. La esporulación que tiene lugar en el envés de las hojas no fue visible a simple vista, lo cual también fue reportado por Aragón en 1991 cuando evaluó mildiú en *Chenopodium quinoa* en La Molina, Lima – Perú.

La evaluación consistió en darle un valor a los daños que causó la enfermedad en la planta. La incidencia de una enfermedad indica el porcentaje de plantas afectadas, mientras que la severidad indica el grado de la enfermedad, generalmente expresado como el porcentaje del área foliar afectada de todo o de una parte del follaje. Debido a la manera de diseminación del mildiú de la quinua en campo por medio del viento, la severidad explica mejor el desarrollo de la enfermedad. La mayoría de las escalas de evaluación del mildiú en quinua, que existen, se basan en el porcentaje del área foliar afectada. Una escala de 0 a 10 (0 = ninguna infección, 1 = 1 – 10 por ciento área foliar afectada, 2 = 11 – 20 por ciento, etc.) está basada en la evaluación de toda la planta, mientras que otra escala de 0 – 5 (0 = sin infección, 1 = 1 – 20 por ciento, 2 = 21 a 40 por ciento, etc.) está basada en la evaluación del área foliar afectada del tercio medio de la planta. En ésta última se basó la evaluación de la enfermedad, para calcular el porcentaje del área foliar afectada por Mildiú, en el presente experimento.

No existe un método estandarizado. En el caso de la quinua, este tipo de escala puede no ser muy precisa, si se considera el tamaño de la planta y el grado de error del evaluador, el cual varía mucho de persona a persona. Lo ideal es adoptar un método que se adapte a las necesidades de la investigación que se está realizando y que minimice los errores, sin embargo, cualquier método siempre va a estar sujeto a cierto error (Danielsen *et. al.*, 2000a).

- **Índice de Cosecha (IC):** se obtuvo de la relación entre la masa de la semilla (rendimiento económico) y la masa en seco de toda la planta incluyendo la semilla (rendimiento biológico o Biomasa). Se expresó en porcentaje.
- **Los días a la floración y a la maduración** están incluidos en los datos de fenología.

4.3.2 VARIABLES MORFOLÓGICAS

- **Se determinó otras variables cualitativas como:** color de la hoja, forma de la hoja (FHI), forma del borde de la hoja (FHB), número de dientes de la hoja (DHB), color del tallo, color de las estrías en el tallo, color de axilas, tipo de panoja (TP), densidad de panoja (DP), color de panoja y color del grano. Estos datos se muestran en el ANEXO 4. Para las evaluaciones se usaron los libros de colores para quinua del programa de cereales y granos nativos de la UNALM.

4.3.3 CARACTERES DE CALIDAD

Los caracteres de calidad fueron determinados en los laboratorios del programa de cereales y granos nativos de la UNALM.

- **Contenido de proteína en el grano:** se determinó en porcentaje utilizando el Infratek, instrumento utilizado para determinar el contenido de proteínas de los genotipos de quinua que produjeron grano y sus repeticiones.

Consistió en cubrir unos espacios circulares del equipo con granos de quinua hasta que no quedara ningún espacio entre ellas por donde pueda pasar la luz, luego se colocaron dentro del Infratek y se esperó un momento, el equipo finalmente arrojó los datos de proteína en porcentaje.

- **Contenido de saponina en el grano:** se determinó por el método Afrosimétrico mecánico. Se pesaron 0.5 g de granos enteros de quinua los cuales fueron colocados en tubos de ensayo de 160 mm de longitud y 16 mm de diámetro, con tapa y se les añadió 5 ml de agua destilada, inmediatamente se taparon los tubos. A continuación se colocaron en el Agitador Mecánico y se agitaron los tubos durante 30 segundos. Luego, se dejaron en reposo en por diez segundos y después, se midió la altura de la espuma producida en centímetros con el Afrosímetro. El Afrosímetro es un tubo plástico que tiene una regla graduada en centímetros (con divisiones de 0,1 cm) y un resorte que permite graduar la interfase espuma- agua al cero de la escala. Este procedimiento se realizó dos veces para cada accesión que produjo grano y sus repeticiones. Finalmente, con los datos de altura de espuma y la fórmula $((xh - 0,29)/3,74)$, se determinó el porcentaje de saponina presente en los granos. Este método se basa en la propiedad que presenta la saponina de producir espuma en solución acuosa (Latinreco, 1990 citado por Astuhuamán, 2007).

***xh** es el promedio de las dos alturas de espuma obtenidas para cada accesión.

- **Peso de mil granos (PMG):** se realizó el conteo de 1000 granos, para ello se usó el Contómetro, se trabajó con la velocidad 43 y sensibilidad 10. El peso fue hallado en una balanza analítica y se expresó en gramos.

4.3.4 FENOLOGÍA DEL CULTIVO

Para las evaluaciones se tomó como base la descripción de la fenología de la quinua de Mujica (2006) y el código decimal desarrollado en base a la escala de Limburg y Mastebroek (1996) citados por Gómez (2010), el cual se muestra en el Cuadro 6.

Después de la siembra, se empezó con las observaciones diarias, por las mañanas. Se tomaron fotos de todas las fases por las que atravesaron las plantas y se tomaron los datos de las características fenotípicas observadas, como por ejemplo si las plantas formaron estructuras nuevas o si perdieron algunas. Se registraron los días en los que las plantas iniciaron y culminaron cada fase fenológica, los cuales fueron cuando el 50 por ciento de las plantas de los surcos centrales de cada parcela iniciaron y finalizaron cada fase.

Finalmente, con toda la información recabada se elaboró una base de datos en Ms. Excel, formada por tablas con los datos promedio de las tres repeticiones de cada accesión con las cuales se realizó el análisis estadístico en el programa SAS (*Statistical Analysis System*).

Cuadro 6: Código decimal desarrollado en base a la escala de Darwinkel, A. y Stolen, O. citado por Gómez (2010)

Fases	Sub Fases
0.0 – 0.9 Germinación	Emergencia Hojas cotiledóneas extendidas
1.0 – 1.9 Desarrollo Vegetativo	Dos hojas verdaderas desplegadas Cuatro hojas verdaderas desplegadas Seis hojas verdaderas desplegadas Ocho hojas verdaderas desplegadas Diez hojas verdaderas desplegadas
2.0 – 2.9 Ramificación	
3.0 – 3.9 Desarrollo del botón Floral	Botón floral visible Botón floral de 0,5 cm Botón floral de 1 cm
4.0 – 4.9 Desarrollo de la Inflorescencia	Inicio de piramidación Piramidación completa
5.0 – 5.9 Floración	Inicio de floración Plena floración
6.0 – 6.1 Antesis	
7.0 – 7.9 Grano Acuoso	
8.0 – 8.9 Grano Lechoso	
9.0 – 9.9 Grano Pastoso	
Madurez fisiológica	

FUENTE: Gómez, 2010.

4.3.5 DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE CALOR

Se recabó el registro diario de temperaturas máximas y mínimas por hora de la Estación Meteorológica Automática, ubicada en la estación Alexander Von Humboldt en la UNALM. Con dichos valores se calcularon las temperaturas medias por hora de cada día durante todo el ciclo del cultivo de quinua.

Luego se calcularon los °D (grados día), para ello se usó 7°C como temperatura base (T_b), por ser la temperatura mínima promedio del centro de origen de la quinua (Altiplano Peruano- Boliviano) (Comunicación personal de Mario Tapia, citada por Quillatupa, 2009). Los cálculos se hicieron en Ms Excel y se usó la fórmula planteada por Snyder *et. al.* (1999) citado por Quillatupa (2009) basad en grados hora (°H):

$$\text{°D} = (\sum \text{°H})/24 \text{ Siendo } \text{°H} = T^{\circ} \text{ media} - T^{\circ} \text{ base}$$

Finalmente, las unidades de calor se correlacionaron con los días al inicio y a la culminación de cada fase fenológica, previamente determinadas. Es importante mencionar que el primer día del cultivo se consideró cuando se aplicó el primer riego, dos días después de la siembra (Cuadro 5).

V. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentan considerando los objetivos planteados en la presente investigación.

OBJETIVO 1: Determinar los caracteres agronómicos y de calidad de los genotipos de quinuas en condiciones de costa central.

Es importante señalar que de los 25 genotipos evaluados sólo 17 de ellos llegaron a producir semillas, por lo tanto los resultados se presentan considerando sólo a estos 17 genotipos.

5.1 CARACTERES AGRONÓMICOS

5.1.1 RENDIMIENTO

El ANVA indica que no existen diferencias significativas entre los bloques o repeticiones, sin embargo, se observa que existen diferencias altamente significativas para tratamientos (Cuadro 7). El coeficiente de variación fue igual a 27,50 por ciento, este valor indica que existen diferencias muy marcadas en los fenotipos y su comportamiento en este experimento establecido en la primavera – verano 2011 – 2012, en costa central.

Cuadro 7: Cuadrados medios de los caracteres agronómicos, saponina y peso de mil granos de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

FV	G.L.	Rendimiento (kg/ha)	Altura de planta (m)	Mildiu por ciento	Biomasa (kg/ha)	ÍC (por ciento)	Saponina (por ciento)	PMG (g)
BLOQUE	2	55108,666	0,208 **	27,941	12420092,750 *	51,608 *	0,006	0,066 *
TRAT.	16	490296,983 **	0,065 **	113,542 **	34464183,094 **	239,785 **	0,456 **	0,604 **
ERROR	32	17304,620	0,015	14,920	2804845,338	14,910	0,010	0,632
TOTAL	50							

C.V (por ciento)		27,50	8,44	11,04	21,21	45,63	11,24	7,07
DS (por ciento)		131,56	0,12	3,86	1674,77	3,86	0,11	0,14
Promedio		478,42	1,44	35,00	7894,83	8,46	0,91	1,99

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 8: Valores promedios y Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del rendimiento, altura de planta, mildiu, biomasa e índice de cosecha de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Rendimiento	Altura	Mildiu	Biomasa	IC	Parcela
		(kg/ha)	(m)	(por ciento)	(kg/ha)	(por ciento)	Tratamiento
1	PEQPC - 357/CUZCO	1007.30 b	1.32 bdac	33.33 bc	6228 efdc	17.56 bc	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	347.90 dce	1.57 bdac	26.67 c	8630 edc	4.05 d	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	472.10 dc	1.63 ba	30.00 bc	7037 efdc	7.61 dc	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	490.40 c	1.58 ba	30.00 bc	4159 ef	11.75 dc	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	131.70 dce	1.66 a	28.33 bc	14207 ba	1.01 d	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	235.50 dce	1.56 bac	38.33 bac	6435 efdc	3.66 d	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	1535.10 a	1.19 dc	40.00 ba	5056 ef	30.50 a	10
38	PEQPC - 821/PUNO	311.60 dce	1.48 bdac	35.00 bc	10366 bdc	3.15 d	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	391.30 dce	1.37 bdac	40.00 ba	7045 efdc	5.54 d	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	90.60 dce	1.46 bdac	40.00 ba	6985 efdc	1.51 d	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	933.60 b	1.29 bdc	50.00 a	3482 f	27.15 ba	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	427.60 dc	1.52 bdac	36.67 bc	5698 efd	7.51 dc	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	385.30 dce	1.53 bdac	36.67 bc	6465 efdc	6.93 dc	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	79.70 de	1.18 d	26.67 c	6723 efdc	1.20 d	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	322.50 dce	1.30 bdac	33.33 bc	11351 bac	2.94 d	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	951.70 b	1.36 bdac	40.00 ba	8180 efdc	11.65 dc	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	19.30 e	1.45 bdac	30.00 bc	16163 a	0.12 d	25

FUENTE: Elaboración propia

La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) confirma que existen diferencias significativas entre los 17 genotipos. (Cuadro 8). El rango de rendimiento varió de 19,30 a 1535,10 kg/ha. La accesión PEQPC- 498/CUZCO fue la de mayor rendimiento. El rendimiento promedio fue igual a 478,42 kg/ha y solamente cuatro genotipos muestran un rendimiento superior a este valor. El menor rendimiento lo presentó la variedad comercial Rosada de Huancayo.

En estudios realizados en costa central - La Molina, previos al presente experimento, se encontró resultados que confirman el comportamiento de la variedad Rosada de Huancayo (del tipo valle) la cual alcanzó rendimientos máximos de 626,1 kg/ha (Barnett, 2005). También existen informes sobre la variedad La Molina 89 (ecotipo del Altiplano), la cual alcanzó rendimientos máximos de 1524 kg/ha (Tapia, 2003), 2852 kg/ha (Barnett, 2005) y 4762 kg/ha (Apaza, 1995). Tapia (2003) sembró en el verano, Barnett (2005) sembró en el mes de noviembre y Apaza (1995) a inicios de la primavera. Tapia (2003), Echegaray (2003) y Quillatupa (2009), trabajaron con otras variedades durante los meses de verano en La Molina y obtuvieron rendimientos máximos de 1123, 1360, 4425 kg/ha respectivamente. Mercedes (2005) y Quillatupa (2009), realizaron ensayos con variedades provenientes del Altiplano en La Molina, las siembras se llevaron a cabo en el mes de abril y en la primavera (octubre), respectivamente; los rendimientos obtenidos por Mercedes (2005) bajo riego normal fue de 2030 kg/ha y bajo estrés hídrico fue de 1340 kg/ha y Quillatupa (2009) reportó rendimientos de 2923,33; 3418,33; 3863,33 kg/ha para tres variedades provenientes de Puno.

Teniendo en cuenta la información anterior y los resultados de este experimento, se puede señalar que las siembras a inicios de la primavera (setiembre) favorecen producciones altas, mientras que siembras al inicio o durante el verano resultan en rendimientos bajos. Esta observación es apoyada por Canahua *et. al.*, 2001 citados por Aguilar y Jacobsen (2003) quienes señalan que la fecha óptima de siembra es del 15 de setiembre al 15 de noviembre para la zona andina, el altiplano y la costa. La siembra de octubre fue favorable para los genotipos precoces, cuyas fases de floración y anthesis sucedieron en diciembre cuando las temperaturas se encontraban en 22.8 °C en promedio (Figura 1 y 12), pero no lo fue para los genotipos tardíos cuyas fases de floración y anthesis sucedieron a finales de diciembre y durante el mes de enero, cuando las temperaturas eran mayores (Figuras 1 y 13), produciendo no formación o aborto de los granos de polen.

De las accesiones que formaron grano 16 son quinuas de valles y 1 del Altiplano, autores como Mujica *et. al.*, 2001 mencionan que las variedades de valle están adaptadas a temperaturas que fluctúan entre 10 y 18 °C, sin embargo mencionan que otros investigadores sostienen que el cultivo de quinua puede desarrollar perfectamente con temperaturas medias altas de hasta 25 °C. Las temperaturas reportadas durante el presente experimento fluctuaron en promedio entre 16.6 °C y 24.3° C (Figura 1), las cuales están dentro del rango reportado por los investigadores, pero mayor al rango reportado por Mujica para las quinuas de valle, por lo que de alguna manera la temperatura pudo haber afectado los rendimientos, ya que la mayoría de los genotipos presentaron rendimientos bajos.

Por otro lado, Tapia (2003) señaló que el rendimiento promedio de la Rosada de Huancayo (quinua de Valle) en condiciones de sierra es 1498 kg/ha el cual es significativamente mayor al obtenido en costa central en el presente experimento. Los genotipos provenientes de valles crecen entre los 2800 y 3000 msnm (Tapia *et. al.*, 2000) al parecer su adaptación a costa sería difícil debido a las diferencias climáticas, pero en este experimento 16 genotipos de valle formaron grano y los 4 mejores rendimientos los presentaron genotipos provenientes del Cuzco.

Experimentos realizados en lugares donde las temperaturas también son altas como Brasil y la selva peruana demostraron que la capacidad adaptativa varía mucho entre los ecotipos y variedades y que sembrar quinua en zonas donde las temperaturas son altas obteniendo rendimientos buenos, es posible.

En Brasil se obtuvo rendimientos máximos de 2600 kg/ha en la estación seca (Spehar y Lorena de Barros Santos, 2005) y adicionalmente en otro experimento, la variedad Piabiru BRS, presentó rendimientos promedio de 2800 kg/ha en Mourao, Brasil (Spehar y Lorena de Barros Santos, 2002). En Oxapampa, durante la campaña seca el cultivar Amarilla de Maranganí (ecotipo de valle) presentó el mayor rendimiento, igual a 3743 kg/ha, Otros cultivares que se comportaron aceptablemente fueron: Rosada de Junín – ecotipo de valle (2534 kg/ha), Blanca de Juli- ecotipo de valle (2806 kg/ha), Ingapirca (2552 kg/ha) y Ayacucho INIA (2389 kg/ha) (Artica *et. al.*). Los rendimientos obtenidos en este experimento están muy por debajo de los obtenidos en Brasil y Oxapampa con otras variedades de quinua.

Mujica (1983) citado por Mujica et al, 2001 sostienen que el rendimiento potencial de grano es de 11 t/ha, que la producción comercial más alta obtenida, en promedio, en condiciones óptimas está alrededor de 6 t/ha, y que bajo condiciones adecuadas es 3,5 t/ha. En campos de secano, en el altiplano, la producción no excede los 850 kg/ha (Mujica *et. al.*, 2001), sin embargo se han obtenido rendimientos en el rango de 600 a 2500 kg/h (Tapia y Fries, 2007). Mientras que en los valles interandinos el rendimiento promedio es de 1500 kg/ha (Mujica *et. al.*, 2001) y el rango va desde 700 a 2800 kg/ha (Tapia y Fries, 2007). En general, el rendimiento promedio nacional se encuentra entre los 800 y 1000 kg/ha (Siicex). La accesión PEQPC- 498/CUZCO fue la de mayor rendimiento, cuyo valor fue superior al promedio nacional.

Los rendimientos varían de acuerdo a las variedades, a las condiciones del ambiente, a las labores culturales y al control fitosanitario, observación apoyada por Mujica *et. al.* (2001) y Bertero (2004).

En el presente experimento las plantas se vieron afectadas por *Peronospora farinosa* (mildiu) y por *Rhizoctonia solani* (podrición seca del cuello de planta) y no se aplicaron pesticidas para su control, por lo que los bajos rendimientos también se deben, en parte, a las pérdidas causadas por mildiu y Rhizoctonia. En el presente experimento, los rendimientos alcanzaron valores desde 19,30 a 1535,10 kg/ha.

5.1.2 ALTURA DE PLANTA

El ANVA indica que existen diferencias altamente significativas entre los bloques o repeticiones y entre las alturas de planta de los tratamientos o 17 genotipos de quinua que formaron grano (Cuadro 7). Estas diferencias se deben a que cada genotipo tiene características morfológicas particulares y el comportamiento de cada uno bajo condiciones de primavera – verano en costa central, fue diferente. Sin embargo, el coeficiente de variación fue igual a 8,44 por ciento, lo que nos indica que los valores de altura de planta, en conjunto, de los 17 genotipos no fueron muy heterogéneos.

La prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) confirma que existen diferencias significativas entre los genotipos de quinua. (Cuadro 8). La accesión PEQPC- 648/CUZCO fue la que alcanzó mayor altura, 1,66 metros, siendo este valor estadísticamente superior a las 16 restantes.

La altura de planta promedio fue igual a 1,44 metros y nueve genotipos muestran una altura superior a este valor. El rango de altura de planta de los 17 genotipos de quinua que formaron grano es de 1,18 a 1,66 metros.

En experimentos realizados en la costa, Quillatupa (2009) trabajó con ecotipos de quinua provenientes de diferentes valles y del Altiplano, cuyas alturas se encontraron en el rango de 1,05 m a 2,62 m. La mayoría de los ecotipos de valle alcanzaron alturas mayores a los 2 m en La Molina, durante el verano. Barnett (2005) señaló que los valores de altura para las variedades estudiadas fueron: Rosada de Huancayo (1,38 m) y La Molina 89 (1,65 m).

En otro ensayo realizado en la Molina, en verano, Tapia (2003) reportó que la variedad La Molina 89 presentó una altura promedio de 1,37 m. Mientras que Apaza (1995) obtuvo para la misma variedad, la máxima altura de planta (1,58 m) con la máxima dosis de nitrógeno (160 kg/ha) y sin aplicación de nitrógeno la altura promedio fue 1,40 m, su experimento fue instalado en setiembre. Los ensayos de Echeagaray (2003) con las variedades Amarilla de Maranganí y la Molina 89, instaladas en Febrero, reportaron las mayores alturas con riego por goteo, 126,6 m y 147,1 m respectivamente. Por otro lado, Mercedes (2005) obtuvo alturas máximas de 1,17 m en condiciones de costa central, bajo estrés hídrico y 1,24 m bajo irrigación normal. Artica *et. al.*, indica que las alturas de la variedades probadas en Oxapampa se encontraron entre 0,94 m y 1,54 m.

Autores como Rivero (1985) y Spehar y Santos (2005) señalan que el rendimiento de grano se relaciona positivamente con la altura de planta. Sin embargo, esto no se observó en el presente experimento, porque las accesiones que alcanzaron las mayores alturas no produjeron grano. Esto pudo deberse al efecto de las temperaturas, por lo que las plantas desarrollaron más vegetativamente y no llegaron a formar granos, además, las temperaturas pudieron afectar las fases de floración y antesis, perjudicando los rendimientos. Las alturas fueron variables entre genotipos independientemente de su procedencia. Autores como León (2003), Bonifacio (2003) y Tapia (2003) indican que las quinuas de Valle alcanzan alturas de entre 2 y 2,50 m y que algunas llegan a medir 3,5 m, mientras que las quinuas del Altiplano alcanzan alturas de entre 1 y 1,8 m. En este experimento las alturas de la mayoría de los genotipos de quinua fueron menores al límite inferior reportado por los autores mencionados anteriormente.

5.1.3 MILDIU (PORCENTAJE DE ÁREA FOLIAR AFECTADA)

El ANVA indica que no existen diferencias significativas entre los bloques o repeticiones, sin embargo, se observa que si existen diferencias altamente significativas entre los porcentajes de infección por mildiu de los 17 genotipos de quinua que llegaron a formar grano (Cuadro 7). El coeficiente de variación fue igual a 11,04 por ciento. Este valor y las diferencias encontradas se deben a que cada genotipo presentó respuestas diferentes de resistencia a la infección por mildiu bajo condiciones de primavera – verano en costa central.

La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) confirma que si existen diferencias significativas entre los genotipos de quinua, respecto al área foliar afectada por mildiu (Cuadro 8). La accesión PEQPC- 411/CUZCO fue la que tuvo la mayor área foliar afectada por mildiu, 50 por ciento, siendo este valor estadísticamente superior a las 16 restantes. La infección por mildiu promedio fue igual a 35 por ciento y ocho genotipos muestran una infección superior a este valor. El rango de infección por mildiú de los 17 genotipos de quinua que formaron grano es de 26,67 a 50 por ciento.

Las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el presente experimento favorecieron la infección por mildiu y no se observaron oosporas en las hojas infectadas.

En el Cuadro 4 se observa que los valores promedio de humedad relativa durante el ciclo del cultivo se encuentran entre 70 por ciento y 92 por ciento. Adicionalmente, los valores de temperatura en promedio se encontraron en el rango de 16,6 a 24,3 °C (Figuras 1), estas condiciones favorecen la infección en las primeras etapas del cultivo y esta observación es apoyada por Danielsen *et. al.*, 2003 quienes señalan que las condiciones necesarias para la infección biológica son temperaturas frescas, agua libre y humedad relativa mayor al 85 por ciento.

Sin embargo, (Jacobsen y Risi, 1998) señalan que condiciones cálidas, con humedad relativa mayor a 80 por ciento y temperaturas de entre 20 y 25° C, también favorecen la infección. Tal es así que todos los genotipos de quinua evaluados en este experimento fueron infectados por mildiu. En el haz de las hojas se observaron manchas cloróticas irregulares, el tamaño fue diferente entre los genotipos.

En algunos se observaron manchas rojizas. La esporulación que tiene lugar en el envés de las hojas no fue visible a simple vista, lo cual también fue reportado por Aragón en 1991 cuando evaluó mildiú en quinua en La Molina.

Danielsen *et. al.*, (2003), León 2003, Tapia 2003 y Bonifacio (2003) señalan que se ha encontrado un alto grado de resistencia y tolerancia a mildiú en genotipos provenientes de los valles.

En el presente experimento la mayor parte de los genotipos evaluados presentaron altos porcentajes de área foliar infectados, esto puede deberse a que dichos genotipos desarrollaron en condiciones muy diferentes a la de los lugares de donde proviene el material genético estudiado en la presente tesis. Adicionalmente, los porcentajes del área foliar afectada por mildiú fueron mayores en los genotipos que formaron grano.

Los mayores rendimientos los presentaron quinuas cuyos porcentajes del área foliar infectada por mildiú se encontraron en el rango de 30 y 50 por ciento (Cuadro 8), por lo que se puede decir que dichos genotipos poseen cierto grado de resistencia y o tolerancia al mildiú.

La mayoría de los genotipos evaluados presentaron bajos rendimientos. Esto además del clima puede deberse a las pérdidas causadas por mildiú las cuales se estiman en promedio entre 20 y 25 por ciento (Alandia *et. al.*, 1979 citado por Danielsen *et. al.*, 2003). Sin embargo un estudio realizado en Bolivia, demuestra que las pérdidas en el rendimiento pueden alcanzar entre el 33 y 58 por ciento en los cultivares menos susceptibles y hasta del 99 por ciento en el más susceptible (Danielsen *et. al.*, 2000).

5.1.4 BIOMASA

El ANVA indica que existen diferencias significativas entre las repeticiones, y diferencias altamente significativas entre los valores de biomasa de los tratamientos o 17 genotipos de quinua que formaron grano (Cuadro 7). El coeficiente de variación fue igual a 21,21 por ciento. Este valor y las diferencias encontradas se deben a que cada genotipo presenta características morfológicas propias y a que su comportamiento fue diferente bajo condiciones de primavera – verano en costa central.

La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) confirma que si existen diferencias significativas entre la biomasa de los genotipos de quinua (Cuadro 8). El rango de biomasa de los 17 genotipos de quinua que formaron grano es de 3482 a 16163 kg/ha. La Rosada de Huancayo fue la que presentó el mayor valor. El promedio fue igual a 7894,83 kg/ha y seis genotipos presentan biomasa mayores a este valor.

Según Mujica *et. al.* (2001) la producción de materia seca o biomasa aérea después de la cosecha, puede alcanzar en promedio a 16000 kg/ha. La biomasa puede ser afectada por la disponibilidad de riego. El déficit hídrico afecta significativamente la biomasa, en un estudio realizado en Puno, se encontró que la quinua en déficit hídrico produjo 10730 g/planta de materia seca y con riego a capacidad de campo produjo 16140 g/planta. Concluyendo que a pesar de que la quinua es resistente a la sequía, el déficit hídrico afecta la producción y el desarrollo del cultivo, aunque en menor proporción que a los otros cultivos (Apaza, citado por Jacobsen *et. al.*, 1999). Richards (1987) indica que en algunos ambientes secos de los andes, es importante el desarrollo rápido de suficiente biomasa durante el período de crecimiento, cuando todavía es posible conseguir humedad, porque una mejoría en las tasas de maduración temprana pueden resultar en incrementos de los rendimientos. Durante el presente experimento la mayoría de los genotipos de quinua presentaron biomasa cuyos valores están por debajo del promedio que reportan Mujica *et. al.*, (2001), puede deberse al potencial genético de los genotipos estudiados y al estrés de las altas temperaturas.

En un estudio realizado en Brasil, las plantas fueron significativamente más altas que en la región andina, donde la quinua crece durante un largo periodo de tiempo bajo los efectos de las bajas temperaturas. Adicionalmente se encontró una relación positiva entre la biomasa y la altura de planta con el rendimiento de grano esperado. Los genotipos tardíos crecieron más altos que los de maduración temprana, siendo superiores en otros componentes del rendimiento (Spehar y Santos, 2005). En el presente experimento los genotipos que formaron granos presentaron biomasa menores que los genotipos que no formaron grano. Esto se debe a que los últimos, desarrollaron más vegetativamente en condiciones de costa central debido a altas temperaturas, alcanzando mayor altura y biomasa.

5.1.5 ÍNDICE DE COSECHA

El ANVA indica que existen diferencias significativas entre los bloques o repeticiones y que existen diferencias altamente significativas entre los índices de cosecha de los tratamientos o 17 genotipos de quinua (Cuadro 7) El coeficiente de variación fue igual a 45,6 por ciento, este valor es el resultado de la proporción entre el rendimiento del grano y la biomasa total de cada uno de los genotipos. Dichos valores se encuentran en el rango de 0,12 a 30,50 por ciento.

La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) confirma que existen diferencias significativas entre los 17 genotipos de quinua. (Cuadro 8). La accesión PEQPC- 498/CUZCO fue la que presentó mayor índice de cosecha, 30,50 por ciento, además, fue la que produjo el mayor rendimiento. El índice de cosecha promedio fue igual a 8,46 por ciento y solamente cinco genotipos muestran índices de cosecha superiores. El rango de índice de cosecha de las accesiones que produjeron mayores rendimientos es de 11,65 y 30,50 por ciento.

El índice de cosecha de quinua en el campo, informado en varios experimentos, se encuentra entre 30 y 50 por ciento y su variación depende de las variedades (FAO *et. al.*, 2012). En un estudio realizado por Spehar y Santos (2005) en Brasil, se encontraron valores de índice de cosecha bajos para genotipos tardíos y valores altos para genotipos precoces, esto demuestra que es posible desarrollar quinua para producciones altas de grano y biomasa en los sistemas agrícolas de zonas donde las temperaturas son altas, como Brasil.

En experimentos realizados en la costa, Barnett (2005) señaló que los índices de cosecha para las variedades estudiadas fueron: Rosada de Huancayo (6,5 por ciento), Blanca de Hualhuas (6,3 por ciento g) y La Molina 89 (32,7 por ciento), Mercedes (2005) obtuvo índices de cosecha de 22,5 por ciento en la zona bajo estrés hídrico y de 20,9 por ciento en la zona normalmente irrigada, en costa central y Quillatupa (2009) obtuvo índices de cosecha en el rango de 9 a 38,67 por ciento, los índices de cosecha mayores al 30 por ciento los presentaron los ecotipos de Valle.

En el presente experimento el índice de cosecha promedio fue de 8,46 por ciento y solamente cinco accesiones muestran índices de cosecha superiores. Dichos valores son menores al rango reportado por la FAO *et. al.*, (2012). El genotipo que presentó el mayor rendimiento presentó un índice de cosecha mayor al 30 por ciento, dicho valor se ubica dentro del rango reportado por la FAO *et. al.* (2012). El menor índice de cosecha lo presentaron la Rosada de Huancayo y la accesión PEQPC- 821/PUNO. La mayoría de los genotipos presentaron valores de biomasa menores a 16 kg/ha y produjeron poca cantidad de grano lo cual resulta en índices de cosecha bajos. Considerando la relación entre adaptación e índice de cosecha mencionada por Spehar y Santos (2005), se puede decir que la mayoría de los genotipos evaluados en el presente experimento no se adaptaron a condiciones de costa central durante los meses de primavera – verano.

5.2 CARACTERES DE CALIDAD

Estos caracteres se evaluaron para determinar el efecto del clima y del manejo agronómico de la campaña primavera – verano sobre la calidad del grano.

5.2.1 CONTENIDO DE PROTEÍNA EN EL GRANO

Para determinar el contenido de proteína en el grano en porcentaje, se evaluaron 16 genotipos de quinua de los 17 que formaron grano. En uno de ellos no se determinó el porcentaje de proteína debido a problemas con el equipo utilizado. A continuación se presentan los resultados.

El ANVA indica que existen diferencias significativas entre las repeticiones y diferencias altamente significativas entre los porcentajes de proteína en el grano de los 16 genotipos de quinua (Cuadro 9). Estas diferencias reflejan el efecto del genotipo y del medio ambiente. El coeficiente de variación fue igual a 6,14 por ciento, los valores de proteína se encuentran en el rango de 8,27 a 15,56 por ciento.

La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) confirma que existen diferencias altamente significativas entre los genotipos (Cuadro 10). La accesión PEQPC- 2933/APURÍMAC fue la que presentó mayor porcentaje de proteína en el grano, 15,56 por ciento, siendo este valor estadísticamente superior a las 15 restantes. El promedio fue igual a 11,57 por ciento y siete genotipos muestran un contenido de proteína superior a este valor.

Cuadro 9: Análisis de variancia del porcentaje de proteína en el grano de 16 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	PR>F	Nivel de Significación
BLOQUE	2	4.7653385	2.3826693	4.71	0.0166	*
TRAT.	15	142.7366536	9.5157769	18.83	< .0001	**
ERROR	30	15.1642448	0.5054748			
TOTAL	47	162.6662369				

C.V. = 6.14 por
ciento

DS= 0.71

Promedio= 11.57

De las cuatro accesiones que presentaron los mayores rendimientos potenciales, la que tiene mayor porcentaje de proteína en el grano es la PEQPC- 321/CUZCO con 12,7 por ciento y el rango de contenido de proteína de las tres restantes fue de 11,53 a 12,7 por ciento. La accesión con mayor rendimiento potencial, PEQPC- 498/CUZCO, presentó 12,47 por ciento de proteína, cuyo valor es mayor al promedio (Cuadro 10)

Según Mujica *et. al.* (2001) y Geerts (2008a) el contenido de proteína en el grano es alto (12 por ciento a 20 por ciento). Otros autores indican que se han encontrado quinuas con hasta 10 por ciento de proteína (De Bruin 1964, Tapia 1985, Johnson y Ward 1993 citados por Solíz *et. al.*, 2002). En general, el contenido de proteína en el grano varía entre cultivares, PROINPA (2011). En el presente experimento el promedio de proteína fue 11,57 por ciento, es menor al límite inferior señalado por Mujica *et. al.*, 2001, pero está dentro del rango que señalan otros autores. En general, el porcentaje de proteína fue diferente entre los genotipos.

Cuadro 10: Valores promedios y Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del peso de mil granos, proteína y saponina de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Peso de mil granos (g)	Proteína (por ciento)	Saponina (por ciento)	Parcela Tratamiento
1	PEQPC - 357/CUZCO	2.52 ba	12.13 fbecd	0.99 dc	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	2.09 bcd	10.47 fge	0.85 dfce	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	2.34 ba	10.53 fge	0.68 dfge	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	2.10 bcd	11.33 fgecd	0.78 dfce	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	1.67 cfd	10.73 fged	1.32 ba	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	1.86 ccd	10.27 fgh	1.33 ba	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	2.38 ba	12.47 becd	0.66 fge	10
38	PEQPC - 821/PUNO	2.38 ba	14.28 ba	1.03 bc	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	1.30 gf		1.39 a	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	1.79 ed	9.93 gh	0.56 fg	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	2.34 ba	11.53 fgecd	1.51 a	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	1.87 ccd	10.30 fgh	1.41 a	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	2.25 bc	11.67 fgecd	0.92 dce	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	1.22 gf	8.27 h	0.10 h	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	1.65 ef	15.56 a	0.60 fg	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	2.71 a	12.70 bcd	0.46 g	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	1.33 gf	12.97 bc	0.83 dfce	25

FUENTE: Elaboración propia

Barnett (2005) señala que el porcentaje de proteína de la variedad Rosada de Huancayo en costa central, La Molina, fue 16,71 por ciento y para La Molina 89 fue 16,38 por ciento. Adicionalmente menciona que La Molina 89 presenta incrementos en el porcentaje de proteínas a medida que se elevan las dosis de nitrógeno, mientras que para la Rosada de Huancayo el porcentaje de proteína se mantuvo constante con dosis de nitrógeno diferentes. En un estudio realizado en Perú el contenido de proteína varió de 14 a 22 por ciento (Mujica, 1983 citado por INIA Puno).

Bhargava *et. al.*, (2008) realizaron un estudio en Lucknow, India cuando el rango de temperaturas mínima y máxima fueron de 2,5°C – 19°C hasta 14°C – 29°C respectivamente y a 120 msnm. Señalan que el rango del contenido de proteína en el grano entre líneas de quinua fue de 12,55 – 21,02 por ciento con un promedio de 16,22 por ciento. Además, indican que si se seleccionan directamente genotipos con altos rendimientos, podría resultar en genotipos con una leve disminución de la proteína en el grano. En el presente experimento, la Rosada de Huancayo presentó un porcentaje de proteína de 12,97 por ciento, siendo uno de los mayores valores obtenidos. En general la mayoría de las accesiones presentaron porcentajes bajos de proteína, esto pudo ser causado por deficiencia en algún nutriente o por el estrés causado por las condiciones climáticas.

5.2.2 CONTENIDO DE SAPONINA EN EL GRANO

El ANVA indica que no existen diferencias significativas entre los bloques o repeticiones, pero sí entre los porcentajes de saponina en el grano de los 17 genotipos de quinua (Cuadro 7). El coeficiente de variación fue igual a 11,24 por ciento.

La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) confirma que existen diferencias altamente significativas entre los genotipos (Cuadro 10). Los porcentajes de saponina de los genotipos evaluados se encuentran en el rango de 0,10 a 1,51 por ciento. La accesión PEQPC- 411/CUZCO fue la que presentó el mayor porcentaje de saponina en el grano, siendo este valor estadísticamente superior a las 16 restantes. El promedio fue igual a 0,91 por ciento y siete genotipos muestran un contenido de saponina superior a este valor.

De las cuatro accesiones que presentaron los mayores rendimientos, la que produjo mayor cantidad de grano presentó 0,66 por ciento de saponina, siendo este valor menor al promedio obtenido.

La concentración de saponina depende principalmente de la variedad (Ward, 2000 citado por Geerts, 2008a). Según Repo (2003) el contenido de saponinas en quinua varía de 0,1 a 5 por ciento, pero Borges *et. al.* (2010) han encontrado quinuas con hasta 11,3 por ciento de saponina. Las quinuas son dulces (cuando el contenido de saponina es menor al 0,11 por ciento) o amargas, cuando el contenido de saponinas es mayor al 0,11 por ciento (Koziol, 1993 citado por Repo *et. al.*, 2003).

En el presente experimento, de las 17 accesiones que formaron granos, sólo una presentó un porcentaje de saponina menor al 0,11 por ciento, por lo que la mayoría de los genotipos evaluados en costa central son quinuas semidulces a amargas. En general, el contenido de saponina en el grano varió en el presente experimento dentro de los señalado por (Ward, 2000 citado por Geerts, 2008a).

5.2.3 PESO DE MIL GRANOS (g)

El ANVA indica que existen diferencias significativas entre las repeticiones y diferencias altamente significativas entre el peso de mil granos de los 17 genotipos de quinua (Cuadro 7). El coeficiente de variación fue igual a 7.07 por ciento. Los valores obtenidos se encuentran en el rango de 1,22 a 2,71 gram s.

La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) confirma que existen diferencias altamente significativas entre los genotipos (Cuadro 10). La accesión PEQPC- 321/CUZCO fue la que presentó el mayor peso de mil granos, 2,71 gramos, siendo este valor estadísticamente superior a las 16 restantes. Esta accesión también presentó uno de los mayores rendimientos (Cuadro 8). El promedio fue igual a 1,99 gramos y nueve genotipos muestran pesos de mil granos superiores a este valor.

De las cuatro accesiones que presentaron los mayores rendimientos, la que produjo mayor cantidad de grano (PEQPC - 498/CUZCO) presentó 2,38 gramos, siendo este valor mayor al promedio obtenido. El rango del contenido de saponina de estos genotipos es de 2,34 a 2,71 gramos (Cuadro 10).

El tamaño de los granos y por ende el peso de los mismos, varían ampliamente entre cultivares, bajo condiciones sin estrés el peso de mil grano está entre 1,2 y 6 gramos (Rojas, 2003 citado por FAO *et. al.*, 2012). En experimentos realizados en la costa, Barnett (2005) señaló que los pesos máximos de mil granos para las variedades estudiadas fueron: Rosada de Huancayo (1,87 g) y La Molina 89 (2,53 g). Adicionalmente, Apaza (1995) señala que la fertilización tiene un efecto positivo sobre el peso de mil granos. Spehar y Lorena de Barros Santos (2005) indican que el peso de mil granos obtenido para la variedad Piabiru BRS en Brasil, fue de 2,42 g.

En el presente experimento los valores del peso de mil granos se encuentran dentro del rango señalado por la FAO *et. al.* (2012), y son cercanos a los encontrados por Barnett en costa central. Las accesiones que presentaron los mayores rendimientos presentaron valores del peso de mil granos cercanos al valor encontrado por Spehar y Lorena de Barros Santos (2005), para la variedad Piabiru BRS, la cual se adaptó a las condiciones de Brasil donde las temperaturas son altas y mayores que las temperaturas reportadas en costa central durante el experimento.

OBJETIVO 2: Determinación de las unidades de calor o unidades térmicas acumuladas para el crecimiento y desarrollo de los diferentes genotipos evaluados bajo condiciones de costa central.

5.3 FENOLOGÍA DEL CULTIVO

Para los 17 genotipos de quinua que formaron granos bajo condiciones de costa central, durante los meses de primavera 2011 – verano 2012, se determinaron los días transcurridos desde el primer riego hasta el inicio de cada fase, la duración o los días transcurridos desde el primer riego hasta la culminación de cada fase y los días de la duración total de cada fase. Se coinciden las tres informaciones debido a que algunas fases se superponen durante el ciclo. En el Cuadro 11 se presenta los resultados del ANVA de la duración de las fases fenológicas y se puede apreciar que no hubo significación para las repeticiones y que si existen diferencias altamente significativas entre los genotipos para todas las fases de desarrollo.

El Cuadro 12 muestra los cuadrados medios del ANVA de los días para el inicio de cada fase y se observa que existen diferencias significativas entre las repeticiones para las fases de germinación, desarrollo vegetativo, ramificación, desarrollo del botón floral, floración y grano pastoso y, diferencias altamente significativas para grano lechoso. Por otro lado, se encontró que no existen diferencias altamente significativas entre los genotipos de quinua para el inicio de las tres primeras fases de desarrollo, pero sí altamente significativas para las demás fases.

Respecto a los días a la culminación de cada fase de desarrollo, en el Cuadro 13 se muestra que existen diferencias altamente significativas entre las repeticiones sólo para las fases de desarrollo de la inflorescencia y grano lechoso, además de diferencias significativas para la fase de grano acuoso y que existen diferencias altamente significativas entre los genotipos para todas las fases de desarrollo.

En los Cuadros 14 y 15 se presenta se presenta una información de datos estadísticos generales del N° de días transcurridos durante las diferentes fases fenológicas estudiadas considerando tres etapas en cada fase: inicio, culminación (fin) y duración total de la fase.

Cuadro 11: Cuadrados medios del N° de días de la duración total de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

FV	G.L.	Germinación	Desarrollo Vegetativo	Botón Floral	Desarrollo de la Inflorescencia	Floración	Antesis	Grano Acuoso	Grano Lechoso	Grano Pastoso
BLOQ	2	0,137	0,961	0,137	1,314	1,020	0,235	1,196	0,843	1,784
TRAT.	16	14,877 **	9,448 **	33,625 **	22,919 **	18,375 **	29,855 **	32,797 **	52,419 **	105,997 **
ERROR	32	0,241	0,482	0,721	1,522	0,978	0,756	1,425	1,176	1,222
TOTAL	50									

C.V (por ciento)		6,88	2,53	5,41	8,73	9,57	8,21	6,82	5,98	5,32
DS		0,49	0,69	0,85	1,23	0,99	0,87	1,19	1,08	1,11
Promedio		7,14	27,43	15,67	14,14	10,33	10,59	17,51	18,14	20,78

FUENTE: Elaboración Propia

Cuadro 12: Cuadrados medios del N° de días para el inicio (DDS) de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

FV	G.L.	Germinación	Desarrollo Vegetativo	Ramificación	Botón Floral	Desarrollo de la Inflorescencia	Floración	Antesis	Grano Acuoso	Grano Lechoso	Grano Pastoso
BLOQ	2	0,176 *	0,706 *	1,588 *	0,706 *	1,431	3,431 *	2,020	2,020	6,725 **	2,372 *
TRAT.	16	0,051	0,206	0,463	21,061 **	87,186 **	141,186 **	86,468 **	50,461 **	84,588 **	148,394 **
ERROR	32	0,051	0,206	0,463	0,164	0,911	0,911	0,895	0,645	1,059	0,560
TOTAL	50										

C.V (por ciento)		4,48	4,08	3,07	1,58	2,31	1,72	11,44	1,05	1,10	0,67
DS		0,23	0,45	0,68	0,40	0,95	0,95	0,94	0,80	1,03	0,75
Promedio		5,06	11,12	22,18	25,65	41,31	55,31	65,61	76,20	93,51	111,69

FUENTE: Elaboración Propia

Cuadro 13: Cuadrados medios del N° de días para la culminación de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012.

FV	G.L.	Germinación	Desarrollo Vegetativo	Botón Floral	Desarrollo de la Inflorescencia	Floración	Antesis	Grano Acuoso	Grano Lechoso	Grano Pastoso
BLOQ	2	0,255	0,137	1,431	4,784 **	2,882	2,020	5,471 *	2,882 **	0,706
TRAT.	16	15,461 **	10,914 **	87,186 **	136,622 **	87,561 **	50,461 **	86,870 **	145,311 **	20,294 **
ERROR	32	0,192	0,241	0,911	0,722	0,966	0,645	33,725	0,528	0,706
TOTAL	50									

C.V (por ciento)		3,92	1,31	2,37	1,56	1,52	1,07	1,11	0,66	0,63
DS		0,44	0,49	0,95	0,85	0,98	0,80	1,03	0,73	0,84
Promedio		11,2	37,55	40,31	54,45	64,65	75,20	92,70	110,65	131,47

FUENTE: Elaboración Propia

Cuadro 14: Datos estadísticos generales de la duración total en días de las fases: germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

Datos Estadísticos	Germinación	Desarrollo Vegetativo	Botón Floral	Desarrollo de la Inflorescencia	Floración	Antesis	Grano Acuoso	Grano Lechoso	Grano Pastoso
Promedio (días)	7,14	27,43	15,67	14,14	10,33	10,59	17,51	18,14	20,78
Desv. Est. (días)	0,49	0,69	0,85	1,23	0,99	0,87	1,19	1,08	1,11
Num. Datos	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Valor max	9	31	21	19	14,33	18,33	24	27,33	31
Valor min	4	26	11	9,33	5	7,67	11,67	13,33	9,67
Coef. Var. (por ciento)	6,88	2,53	5,41	8,73	9,57	8,21	6,82	5,98	5,32
Variancia (días ²)	0,4	0,48	0,72	1,51	0,98	0,76	1,42	1,17	1,23

FUENTE: Elaboración Propia

Cuadro 15: Rangos del N° de días para el inicio, culminación y duración de las fases fenológicas características de los 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

Fase	Días para el inicio	Días para la Culminación	N° Días de Duración de la fase
Germinación	5 a 5.33	8 a 13	4 a 9
Desarrollo Vegetativo	11 a 11.67	36 a 41	26 a 31
Ramificación *	22 a 23		
Botón Floral	23 a 29.33	33 a 47.67	11 a 21
Desarrollo de la Inflorescencia	34 a 48.67	42.33 a 66.33	9.33 a 19
Floración	43.33 a 67.33	56.67 a 74.33	5 a 14.33
Antesis	57.67 a 75.33	67.67 a 82	7.67 a 18.33
Grano Acuoso	68.67 a 83	83 a 100	11.67 a 24
Grano Lechoso	84 a 101.33	101.33 a 122.67	13.33 a 27.33
Grano Pastoso	102.33 a 124.33	127 a 133	9.67 a 31

*Sólo se determinaron los días y los grados día a la ocurrencia para la fase de Ramificación.

FUENTE: Elaboración Propia

5.3.1 GERMINACIÓN

El rango promedio de tiempo para que los 17 genotipos que formaron grano alcanzaran una emergencia de 85 y 90 por ciento fue de 5 a 5.33 días (Cuadro 15), con un coeficiente de variabilidad de 4,48 por ciento (Cuadro 14). No se encontraron diferencias significativas entre los genotipos en esta fase (Cuadro 16).

El rango de la duración de la germinación de los 17 genotipos, en días fue de 4 a 9 (Cuadro 15) y el coeficiente de variación fue 6,88 por ciento (Cuadros 14). Para la mayoría de las accesiones la germinación duró aproximadamente 9 días. Las accesiones que germinaron en menor tiempo fueron PEQPC - 498/CUZCO y PEQPC - 321/CUZCO (4 días) (Cuadro 16).

La fase de germinación culminó en el rango de 8 a 13 días (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 3,92 por ciento (Cuadro 14). Las accesiones que demoraron más en culminar esta fase fueron: PEQPC- 31/VALLE DEL MANTARO, PEQPC - 2235/CAJAMARCA, PEQPC - 2933/APURÍMAC, PEQPC - 595/CUZCO y PEQPC - 537/CUZCO (13 días) y la que tardó menos fue PEQPC - 498/CUZCO (8 días) (Cuadro 16).



Figura 2: Fase 0 (Germinación – Hojas cotiledóneas extendidas)

Cuadro 16: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de germinación de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Germinación Duración N° Días	Germinación Inicio N° Días	Germinación Culminación N° Días	Germinación Inicio Grados día (°D)	Germinación Culminación Grados día (°D)	Parcela Tratamiento
1	PEQPC - 357/CUZCO	4.33b	5.00a	8.33 b	46.91 a	76.07 b	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	8.67a	5.00a	12.67 a	46.91 a	116.48 a	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	4.33b	5.00a	8.33 b	46.91 a	76.07 b	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	8.33a	5.00a	8.33 b	46.91 a	76.07 b	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	8.67a	5.00a	12.67 a	46.91 a	116.48 a	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	4.33b	5.00a	8.33 b	46.91 a	76.07 b	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	4.00b	5.00a	8.00 b	46.91 a	72.67 b	10
38	PEQPC - 821/PUNO	8.67a	5.00a	12.67 a	46.91 a	116.48 a	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	9.00a	5.00a	13.00 a	46.91 a	119.65 a	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	8.67a	5.00a	12.67 a	46.91 a	116.48 a	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	8.67a	5.33a	12.67 a	49.87 a	116.48 a	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	8.67a	5.33a	13.00 a	49.87 a	119.65 a	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	8.67a	5.33a	13.00 a	49.87 a	119.65 a	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	9.00a	5.00a	13.00 a	46.91 a	119.65 a	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	9.00a	5.00a	13.00 a	46.91 a	119.65 a	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	4.00b	5.00a	8.00 b	46.91 a	72.67 b	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	8.67a	5.00a	12.67 a	46.91 a	116.48 a	25

5.3.2 FASE DE DESARROLLO VEGETATIVO

El inicio de esta etapa fue determinado para cada genotipo evaluado en este experimento, cuando el 50 por ciento de plantas de cada parcela iniciaron la formación del primer par de hojas verdaderas, culminando la fase con la aparición y extensión del quinto par (10 hojas verdaderas). Esta etapa se superpuso a la fase de ramificación y, parcialmente, con la fase del desarrollo del botón floral.

El rango de la duración de la fase de desarrollo vegetativo para los 17 genotipos de quinua, fue de 26 a 31 días (Cuadro 15) y el coeficiente de variación fue igual a 2,53 por ciento (Cuadro 14). La ROSADA DE HUANCAYO, fue la que demoró más (31 días) y las accesiones que presentaron la menor duración en días fueron: PEQPC - 415/CUZCO, PEQPC - 2235/CAJAMARCA, PEQPC - 325/CUZCO, PEQPC - 321/CUZCO y PEQPC - 648/CUZCO (26 días) (Cuadro 17). Respecto a los días al inicio del desarrollo vegetativo, en el Cuadro 15 se indica que el rango para que los 17 genotipos de quinua iniciaran la fase fue de 11 a 11,67 días, no encontrándose diferencias entre ellos. El coeficiente de variabilidad fue 4,08 por ciento (Cuadro 14).

El rango de días para la culminación del desarrollo vegetativo fue de 36 a 41 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,31 por ciento (Cuadro 14). Las accesiones que demoraron más en culminar esta fase fueron: ROSADA DE HUANCAYO, PEQPC - 595/CUZCO y PEQPC - 411/CUZCO (41 días) y las que tardaron menos fueron: PEQPC - 415/CUZCO, PEQPC - 2235/CAJAMARCA, PEQPC - 325/CUZCO, PEQPC - 321/CUZCO y PEQPC - 648/CUZCO (36 días) (Cuadro 17).

Cuadro 17: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase del desarrollo vegetativo de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Desarrollo Vegetativo	Parcela Tratamiento				
		Duración	Inicio	Culminación	Inicio	Culminación	
		N° Días	N° Días	N° Días	Grados día (°D)	Grados día (°D)	
1	PEQPC - 357/CUZCO	27.00 b	11.00 a	37.00 b	100.68 a	368.90 bc	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	26.67 b	11.00 a	36.67 b	100.68 a	365.34 bc	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	26.00 b	11.00a	36.00 b	100.68 a	358.23 c	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	26.33 b	11.00a	36.33 b	100.68 a	361.61 bc	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	26.00 b	11.00 a	36.00 b	100.68 a	358.23 c	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	26.00 b	11.00 a	36.00 b	100.68 a	358.23 c	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	27.33 b	11.00 a	37.33 b	100.68 a	399.27 bac	10
38	PEQPC - 821/PUNO	30.00 a	11.00 a	40.00 a	100.68 a	403.31 ba	11
50	PEQPC - 31/ VALLE DEL MANTARO	27.00 b	11.00 a	37.00 b	100.68 a	368.90 bc	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	26.33 b	11.00 a	36.33 b	100.68 a	361.78 bc	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	30.33 a	11.67 a	41.00 a	107.00 a	414.61 a	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	30.33 a	11.67 a	41.00 a	107.00 a	414.61 a	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	26.67 b	11.67 a	37.33 b	107.00 a	372.88 bac	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	26.00 b	11.00 a	36.00 b	100.68 a	358.06 c	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	27.33 b	11.00 a	37.33 b	100.68 a	372.88 bac	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	26.00 b	11.00 a	36.00 b	100.68 a	358.23 c	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	31.00 a	11.00 a	41.00 a	100.68 a	414.61 a	25



Vista general del campo cuando durante la fase del desarrollo vegetativo



2 - 4 hojas verdaderas



6 - 8 hojas verdaderas



8 - 10 hojas verdaderas

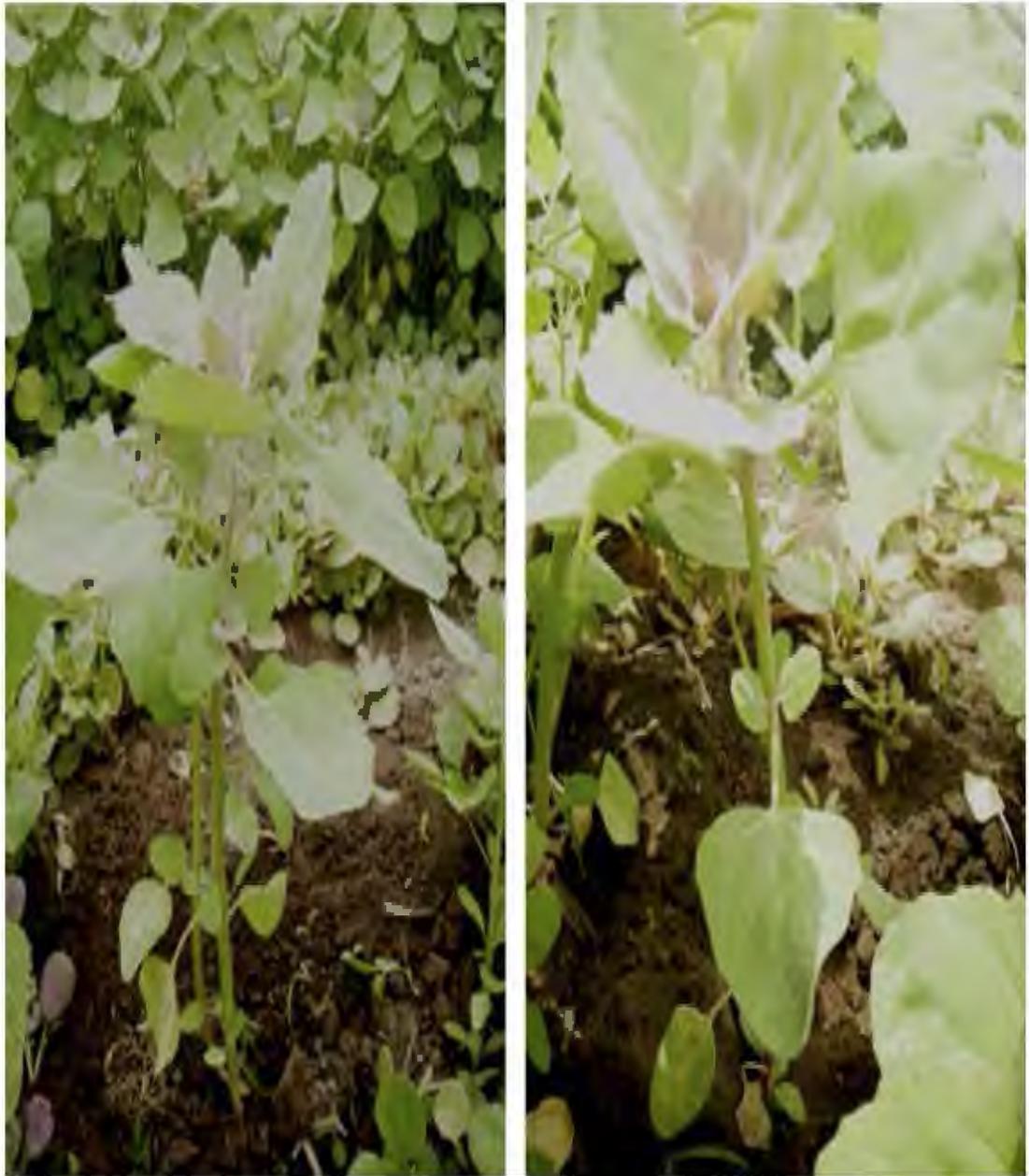
Figura 3: Fase 1 (desarrollo vegetativo)

5.3.3 RAMIFICACIÓN

Esta fase se superpuso parcialmente con la fase de desarrollo vegetativo y desarrollo del botón floral. El coeficiente de variabilidad fue 3,07 por ciento (Cuadro 14) y el rango de días para el inicio de la fase fue de 22 a 23 (Cuadro 15), no existiendo diferencias significativas entre los genotipos. En el Cuadro 18 se presentan los valores promedio y la prueba de Tukey de días y grados día para el inicio de la ramificación.

Cuadro 18: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de días y grados día ($^{\circ}$ D) para el inicio correspondientes a la fase de ramificación de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Ramificación Inicio N° Días	Ramificación Inicio Grados día ($^{\circ}$ D)	Parcela Tratamiento
1	PEQPC - 357/CUZCO	22.00 a	207.15 a	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	22.00 a	207.15 a	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	22.00 a	207.15 a	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	22.00 a	207.15 a	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	22.00 a	207.15 a	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	22.00 a	207.15 a	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	22.00 a	207.15 a	10
38	PEQPC - 821/PUNO	22.00 a	207.15 a	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	22.00 a	207.15 a	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	22.00 a	207.15 a	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	23.00 a	217.95 a	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	23.00 a	217.95 a	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	23.00 a	217.95 a	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	22.00 a	207.15 a	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	22.00 a	207.15 a	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	22.00 a	207.15 a	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	22.00 a	207.15 a	25



Hojas axilares extendidas

Figura 4: Fase 2 (ramificación)

5.3.4 DESARROLLO DEL BOTÓN FLORAL

El primordio floral o botón floral comenzó a diferenciarse como una estructura pequeña y compacta, encerrada por hojas protectoras, a los pocos días después de haber iniciado la ramificación. Esta fase culminó cuando el botón floral alcanzó un centímetro de longitud, tiempo en el que comenzó a tomar la forma de una pirámide pequeña.

El rango de días de la duración de la fase del desarrollo del botón floral fue de 11 a 21 (Cuadro 15) y el coeficiente de variación fue igual a 5,41 por (Cuadro 14). La accesión PEQPC – 595/CUZCO presentó la mayor duración de la fase (21 días) y las accesiones que presentaron la menor duración fueron PEQPC- 821/PUNO y PEQPC- 2235/CAJAMARCA (11 días) (Cuadro 19).

El rango de días para el inicio del desarrollo del botón floral de los 17 genotipos de quinua fue de 23 a 29.33 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,58 por ciento (Cuadro 14). La accesión que demoró más para iniciar esta fase fue PEQPC- 537/CUZCO (29,33 días) y a las que les llevo menos días fueron: PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO, PEQPC - 2235/CAJAMARCA, PEQPC - 2933/APURÍMAC y PEQPC - 821/PUNO, 23 días (Cuadro 19).

La culminación del desarrollo del botón floral ocurrió en el rango de días de 33 a 47.67 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 2,37 por ciento (Cuadro 14). Las accesiones que demoraron más días en culminar esta fase fueron PEQPC- 547/CUZCO (47,67 días) y PEQPC – 461/CUZCO (47,33) y las que tardaron menos fueron: PEQPC - 821/PUNO, ecotipo del altiplano, y PEQPC – 2235/CAJAMARCA (33 días) (Cuadro 19).

Cuadro 19: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase del desarrollo del botón floral de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Desarrollo del botón floral	Desarrollo del botón floral	Desarrollo del botón floral	Desarrollo del botón floral	Desarrollo del botón floral	Parcela Tratamiento
		Duración	Inicio	Culminación	Inicio	Culminación	
		N° Días	N° Días	N° Días	Grados día (°D)	Grados día (°D)	
1	PEQPC - 357/CUZCO	16.33 ecd	24.67 b	40.00 d	235.76 b	403.52 d	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	20.00 ba	24.33 b	43.33 c	232.39 b	440.86 c	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	18.00 bc	29.00 a	46.00 bac	282.33 a	470.83 bac	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	19.67 ba	29.00 a	47.67 a	282.33 a	489.50 a	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	17.67 bcd	29.00 a	45.67 bac	282.33 a	467.14 bac	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	16.67 ecd	29.00 a	44.67 bc	282.33 a	455.87 bc	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	15.00 ef	24.00 cb	38.00 ed	228.80 cb	380.73 ed	10
38	PEQPC - 821/PUNO	11.00 g	23.00 cb	33.00 f	217.58 c	324.95 f	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	11.33 g	23.00 cb	33.33 f	217.58 c	328.52 f	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	19.33 ba	29.00 a	47.33 ba	282.33 a	485.75 ba	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	15.33 ed	24.00 cb	38.33 ed	228.80 cb	384.60 ed	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	21.00 a	24.67 b	44.67 bc	235.76 b	455.87 bc	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	15.33 ed	29.33 a	43.67 c	285.82 a	444.46 c	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	11.00 g	23.00 cb	33.00 f	217.58 c	324.95 f	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	11.33 g	23.00 cb	33.33 f	217.58 c	328.52 f	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	14.67 ef	24.00 cb	37.67 ed	228.80 cb	376.75 ed	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	12.67 gf	24.00 cb	35.67 ef	228.80 cb	354.50 ef	25



Inicio del desarrollo del Botón floral



Botón floral de 0,5 cm



Botón floral de 1 cm

Figura 5: Fase 3 (desarrollo del botón floral)

5.3.5 DESARROLLO DE LA INFLORESCENCIA

La inflorescencia o panoja comenzó a diferenciarse en el ápice del tallo principal, en forma de pirámide. Mientras las panojas crecían, se formaron hojas en las bases y a lo largo de ellas. Se observaron cristales de oxalato de calcio en las panojas, los cuales eran de colores diferentes, según el genotipo. A medida que la panoja desarrollaba las hojas verdaderas basales se cayeron debido a la senescencia. Luego, inició la formación de los glomérulos y flores, desde la base hasta el ápice. Esta fase culminó cuando las panojas estuvieron totalmente formadas, presentaron forma cónica o de pirámide, la base ancha y el ápice delgado.

El rango de días de la duración de la fase del desarrollo de la inflorescencia fue de 9,33 a 19 (Cuadro 15) y el coeficiente de variación fue igual a 8,73 por ciento (Cuadro 14). La accesión PEQPC – 461/CUZCO, presentó la mayor duración de la fase (19 días) y la que presentó la menor duración fue PEQPC- 821/PUNO, ecotipo del altiplano, (9,33) (Cuadro 20).

El rango de días para el inicio del desarrollo de la inflorescencia fue de 34 a 48,67 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 2,31 por ciento (Cuadro 14). Las accesiones que tardaron más en iniciar esta fase fueron PEQPC- 547/CUZCO (48,67) y PEQPC – 4617CUZCO (48,33 días), y las que requirieron menos fueron: PEQPC - 2235/CAJAMARCA y PEQPC - 821/PUNO, (34 días) (Cuadro 20).

La culminación del desarrollo de la inflorescencia ocurrió en el rango de días de 42,33 a 66,33 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,56 por ciento (Cuadro 14). La accesión que demoró más en culminar esta fase fue PEQPC- 461/CUZCO (66,33 días) y la que tardó menos fue PEQPC - 821/PUNO, con 42,33 días (Cuadro 20).

Cuadro 20: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase del desarrollo de la inflorescencia de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Desarrollo de la Inflorescencia	Parcela Tratamiento				
		Duración N° Días	Inicio N° Días	Culminación N° Días	Inicio Grados día (°D)	Culminación Grados día (°D)	
1	PEQPC - 357/CUZCO	15.00 bdec	41.00 d	55.00 c	414.36 d	575.75 c	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	14.00 fbdecg	44.33 c	57.33 c	456.16 c	604.82 c	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	15.33 bdac	47.00 bac	61.33 b	482.17 bac	656.33 b	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	14.67 fbdec	48.67 a	62.33 b	501.33 a	669.18 b	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	11.33 fhcg	46.67 bac	57.00 c	478.24 bac	600.54 c	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	12.67 fhdeg	45.67 bc	57.33 c	467.35 bc	604.82 c	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	11.33 fhcg	39.00 ed	49.33 e	392.20 ed	509.61 d	10
38	PEQPC - 821/PUNO	9.33 hg	34.00 f	42.33 f	335.64 f	429.25 e	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	10.67 hg	34.33 f	44.00 f	339.44 f	448.31 e	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	19.00 a	48.33 ba	66.33 a	497.28 ba	719.75 a	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	16.67 bac	39.33 ed	55.00 c	395.82 ed	575.51 c	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	15.67 bdac	45.67 bc	60.33 b	467.35 bc	643.62 b	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	13.00 fhdecg	44.67 c	56.67 c	456.17 c	596.46 c	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	11.00 fhg	34.00 f	44.00 f	335.64 f	448.46 e	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	17.00 ba	34.33 f	50.33 ed	339.44 f	520.61 d	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	17.33 ba	38.67 ed	55.00 c	388.34 ed	575.68 c	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	16.33 bdac	38.67 ef	52.00 d	365.34 ef	539.54 d	25

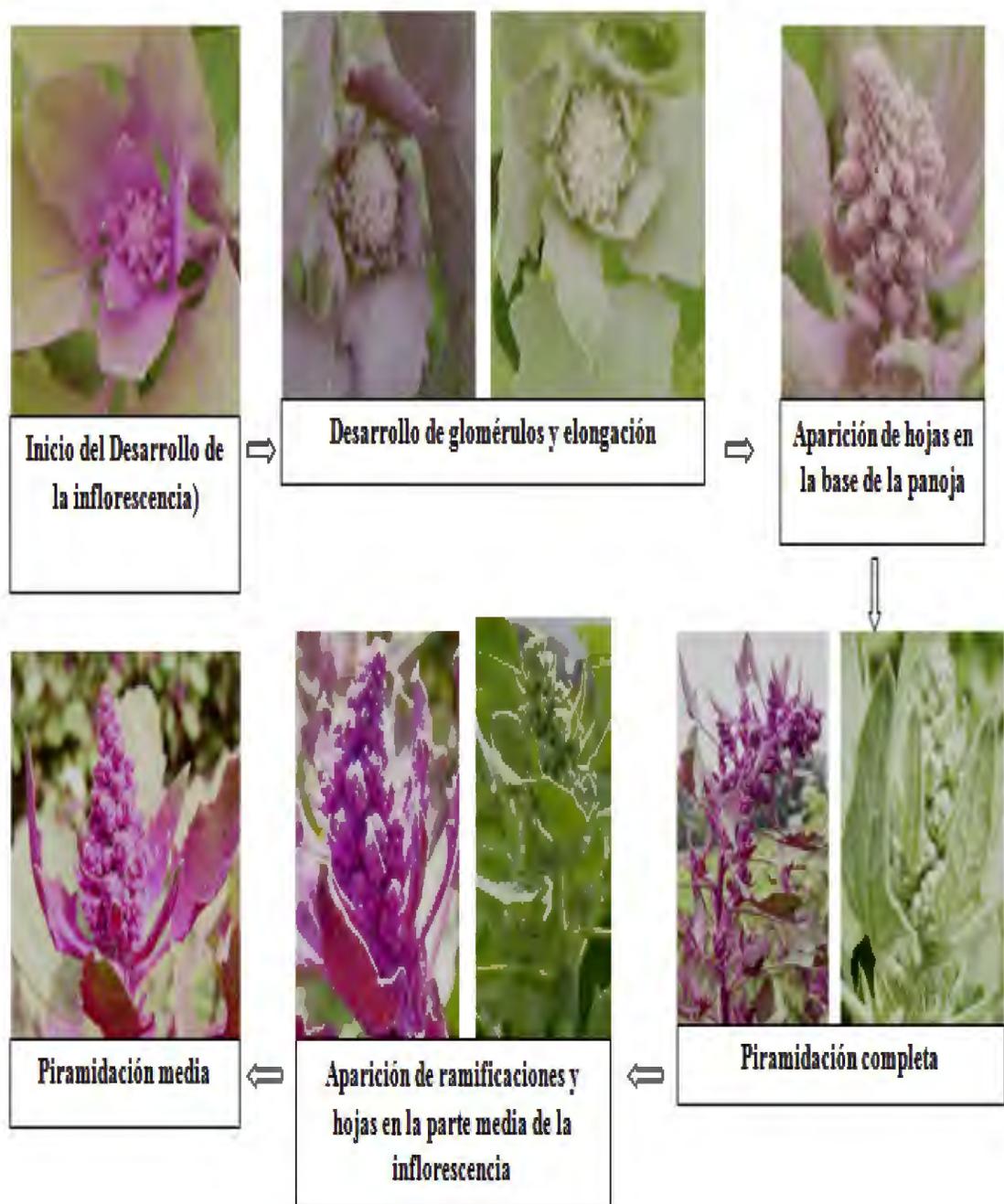


Figura 6: Fase 4 (desarrollo de la inflorescencia)

5.3.6 FLORACIÓN

Esta fase se caracteriza por la apertura de flores. En cada glómulo de la panoja primero se abrieron las flores apicales hermafroditas seguidas de las flores restantes femeninas. Esto ocurre inicialmente en los glómulos del ápice de la panoja y se va generalizando en toda ella.

El rango de días de la duración de la fase de floración fue de 5 a 14,33 (Cuadro 15) y el coeficiente de variación fue igual a 9,57 por ciento (Cuadro 14). La accesión PEQPC – 821 PUNO, presentó la mayor duración para la floración (14,33 días) y la accesión que presentó la menor duración fue PEQPC- 321 CUZCO, 5 días (Cuadro 21).

El rango de días para el inicio de la floración para fue de 43,33 a 67,33 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,72 por ciento (Cuadro 14). La accesión que tardó más para iniciar esta fase fue PEQPC- 461 CUZCO (67,33 días) y la que requirió menos fue PEQPC – 821 PUNO, 43,33 días (Cuadro 21).

La culminación de la floración ocurrió en el rango de 56,67 a 74,33 días (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,52 por ciento (Cuadro 14). La accesión que demoró más días en culminar esta fase fue PEQPC- 461/CUZCO (74,33 días) y las que tardaron menos fueron PEQPC – 31/VALLE DEL MANTARO (57 días) y PEQPC - 821/PUNO, 56,67 días (Cuadro 21).

Cuadro 21: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de floración de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Floración	Floración	Floración	Floración	Floración	Parcela Tratamiento
		Duración	Inicio	Culminación	Inicio	Culminación	
		N° Días	N° Días	N° Días	Grados día (°D)	Grados día (°D)	
1	PEQPC - 357/CUZCO	8.67 dc	56.00 c	63.67 d	588.30 c	685.87 d	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	10.67 bdc	58.33 c	68.00 c	617.80 c	741.12 c	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	8.00 ed	62.33 b	69.33 bc	668.98 b	758.43 cb	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	9.00 dc	63.33 b	71.33 ba	681.60 b	786.47 b	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	11.33 bac	58.00 c	68.33 bc	613.39 c	745.31 c	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	10.67 bdc	58.33 c	68.00 c	617.80 c	741.12 c	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	9.33 dc	50.33 ed	58.67 efg	520.61 ed	621.98 efg	10
38	PEQPC - 821/PUNO	14.33 a	43.33 f	56.67 g	440.46 f	596.66 g	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	13.00 ba	45.00 f	57.00 fg	459.72 f	600.74 fg	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	8.00 ed	67.33 a	74.33 a	732.49 a	829.87 a	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	9.00 dc	56.00 c	64.00 d	588.30 c	690.08 d	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	8.67 dc	61.33 b	69.00 bc	656.31 b	754.02 cb	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	11.33 bac	57.67 c	68.00 c	609.11 c	741.12 c	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	13.67 ba	45.00 f	57.67 fg	460.02 f	609.11 fg	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	13.67 ba	49.00 ed	61.67 ed	505.87 e	660.65 ef	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	5.00 e	56.00 c	60.00 ef	588.20 c	639.20 ef	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	11.33 bac	53.00 d	63.33 d	551.13 d	681.80 d	25



Figura 7: Fase 5 (floración)

5.3.7 ANTESIS

Una vez realizada la liberación del polen, las anteras se marchitaron paulatinamente, las anteras marchitas fueron notorias por varios días, incluso algunas permanecieron adheridas hasta la fase de grano acuoso. Simultáneamente se observó el cierre del perigonio sepaloide para proteger el embrión ya fecundado y la eliminación de las hojas de la planta iniciándose en la base y en forma ascendente por efecto de la senescencia.

El rango de días de la duración de la fase de antesis fue de 7,67 a 18,33 (Cuadro 15) y el coeficiente de variación fue igual a 8,21 por ciento (Cuadro 14). La accesión PEQPC – 31/VALLE DEL MANTARO presentó la mayor duración en días para la antesis (18,33 días) y las accesiones que presentaron la menor duración fueron: PEQPC - 461/CUZCO, PEQPC – 547/CUZCO y PEQPC- 658/CUZCO, 7,67 días (Cuadro 22).

El rango de días para el inicio de la antesis fue de 57,67 a 75,33 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,44 por ciento (Cuadro 14). La accesión que tardó más para iniciar esta fase fue PEQPC- 461/CUZCO (75,33 días) y a las que le llevo menos tiempo fueron: PEQPC – 31/VALLE DEL MANTARO (58 días) y PEQPC – 821/PUNO (57,67 días) (Cuadro 22).

La culminación de la antesis ocurrió en el rango de días de 67,67 a 82 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,07 por ciento (Cuadro 14). La accesión que demoró más días en culminar esta fase fue PEQPC- 461/CUZCO (82 días) y las que tardaron menos fueron: PEQPC – 321/CUZCO (68 días), PEQPC – 498/CUZCO (68,33 días) y PEQPC – 2235/CAJAMARCA, 67,67 días (Cuadro 22).

Cuadro 22: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de antesis de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Antesis Duración N° Días	Antesis Inicio N° Días	Antesis Culminación N° Días	Antesis Inicio Grados día (°D)	Antesis Culminación Grados día (°D)	Parcela Tratamiento
1	PEQPC - 357/CUZCO	12.33 cb	64.67 d	76.00 de	698.36 d	852.20 a	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	9.00 gef	69.00 c	77.00 dc	754.02 c	865.10 a	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	10.33 cefd	69.67 cb	79.00 bc	762.73 c	890.90 a	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	7.67 g	72.33 b	79.00 bc	801.03 b	890.90 a	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	7.67 g	69.33 c	76.00 de	758.42 c	852.20 a	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	8.33 gf	69.00 c	76.33 d	754.02 c	856.80 a	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	9.67 gefd	59.67 gf	68.33 g	635.12 gf	1077.00 a	10
38	PEQPC - 821/PUNO	17.00 a	57.67 g	73.67 ef	609.24 g	820.70 a	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	18.33 a	58.00 g	75.33 def	613.52 g	843.20 a	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	7.67 g	75.33 a	82.00 a	843.32 a	931.80 a	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	12.00 cbd	65.00 d	76.00 de	702.72 d	852.20 a	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	11.00cebd	70.00 cb	80.00 ba	767.15 cb	904.50 a	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	8.33 gf	69.00 c	76.33 d	754.02 c	856.80 a	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	10.00 gcefd	58.67 gf	67.67 g	622.22 gf	736.70 a	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	13.00 b	62.67 ed	74.67 def	673.24 ed	834.30 a	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	8.00 gf	61.00 ef	68.00 g	652.14 ef	741.10 a	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	9.67 gefd	64.33 d	73.00 f	694.15 d	811.00 a	25



Figura 8: Fase 6 (antesis)

5.3.8 GRANO ACUOSO

Después de la fecundación se inicia el crecimiento del grano, el cual al ser presionado libera una sustancia acuosa. El rango de los días de duración de la fase de grano acuoso fue de 11,67 de a 24 (Cuadro 15) y el coeficiente de variación fue igual a 6,82 por ciento (Cuadro 14). La variedad Rosada de Huancayo presentó la mayor duración para el periodo de formación de grano acuoso (24 días) y la accesión que presentó la menor duración fue PEQPC-31/VALLE DEL MANTARO (11,67 días), (Cuadro 23).

El rango de días para el inicio de la fase de grano acuoso fue de 68,67 a 83 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,05 por ciento (Cuadro 14). La accesión que tardó más para iniciar esta fase fue PEQPC-461/CUZCO (83 días) y a las que les llevo menos tiempo fueron: PEQPC – 321/CUZCO (69) y PEQPC –2235/CAJAMARCA, 68,67 días (Cuadro 23).

La culminación del grano acuoso ocurrió en el rango de días de 83 a 100 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,11 por ciento (Cuadro 14). Las accesiones que demoraron más en culminar esta fase fueron: PEQPC – 595/CUZCO y PEQPC-461/CUZCO (ambas 100 días) y la que tardó menos fue PEQPC – 2235/CAJAMARCA 83 días (Cuadro 23).

Cuadro 23: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de grano acuoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Grano Acuoso Duración N° Días	Grano Acuoso Inicio N° Días	Grano Acuoso Culminación N° Días	Grano Acuoso Inicio Grados día (°D)	Grano Acuoso Culminación Grados día (°D)	Parcela Tratamiento
1	PEQPC - 357/CUZCO	12.33 gh	77.00 de	88.33 dfe	866.05 de	1026.30 fe	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	20.00 bdc	78.00 dc	97.00 ba	878.88 dc	1162.77 ba	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	17.33 fed	80.00 bc	96.33 b	904.55 bc	1153.30 b	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	18.00 bedc	80.00 bc	97.00 ba	904.55 bc	1162.77 ba	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	21.00 bac	77.00 de	97.00 ba	866.05 de	1162.77 ba	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	15.00 fegh	77.33 d	91.33 dc	870.11 d	1074.77 dc	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	19.00 bdc	69.33 g	87.33 fe	758.42 g	1010.57 fe	10
38	PEQPC - 821/PUNO	15.00 fegh	74.67 ef	88.67 dfe	834.38 ef	1031.37 dfe	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	11.67 h	76.33 def	87.00 fe	857.00 def	1004.99 fe	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	18.00 bedc	83.00 a	100.00 a	945.19 a	1206.92 a	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	14.00 fgh	77.00 de	90.00 dce	866.05 de	1053.07 dce	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	20.00 bdc	81.00 ba	100.00 a	918.09 ba	1206.92 a	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	21.33 ba	77.33 d	97.67 ba	870.11 d	1172.32 ba	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	15.33 feg	68.67 g	83.00 g	749.71 g	946.09 gf	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	17.67 edc	75.67 def	92.33 c	847.95 def	1091.13 c	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	18.00 bedc	69.00 g	86.00 gf	754.02 g	989.78 gf	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	24.00 a	74.00 f	97.00 ba	825.22 f	1162.92 ba	25



Inicio de Grano Acuoso



Grano Acuoso



Finalizando Grano Acuoso

Figura 9: Fase 7 (grano acuoso)

5.3.9 GRANO LECHOSO

Los granos alcanzaron el 100 por ciento de su tamaño y cambiaron el contenido acuoso por una sustancia lechosa blanquecina, producto de la translocación de almidones al grano. El perigonio sepaloide fue cediendo al crecimiento del grano, por lo que los cinco sépalos se separaron dando la apariencia de una estrella. Se hizo visible el color del pericarpio o envoltura del fruto.

El rango de días de la duración de la fase de grano lechoso fue de 13,33 a 27,33 (Cuadro 15) y el coeficiente de variación fue igual a 5,98 por ciento (Cuadro 14). La accesión PEQPC – 415/CUZCO presentó la mayor duración para la fase de grano lechoso (27,33 días) y las accesiones que presentaron la menor duración fueron: PEQPC-821/PUNO y PEQPC – 461/CUZCO, 13,33 días (Cuadro 24).

El rango de días para el inicio de la fase de grano lechoso fue de 84 a 101,33 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 1,10 por ciento (Cuadro 14). La accesión que tardó más para iniciar esta fase fue PEQPC-595/CUZCO (101,33 días) y a la que le llevo menos tiempo fue PEQPC – 2235/CAJAMARCA, 84 días (Cuadro 24).

La culminación de la fase de grano lechoso ocurrió en el rango de 101,33 a 122,67 días (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 0,66 por ciento (Cuadro 14). La accesión que demoró más en culminar esta fase fue PEQPC-648/CUZCO (122,67 días) y la que tardó menos fue PEQPC -498/CUZCO, 101,33 días (Cuadro 24).

Cuadro 24: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de grano lechoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Grano Lechoso Duración N° Días	Grano Lechoso Inicio N° Días	Grano Lechoso Culminación N° Días	Grano Lechoso Inicio Grados día (°D)	Grano Lechoso Culminación Grados día (°D)	Parcela Tratamiento
1	PEQPC - 357/CUZCO	17.33 gfh	89.33 fhg	105.67 hi	1041.49 hg	1294.19 hi	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	15.33 gih	98.00 bc	112.33 ef	1176.78 bc	1398.61 ef	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	18.00 gfe	97.33 c	114.33 ed	1167.44 c	1428.45 ed	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	21.00 dce	98.00 bc	118.00 cb	1176.78 bc	1484.63 cb	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	25.67 ba	98.00 bc	122.67 a	1176.78 bc	1561.36 a	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	27.33 a	92.33 fe	118.67 b	1091.13 fe	1495.31 b	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	14.67 ih	87.67 h	101.33 j	1015.77 h	1226.98 j	10
38	PEQPC - 821/PUNO	13.33 i	89.67 fhg	102.00 j	1046.55 fhg	1237.12 j	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	15.00 gih	88.00 hg	102.00 j	1020.83 hg	1237.12 j	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	13.33 i	100.67 ba	113.00 ef	1217.21 ba	1408.64 ef	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	15.33 gih	91.00 feg	105.33 i	1068.56 feg	1289.42 i	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	15.67 gih	101.33 a	116.00 cd	1227.31 a	1453.12 cd	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	17.00 gfh	96.00 dc	112.00 f	1147.67 dc	1393.38 f	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	19.00 dfe	84.00 i	102.00 j	959.88 i	1237.12 j	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	16.00 gih	93.33 de	108.33 g	1107.09 de	1336.11 g	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	21.67 dc	87.00 ih	107.67 hg	1005.31 ih	1325.20 hg	21
125	ROSADA DE HUANCAYO	22.67 bc	98.00 bc	119.67 b	1177.41 bc	1511.73 b	25



Inicio de Grano Lechoso



Grano Lechoso



Finalizando Grano Lechoso

Figura 10: Fase 8 (grano lechoso)

5.3.10 GRANO PASTOSO

El contenido del grano cambió a una masa blanca sólida, la cual se observó al hacer presión con los dedos, sobre los granos. Los perigonios sepaloides cambiaron de color, el cual varió entre genotipos. Algunos se tornaron amarillos, otros anaranjados y rosados.

El rango de días de la duración de la fase de grano pastoso fue de 9,67 a 31 días (Cuadro 15) y el coeficiente de variación fue igual a 5,32 por ciento (Cuadro 14). Las accesiones PEQPC – 31/VALLE DEL MANTARO y PEQPC- 821/PUNO presentaron la mayor duración para la fase de grano pastoso (31 días) y la accesión que presentó la menor duración fue PEQPC- 648/CUZCO, 9,67 días (Cuadro 25).

El rango de días para el inicio de la fase de grano pastoso fue de 102,33 a 124,33 (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 0,67 por ciento (Cuadro 14). La que tardó más en iniciar esta fase fue PEQPC- 648/CUZCO (124,33 días) y a la que le llevo menos fue PEQPC – 498/CUZCO, 102,33 días (Cuadro 25).

La culminación de la fase de grano pastoso ocurrión en el rango de 127 a 133 días (Cuadro 15) y el coeficiente de variabilidad fue 0,63 por ciento (Cuadro 14). La mayoría de las accesiones culminaron esta fase a los 133 días. La accesión PEQPC – 411/CUZCO culminó la fase a los 131 días y a las accesiones: PEQPC-2235/CAJAMARCA, PEQPC– 498/CUZCO, PEQPC–321/CUZCO, PEQPC-357/CUZCO les llevó menos días en culminar esta fase, con un tiempo de 127 días (Cuadro 25).

Cuadro 25: Valores promedio y prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) de la duración (N° Días), días para el inicio, días para la culminación, grados día (°D) para el inicio y grados día (°D) para la culminación correspondientes a la fase de grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

ORIGEN POQ - C VM 10B	N° PEQPC	Grano Pastoso	Grano Pastoso	Grano Pastoso	Grano Pastoso	Grano Pastoso	Parcela Tratamiento
		Duración N° Dias	Inicio N° Dias	Culminación N° Dias	Inicio Grados día (°D)	Culminación Grados día (°D)	
1	PEQPC - 357/CUZCO	21.33 cd	106.67 hi	127 b	1309.93 gh	1631.92 b	1
3	PEQPC - 410/CUZCO	20.67 d	113.33 ef	133 a	1413.87 e	1735.93 a	2
18	PEQPC - 325/CUZCO	18.67 ed	115.33 ed	133 a	1443.30 ed	1735.93 a	4
20	PEQPC - 547/CUZCO	15.00 gf	119.00 cb	133 a	1500.83 cb	1735.93 a	5
21	PEQPC - 648/CUZCO	9.67 h	124.33 a	133 a	1588.05 a	1735.93 a	6
34	PEQPC - 415/CUZCO	14.33 gf	119.67 b	133 a	1511.80 b	1735.93 a	9
35	PEQPC - 498/CUZCO	25.67 b	102.33 j	127 b	1242.67 i	1631.92 b	10
38	PEQPC - 821/PUNO	31.00 a	103.00 j	133 a	1252.77 i	1735.93 a	11
50	PEQPC - 31/VALLE DEL MANTARO	31.00 a	103.00 j	133 a	1252.77 i	1735.93 a	12
52	PEQPC - 461/CUZCO	20.00 ed	114.00 ef	133 a	1423.64 e	1735.93 a	13
71	PEQPC - 411/CUZCO	25.67 b	106.33 i	131 a	1304.33 h	1701.26 a	15
79	PEQPC - 595/CUZCO	17.00 ef	117.00 cd	133 a	1468.70 cd	1735.93 a	16
80	PEQPC - 537/CUZCO	21.00 d	113.00 f	133 a	1409.07 e	1735.93 a	17
81	PEQPC - 2235/CAJAMARCA	25.00 b	103.00 j	127 b	1252.77 i	1631.92 b	18
83	PEQPC - 2933/APURÍMAC	24.67 cb	109.33 g	133 a	1352.31 f	1735.93 a	19
102	PEQPC - 321/CUZCO	19.33 ed	108.67 hg	127 b	1341.69 f	1631.92 b	21
125	RODADA DE HUANCAYO	13.33 g	120.67 b	133 a	1528.36 b	1735.93 a	25

Algunas accesiones, no alcanzaron la madurez de cosecha (toda la panoja seca) antes del día en que se cortaron todos los genotipo de quinua (quince de febrero del 2012) por tal razón, después del corte fue necesario dejar 6 días para que las panojas secaran en el campo antes de la cosecha. El ciclo de vida de dichas accesiones duró 133 días. Sólo la accesiones PEQPC - 411/CUZCO, PEQPC – 2335/CAJAMARCA, PEQPC - 498/CUZCO, PEQPC - 321/CUZCO y PEQPC – 357/CUZCO alcanzaron la madurez de cosecha antes de la fecha del corte, el ciclo de vida de esta accesiones duró 127 días a excepción de la PEQPC - 411/CUZCO cuyo ciclo duró 131 días. De este grupo, las accesiones provenientes del Cuzco alcanzaron los mayores rendimientos en costa central durante los meses de primavera – verano. En promedio las 17 accesiones que formaron granos en este experimento, alcanzaron la madurez fisiológica a los 131 días (Cuadro 26)

Cuadro 26: Resumen de los valores promedios acumulados de días para la culminación de las fases representativas de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

Fase Fenológica	Días acumulados	Desviación Estándar (días)	Coefficiente de Variabilidad (por ciento)
Germinación	11,2	0,44	3,92
Desarrollo Vegetativo	37,55	0,49	1,31
Ramificación	22,18*	0,68	3,07
Botón Floral	40,31	0,95	2,37
Desarrollo de la Inflorescencia	54,45	0,85	1,56
Floración	64,65	0,98	1,52
Antesis	75,20	0,80	1,07
Grano Acuoso	92,70	1,03	1,11
Grano Lechoso	110,65	0,73	0,60
Grano Pastoso	131,47	0,84	0,63

*para la fase de ramificación se presentan los días a la ocurrencia.

FUENTE: Elaboración propia



Inicio de Grano Pastoso



Madurez Fisiológica



Grano Pastoso

Figura 11: Fase 9 (grano pastoso)

Los 25 genotipos de quinua evaluados en este experimento, presentaron las fases de desarrollo con períodos de duración diferentes entre sí. Los 17 genotipos que formaron grano presentaron un comportamiento similar hasta la fase 2 (Ramificación) y a partir de la fase del desarrollo del botón floral hasta grano pastoso, los genotipos se diferenciaron en la duración, ocurrencia y culminación de las fases de forma mucho más marcada. Para los genotipos que no formaron grano, el comportamiento fue similar hasta la fase 3 o desarrollo del botón floral, para las fases siguientes las diferencias fueron marcadas. Estas diferencias pueden atribuirse al genotipo, al medio ambiente y a la interacción genotipo x ambiente, como lo señalan Bertero, et. al., (2004) y Galwey y Risi (2006).

Autores como Spehar y Souza (1993) citados por Spehar y Santos (2005), señalan que la quinua responde a cambios en la temperatura y que el ciclo de la planta resulta de la conjugación de la temperatura y el fotoperiodo. Según Castillo y Castellví (1996), las bajas temperaturas retardan el crecimiento, mientras que las altas aceleran el desarrollo. En el presente trabajo, se observó que las temperaturas más altas de la costa aceleraron algunas fases de crecimiento y desarrollo de la quinua, además, las horas de luz por día, que en promedio fueron 5 horas con 39 minutos (Cuadro 4), también afectaron la duración de las fases de desarrollo. Bertero, (2003), menciona que algunas quinuas son insensibles al fotoperiodo, pero otras son plantas cuantitativas de día corto, lo que significa que en condiciones de días cortos, la floración se acelera y fue eso lo que ocurrió en los 25 genotipos de quinua evaluados en este experimento. Se debe recalcar que la sensibilidad al fotoperiodo varía entre los cultivares de quinua. En general, el efecto de estas condiciones alteraron la secuencia normal del desarrollo de la planta, al final del cultivo se obtuvieron plantas con panojas cuyos granos presentaron diferentes grados de desarrollo, desde acuoso hasta pastoso, esto también lo reportó Quillatupa (2009) quien evaluó 16 accesiones de quinua en costa central (La Molina) durante los meses de primavera – verano; adicionalmente, algunos genotipos no culminaron su ciclo de vida, llegando sólo hasta antesis y no presentaron las fases del llenado de grano.

En base a lo observado en el presente trabajo de investigación y a las definiciones de las fases de crecimiento y desarrollo del cultivo de quinua propuesta por algunos autores, se realizaron las evaluaciones de fenología de acuerdo con el código decimal desarrollado a partir de la escala de Darwinkel y Stolen citados por Gómez (2010), el cual fue usado también por Quillatupa (2009), y con la caracterización de cada fase descrita por Mujica (2006).

Mujica (2006) no considera en su descripción de la fenología de la quinua a la fase germinación, considerando la primera fase a la emergencia. El tiempo promedio de la fase 0: germinación (hasta hojas cotiledóneas extendidas) fue entre 4 y 9 días para los 17 genotipos que formaron grano y para los que no formaron grano. Es importante mencionar que para la mayoría de los genotipos evaluados la fase de germinación duró de entre 8 y 9 días y sólo 9 genotipos de los 25, presentaron una duración de entre 4 y 5 días. Dichos valores están dentro del rango de duración descrita por Mujica (2006) en condiciones de sierra, donde las hojas cotiledóneas extendidas ocurren entre 7 y 10 días. Quillatupa (2009) evaluó la fenología de 16 accesiones de quinua en costa central (Lima) y señala que la germinación duró 4,63 días en promedio, siendo la duración de la germinación ligeramente más corta, en el presente experimento, que lo señalado por Quillatupa.

Para la fase 1.0 (desarrollo vegetativo), en este trabajo se plantea como un periodo de formación y desplegamiento de hojas, hasta diez hojas en total (quinto par de hojas verdaderas), lo cual se puede evaluar fácilmente. Mujica (2006) describe la formación de tres pares de hojas y menciona a un cuarto par, al cual lo considera como parte de la fase siguiente (ramificación), además, señala que estas fases ocurre entre los 15 y 20 días y los 45 y 50 días respectivamente. Adicionalmente, Quillatupa (2009) señala que las accesiones de quinua en costa central, alcanzaron el primer par de hojas a los 10,44 días y el quinto par a los 33,56 días. El desarrollo vegetativo en este experimento duró entre 26 y 31 días, siendo menor que el rango reportado por Quillatupa (2009) y muy cercano a lo que señala Mujica (2006).

La fase 2.0 (ramificación) describe la formación de hojas y ramas en las axilas de las hojas verdaderas del tallo principal, lo cual ocurre a partir de la formación de 6 hojas verdaderas o tres pares de hojas (Quillatupa, 2009). Mujica (2006), describe esta fase a partir de la formación de las ocho hojas verdaderas (cuarto par de hojas), lo cual ocurre entre los 45 y 50 días. En este experimento la ramificación ocurrió a los 22 y 23 días, ocurriendo esta fase antes de lo que reportan Mujica, 2006 y Quillatupa (2009) para quienes esta fase ocurre entre los 45 y 50 días y a los 28,88 días respectivamente.

La fase 3.0 (desarrollo del botón floral), corresponde desde que el botón floral se hace visible hasta que alcance un 1 centímetro de longitud, lo cual es considerado por Mujica como el inicio del panojamiento, quien menciona que la fase del botón floral ocurre entre los 55 y 60 días. En este experimento, la fase ocurrió mucho antes de lo que señala Mujica (2006), pero duró más días de lo que este autor indica. Adicionalmente, Quillatupa (2009) menciona que esta fase inició a los 33,94 días y duró en promedio 12 días; en este trabajo, los 25 genotipos de quinua iniciaron esta fase antes, pero la duración del desarrollo del botón floral fue ligeramente mayor para los genotipos que formaron grano y mucho más extensa para los genotipos que no formaron grano.

La fase 4.0 (desarrollo de la inflorescencia), corresponde desde el inicio de piramidación hasta la piramidación o inflorescencia completa, considerada por Mujica (2006) como panojamiento. El mismo autor señala que el desarrollo de la inflorescencia se da entre los 65 y 70 días, en este experimento los 25 genotipos iniciaron esta fase mucho antes de lo que señala Mujica, pero duró más días de lo que este autor indica. Quillatupa (2009) menciona que esta fase inició a los 49,88 días y culminó a los 59,81 días, comparándolo con los datos de este experimento, esta fase fue más extensa para los 25 genotipos de quinua, pero todos iniciaron la fase antes de lo que señala Quillatupa (2009). Además, para los genotipos que formaron grano esta fase duró menos días que para los que no formaron grano.

Para la fase de floración (5.0) se consideró el periodo de apertura de flores y liberación de polen. Mujica (2006) menciona que la apertura de flores ocurre entre los 75 y 80 días y la plena floración ocurre entre los 90 y 100 días. Quillatupa (2009), señala que la floración de las accesiones de quinua en costa inició a los 61,25 días y culminó a los 76,88 días.

En este trabajo los genotipos que formaron granos iniciaron la floración antes de lo que indican Mujica y Quillatupa. Además, los genotipos que no formaron grano iniciaron la floración en el rango de 64 a 99 días, algunos dentro del rango señalado por Mujica y Quillatupa y otros mucho después. Para los 25 genotipos de quinua la fase de floración duró mucho menos de lo que describen Quillatupa y Mujica.

La fase de antesis (6.0), se consideró al periodo desde que las anteras liberaron polen hasta su marchitez y colgado de las flores en forma muy visible. Mujica (2006) no menciona esta fase en su descripción de la fenología de la quinua. Quillatupa menciona que esta fase culminó a los 81,88 días y duró 6 días en promedio. En este trabajo, los 25 genotipos de quinua presentaron, en promedio, una fase de antesis más larga que las que presentaron las accesiones evaluadas por Quillatupa en costa central.

La fase 7.0 (grano acuoso), describe el crecimiento del grano producto de la fecundación. Esta fase no la menciona Mujica (2006), pero sí Bonifacio *et. al.* (2007) citado por Quillatupa (2009). Este mismo autor, menciona que esta fase culminó a los 100,44 días y duró en promedio 14 días. En este trabajo los 17 genotipos de quinua que formaron granos, presentaron una fase de grano acuoso cuya duración fue en el rango de 11,67 a 24 días, y solo dos presentaron la fase con una duración menor a 14 días (el promedio reportado por Quillatupa en costa central).

La fase 8.0 (grano lechoso) considera el incremento del tamaño (diámetro) del grano producto de la translocación de sustancias de reserva hacia los granos, además, el contenido del grano es una sustancia lechosa. Mujica (2006), si menciona esta fase en su descripción de la fenología de la Quinua. Mujica menciona que esta fase ocurre entre los 100 y 130 días, por otro lado, Quillatupa (2009) menciona que esta fase culminó a los 114,19 días y duró 15 días en promedio para las accesiones de quinua que evaluó en costa central. En el presente experimento, los 17 genotipos de quinua que formaron granos presentaron una fase de grano lechoso cuya duración fue en el rango de 15,33 a 27,33 días, un poco más prolongada que lo señalado por Quillatupa y mucho más corta que lo señalado por Mujica.

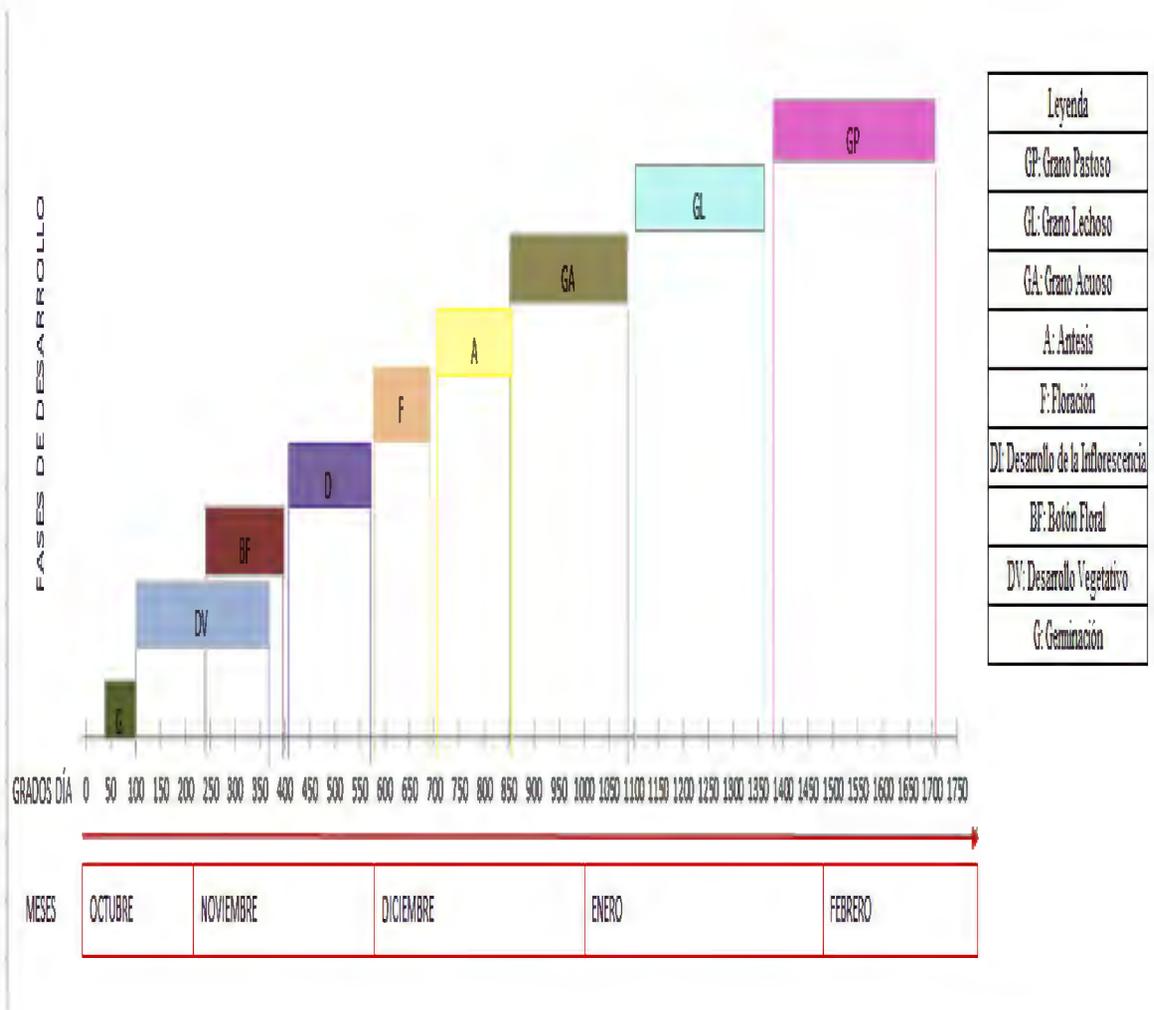
La fase 9.0 (grano pastoso) se consideró desde el grano pastoso suave hasta el grano pastoso duro (madurez fisiológica). Mujica (2006), describió esta fase en dos: grano pastoso y madurez fisiológica, a esta última la considera como la fase final de la fenología de la quinua, además menciona que esta fase ocurre entre los 130 y 160 días y que el cultivo de quinua culmina su ciclo entre los 160 y 180 días, en condiciones de sierra. Adicionalmente, Quillatupa (2009) señala que las accesiones de quinua en costa central, culminaron la fase de grano pastoso, llegando a la madurez fisiológica a los 135,94 días en promedio y duró aproximadamente 22 días. En este experimento, las tres últimas fases fenológicas fueron consideradas iguales a los descritos para los cereales y se consideró a la madurez fisiológica como el fin de la fenología de la quinua. Los 17 genotipos de quinua que formaron granos presentaron una fase de grano pastoso variable en duración, el rango obtenido de días es de 9.67 a 31, la mayoría de los genotipos evaluados (11 de 17) presentaron una fase ligeramente más corta que las señaladas por Mujica (2006) y por Quillatupa (2009), además, la culminación del ciclo tuvo lugar en el rango de 127 a 133 días, el cual, se encuentra dentro del rango que menciona Mujica y un poco antes que las accesiones evaluadas por Quillatupa. Es importante mencionar que no todos los 17 genotipos de quinua al momento del corte, presentaron todos los granos en culminación de grano pastoso, algunos granos estaban iniciando la fase o en las otras fases del llenado del grano, una de las razones por la cual el rendimiento fue bajo.

Las fases fenológicas no se presentaron una detrás de la otra, hubo superposición de varias de ellas en pocos días, pero las fases que más se superpusieron fueron: desarrollo vegetativo, ramificación y botón floral para todos los genotipos de quinua evaluados en este experimento, lo cual difiere un poco de lo señalado por Quillatupa (2009), quién menciona que la superposición marcada sólo se dio entre el desarrollo vegetativo y el botón floral.

La duración de las fases del desarrollo vegetativo, floración, grano lechoso y pastoso fueron más cortas que las descritas por Mujica (2006). Respecto a lo señalado por Quillatupa, quién evaluó la fenología de 16 accesiones de quinua en costa central (La Molina), todas las fases, a excepción de la floración y grano pastoso, fueron ligeramente más largas.

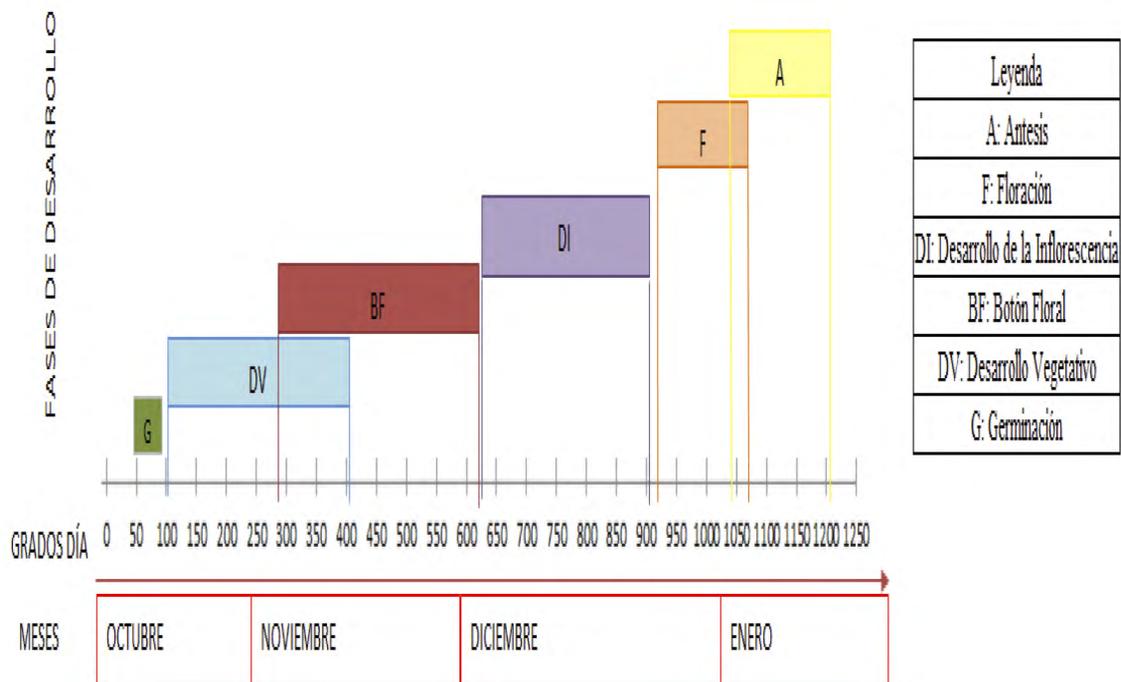
Es importante mencionar que los 8 genotipos que no formaron granos en el presente experimento, presentaron periodos mucho más largos para las fases del desarrollo del botón floral y del desarrollo de la inflorescencia, que los 17 genotipos que si formaron granos y que lo señalado por Mujica y Quillatupa. Por esa razón es que las fases de floración y antesis, en esos 8 genotipos, se presentaron finalizando la primavera y durante el verano (Figuras 12 y 13). Probablemente las temperaturas reportadas en ese tiempo, afectaron la floración, la producción de polen y fecundación, ya que aceleraron la floración y la presencia de anteras en dichos genotipos fue mínima. Por otro lado, los genotipos que si formaron granos, en su mayoría presentaron bajos rendimientos y presentaron una fase de floración más corta que lo reportado por Mujica y Quillatupa, como consecuencia del efecto de las temperaturas y de las condiciones climática, las cuales fueron muy diferentes de las condiciones de los lugares de donde provienen dichos genotipos (valles interandinos y Altiplano peruano). Las temperaturas de la costa (más altas que las de la región Andina) son una posible explicación para el corto periodo de tiempo entre genotipos relacionado con la floración, lo cual también es señalado por (Bertero, 2001 citado por Spehar y Lorena de Barros Santos, 2005).

Respecto al ciclo del cultivo, la mayoría de los genotipos que formaron granos, finalizaron su fenología a los 133 días. Las accesiones más precoces fueron: PEQPC – 2235/CAJAMARCA, PEQPC – 498/CUZCO, PEQPC – 321/CUZCO y PEQPC – 357/CUZCO. Autores como Spehar y Lorena de Barros Santos (2002), Delgado (2009) y FAO et. al., (2012) señalan que el ciclo de crecimiento de la quinua varía entre 80 y 240 días debido a la variación entre cultivares, adicionalmente, Delgado (2009) indica que en los países andinos el ciclo varía entre 150 y 240 días, siendo el ciclo de las quinuas evaluadas en este experimento, menor al reportado para la zona andina.



*Para la fase de ramificación sólo se determinaron los grados día acumulados a la ocurrencia, por lo que no se incluye en esta figura.

Figura 12: Correlación entre las fases de desarrollo, meses y los valores promedio de los grados día acumulados requeridos para el inicio y culminación de cada fase de 17 genotipos de quinua que formaron grano en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012.



*Para la fase de ramificación sólo se determinaron los grados día acumulados a la ocurrencia, por lo que no se incluye en esta figura.

Figura 13: Correlación entre las fases de desarrollo, meses y los valores promedio de los grados día acumulados requeridos para el inicio y culminación de cada fase de 8 genotipos de quinua que no formaron grano en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012.

5.4 DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE CALOR (°D) REQUERIDAS PARA LAS FASES FENOLÓGICAS DE LOS GENOTIPOS DE QUINUA

Se determinaron las unidades calor o grados día (°D) requeridos desde el primer riego hasta el inicio y culminación de cada fase de desarrollo. El ANVA de los grados día acumulados al inicio de cada fase de los 17 genotipos de quinua que formaron granos en costa central, (Cuadro 28) mostró para bloques o repeticiones diferencias altamente significativas sólo para la fase de grano lechoso y diferencias significativas para las demás fases, con excepción del desarrollo de la inflorescencia, antesis y grano acuoso. Para tratamientos se observa diferencias altamente significativas para casi todas las fases, a excepción de la germinación, desarrollo vegetativo y ramificación. En el ANVA para grados día acumulados para la culminación de cada fase, (Cuadro 29) se encontró para bloques o repeticiones diferencias altamente significativas para las fases del desarrollo de la inflorescencia, grano acuoso y lechoso, así como diferencias significativas para antesis. Para tratamientos o genotipos se observó diferencias altamente significativas para todas las fases de desarrollo.

En las Figuras 14 y 15 se presentan las temperaturas promedio máximas y mínimas para los meses durante los cuales se llevó a cabo el presente experimento.

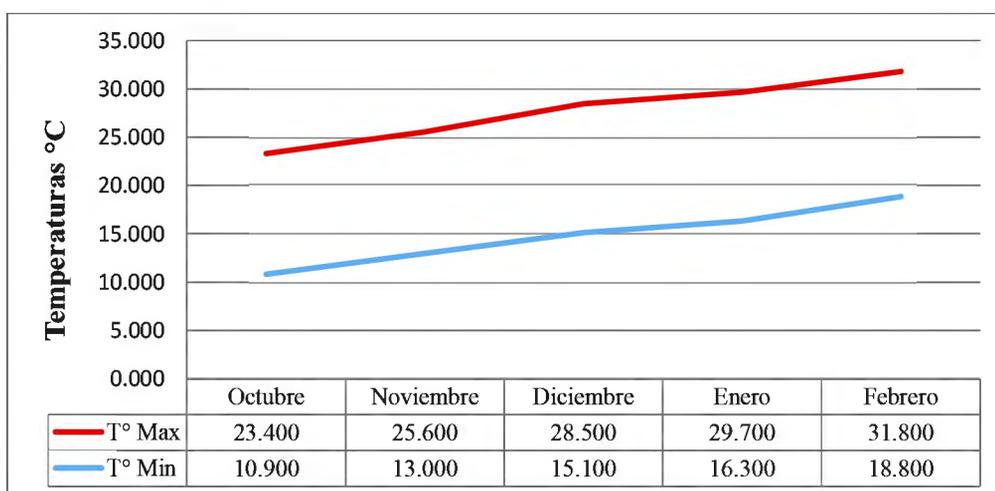


FIGURA 14: Fluctuación de las temperaturas máximas y mínimas mensuales durante la campaña octubre 2011- febrero 2012. La Molina.

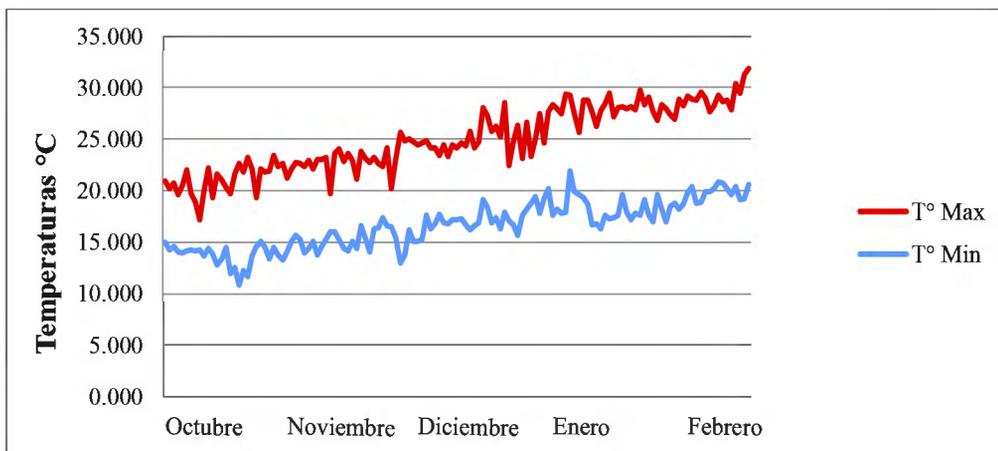


FIGURA 15: Fluctuación de las temperaturas máximas y mínimas diarias durante la campaña octubre 2011 – febrero 2012. La Molina.

Cuadro 27: Resumen de los valores promedios acumulados de grados día (°D) para el inicio y la culminación de las fases representativas de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en condiciones de la costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

Fase Fenológica	Grados Día a la Ocurrencia	Grados Día a la Culminación
Germinación	47,43	102,75
Desarrollo Vegetativo	101,79	377,04
Ramificación	209,06 *	
Desarrollo del Botón Floral	246,26	406,90
Desarrollo de la Inflorescencia	418,13	571,66
Floración	582,36	699,03
Antesis	711,49	838,73
Grano Acuoso	853,90	1095,22
Grano Lechoso	1107,29	1371,68
Grano Pastoso	1388,05	1709,42

*Para la ramificación sólo se determinaron los grados día requeridos al inicio de la fase.

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 28: Cuadrados medios de los grados día (°D) para el inicio de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012.

FV	G.L.	Germinación	Desarrollo Vegetativo	Ramificación	Botón Floral	Desarrollo de la Inflorescencia	Floración	Antesis	Grano Acuoso	Grano Lechoso	Grano Pastoso
BLOQUE	2	13,868 *	63,552 *	185,297 *	78,465 *	173,739	537,429 *	364,593	350,094	1664,121 **	579,075 *
TRAT.	16	4,045	18,536	54,045	2429,772 **	11100,248 **	20706,749 **	14651,160 **	9444,921 **	2041,965 **	36042,653 **
ERROR	32	4,045	18,536	54,045	18,069	114,995	136,702	153,244	113,708	251,103	137,578
TOTAL	50										

C.V (por ciento)		4,24	4,23	3,52	1,73	2,57	2,01	1,74	1,25	1,43	0,84
DS		2,01	4,30	7,35	4,25	10,72	11,69	12,38	10,66	15,85	11,73
Promedio		47,43	101,79	209,06	246,26	418,13	582,36	711,49	853,90	1107,29	1388,05

FUENTE: Elaboración Propia

Cuadro 29: Cuadrados medios de los grados día (°D) para la culminación de las fases de desarrollo germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo del botón floral, desarrollo de la inflorescencia, floración, antesis, grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso de 17 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que formaron grano en costa central. La Molina. Octubre 2011 – Febrero 2012

FV	G.L.	Germinación	Desarrollo Vegetativo	Botón Floral	Desarrollo de la Inflorescencia	Floración	Antesis	Grano Acuoso	Grano Lechoso	Grano Pastoso
BLOQUE	2	24,914	236,720	182,697	762,631 **	487,492	1460,122 *	1354,065 **	733,834 **	212,103
TRAT.	16	1353,220 **	1494,049 **	11002,731 **	19808,4701 **	14726,143 **	9171,237 **	21046,367 **	35157,358 **	6097,958 **
ERROR	32	18,438	186,296	116,215	109,580	162,626	368,807	249,254	129,842	212,103
TOTAL	50									

C.V (por ciento)		4,18	3,62	2,65	1,83	1,82	2,29	1,44	0,83	0,85
DS		4,29	13,65	10,78	10,47	12,75	19,20	15,79	11,39	14,56
Promedio		102,75	377,04	406,90	571,66	699,03	838,73	1095,22	1371,68	1709,42

FUENTE: Elaboración Propia

5.4.1 GERMINACIÓN

El Cuadro 28 indica que el promedio requerido para el inicio de la germinación fue 47,43 °D y el coeficiente de variabilidad fue 4,24 por ciento. El rango fue de 46,91 a 49,87 °D. Las accesiones PEQPC- 537 CUZCO, PEQPC- 595 CUZCO y PEQPC- 411 CUZCO requirieron 49,87 °D para iniciar esta fase y las demás accesiones necesitaron 46,91 °D (Cuadro 16). No existiendo diferencias significativas entre los genotipos de quinua.

Para culminar la fase de germinación, los genotipos de quinua requirieron en promedio, 102,75 °D y el coeficiente de variabilidad fue 4,18 por ciento (Cuadro 29). El rango a la culminación fue de 72,67 a 119,65 °D. Las accesiones que necesitaron más grados días para culminar esta fase fueron: PEQPC 31/VALLE DEL MANTARO, PEQPC- 2235/CAJAMARCA, PEQPC- 2933/APURÍMAC, PEQPC- 595/CUZCO y PEQPC- 537/CUZCO (119,65) y las que requirieron menos grados día fueron: PEQPC- 321/CUZCO y PEQPC- 498/CUZCO (72,67). (Cuadro 16).

5.4.2 DESARROLLO VEGETATIVO

El Cuadro 28 indica que el promedio de grados día (°D) requeridos para el inicio del desarrollo vegetativo fue 101,79 °D y el coeficiente de variabilidad fue 4,23 por ciento. El rango de grados día acumulados a la ocurrencia es de 100,68 a 107 °D. Las accesiones PEQPC- 537/CUZCO, PEQPC- 595/CUZCO y PEQPC- 411/CUZCO requirieron 107 °D para iniciar esta fase y las demás accesiones necesitaron 100,68 °D (Cuadro 17). No existiendo diferencias significativas entre los genotipos de quinua.

Para culminar la fase de desarrollo vegetativo, los genotipos de quinua requirieron en promedio, 377,04 °D y el coeficiente de variabilidad fue 3,62 por ciento (Cuadro 29). El rango fue de 358,06 a 414,61 °D. Las accesiones que necesitaron más grados días (°D) para culminar esta fase fueron: ROSADA DE HUANCAYO, PEQPC- 595/CUZCO y PEQPC- 411/CUZCO (411,61 °D) y las que requirieron menos grados día fueron: PEQPC- 325/CUZCO, PEQPC- 321/CUZCO, PEQPC- 415/CUZCO, PEQPC- 648/CUZCO (358,23 °D) y la PEQPC- 2235/CAJAMARCA (358,06 °D). (Cuadro 17).

5.4.3 RAMIFICACIÓN

El Cuadro 28 indica que el promedio de grados día ($^{\circ}\text{D}$) requeridos para el inicio de la ramificación fue 209,06 $^{\circ}\text{D}$ y el coeficiente de variabilidad fue 3,52 por ciento. El rango fue de 207,15 a 217,953. Las accesiones PEQPC- 537/CUZCO, PEQPC- 595/CUZCO y PEQPC- 411/CUZCO requirieron 217,95 $^{\circ}\text{D}$ para iniciar esta fase y las demás accesiones, incluyendo necesitaron 207,152 $^{\circ}\text{D}$ (Cuadro 18). No existiendo diferencias significativas entre los genotipos de quinua.

5.4.4 DESARROLLO DEL BOTÓN FLORAL

El Cuadro 28 indica que el promedio de grados día ($^{\circ}\text{D}$) acumulados para el inicio del desarrollo del botón floral fue 246,26 $^{\circ}\text{D}$ y el coeficiente de variabilidad fue 1,73 por ciento. El rango fue de 217,58 a 285,82 $^{\circ}\text{D}$. La accesión PEQPC- 537/CUZCO requirió más grados día para iniciar esta fase (285,82 $^{\circ}\text{D}$) y las accesiones que necesitaron menos grados días para iniciar esta fase fueron: PEQPC- 2235/CAJAMARCA, PEQPC- 2933/APURÍMAC, PEQPC- 821/PUNO y PEQPC- 31/VALLE DEL MANTARO, 217,5 $^{\circ}\text{D}$ (Cuadro 19).

Para culminar la fase del desarrollo del botón floral, los genotipos de quinua requirieron en promedio, 406,90 $^{\circ}\text{D}$ y el coeficiente de variabilidad fue 2,65 por ciento (Cuadro 29). El rango fue de 324,95 a 489,50 $^{\circ}\text{D}$. La accesión que necesitó más grados días para culminar esta fase fue PEQPC- 547/CUZCO (489,50 $^{\circ}\text{D}$) y la que requirió menos grados día fue PEQPC – 821/PUNO (324,95 $^{\circ}\text{D}$) siendo este valor menor al promedio (Cuadro 19).

5.4.5 DESARROLLO DE LA INFLORESCENCIA

El Cuadro 28 indica que el promedio de grados día requeridos para el inicio del desarrollo de la inflorescencia fue 418,13 $^{\circ}\text{D}$ y el coeficiente de variabilidad fue 2,57 por ciento. El rango de grados fue de 335,64 a 501,33 $^{\circ}\text{D}$. La accesión PEQPC-547/CUZCO requirió más grados día para iniciar esta fase (501,33 $^{\circ}\text{D}$) y las accesiones que necesitaron menos grados día para iniciar esta fase fueron: PEQPC-2235/CAJAMARCA y PEQPC- 821/PUNO con 335,64 $^{\circ}\text{D}$ (Cuadro 20).

Para culminar esta fase, los genotipos de quinua requirieron en promedio, 571,66 °D y el coeficiente de variabilidad fue 1,83 por ciento (Cuadro 29). El rango fue de 429,25 a 719,75 °D. La accesión que necesitó más grados días para culminar esta fase fue PEQPC-461/CUZCO (719,75 °D) y la que requirió menos grados día fue PEQPC-821/PUNO (429,25 °D) (Cuadro 20).

5.4.6 FLORACIÓN

El Cuadro 28 indica que el promedio de grados día requeridos para el inicio de la floración fue 582,36 °D y el coeficiente de variabilidad fue 2,01 por ciento. El rango fue de 440,46 a 732,49 °D. La accesión que requirió más grados días para iniciar esta fase fue PEQPC-461/CUZCO (732,49 °D) y la que necesitó menos grados días fue PEQPC-821/PUNO (440,46 °D) (Cuadro 21).

Para culminar la fase de floración, los genotipos de quinua requirieron en promedio, 699,03 °D y el coeficiente de variabilidad fue 1,82 por ciento (Cuadro 29). El rango de grados fue de 596,66 a 829,87 °D.

La accesión que necesitó más grados días para culminar esta fase fue PEQPC-461/CUZCO (829,87 °D) y la que requirió menos grados día fue PEQPC-821/PUNO (596,66 °D) (Cuadro 21).

5.4.7 ANTESIS

El Cuadro 28 indica que el promedio de grados día requeridos para el inicio de la antesis fue 711,49 °D y el coeficiente de variabilidad fue 1,74 por ciento. El rango fue de 609,24 a 843,32 °D. La accesión que requirió más grados días para iniciar esta fase fue PEQPC-461/CUZCO (843,32 °D) y la que necesitó menos grados días fue PEQPC-821/PUNO, con 609,24 °D (Cuadro 22).

Para culminar la fase de antesis, los genotipos de quinua requirieron en promedio, 838,73 °D y el coeficiente de variabilidad fue 2,29 por ciento (Cuadro 29). El rango fue de 736,7 a 1077 °D. La accesión que necesitó más grados días para culminar esta fase fue PEQPC-498/CUZCO (1077 °D) y la que requirió menos grados día fue PEQPC-2235/CAJAMARCA (736,7 °D) (Cuadro 22).

5.4.8 GRANO ACUOSO

El Cuadro 28 indica que el promedio de grados día requeridos para el inicio de la fase de grano acuoso fue 853,90 °D y el coeficiente de variabilidad fue 1,25 por ciento. El rango fue de 749,71 a 945,19 °D. La accesión que requirió más grados día para iniciar esta fase fue PEQPC- 461/CUZCO (945,19 °D) y la que necesitó menos grados día para iniciar esta fase fue PEQPC-2235/CAJAMARCA (749,71 °D) (Cuadro 23).

Para culminar la fase de grano acuoso, los genotipos de quinua requirieron en promedio, 1095,22 °D y el coeficiente de variabilidad fue 1,44 por ciento (Cuadro 29). El rango fue de 946,09 a 1206,92 °D. Las accesiones que necesitaron más grados días para culminar esta fase fueron: PEQPC- 461/CUZCO y PEQPC- 595/CUZCO (1206,92 °D) y la que requirió menos grados día fue PEQPC- 2235/CAJAMARCA (946,09 °D) (Cuadro 23).

5.4.9 GRANO LECHOSO

El Cuadro 28 indica que el promedio de grados día requeridos para el inicio de la fase de grano lechoso fue 1107,29 °D y el coeficiente de variabilidad fue 1,43 por ciento. El rango fue de 1227,31 a 959,88 °D. La accesión que requirió más grados días para iniciar esta fase fue PEQPC- 595/CUZCO (1107,29 °D) y la accesión que necesitó menos grados día fue PEQPC-235/CAJAMARCA (959,88 °D) (Cuadro 24).

Para culminar la fase de grano lechoso, los genotipos de quinua requirieron en promedio, 1371,68 °D y el coeficiente de variabilidad fue 0,83 por ciento (Cuadro 29). El rango fue de 1561,36 a 1226,98 °D. La accesión que necesitó más grados días para culminar esta fase fue PEQPC-648/CUZCO (1561,36 °D) y la que requirió menos grados día fue PEQPC- 498/CUZCO (1226,98 °D) (Cuadro 24).

5.4.10 GRANO PASTOSO

El Cuadro 28 indica que el promedio de grados día requeridos para el inicio de la fase de grano pastoso fue 1388,05 °D y el coeficiente de variabilidad fue 0,84 por ciento. El rango fue de 1242,67 a 1588,05 °D. La accesión PEQPC- 648/CUZCO (1588,05 °D) y la accesión que necesitó menos grados día fue PEQPC-498/CUZCO (1242,67 °D) (Cuadro 25).

Para culminar la fase de grano pastoso, los genotipos de quinua requirieron en promedio, 1709,42 °D y el coeficiente de variabilidad fue 0,85 por ciento (Cuadro 29). El rango fue de 1735,93 a 1631,92 °D. La mayoría de las accesiones necesitaron 1735,93 °D para culminar esta fase. Las accesiones PEQPC-2235/CAJAMARCA, PEQPC-498/CUZCO, PEQPC-321/CUZCO, PEQPC-357/CUZCO necesitaron 1631,92 °D y la accesión PEQPC- 411/CUZCO requirió 1701,260 °D (Cuadro 25).

Salazar (1994), evaluó la fenología de 20 genotipos de quinua en el distrito de Anta en el Departamento de Ancash – Perú. En cuanto a la fenología precisó 5 etapas que fueron: germinación, dos pares de hojas verdaderas, panojamiento, floración y maduración. El promedio de los 20 genotipos en cuanto a las unidades de calor acumulados en grados – día fueron: 57.93; 147.69; 487,70; 629,19 y 1068,60 respectivamente. Utilizó como temperatura base 10 °C.

En el presente experimento, los grados día acumulados para el inicio de cada fase fueron: germinación (47,43 °D), dos hojas verdaderas (101,79 °D), inicio de piramidación (panojamiento) (418,13 °D), inicio de floración (582,36 °D) y madurez fisiológica (1709,42 °D) (grados día a la culminación). Los genotipos presentaron valores menores que los señalados por Salazar, para todas las fases a excepción de la madurez fisiológica.

La gran diferencia estuvo en los requerimientos a la madurez fisiológica, en La Molina los 17 genotipos de quinua presentaron requerimientos de unidades de calor que en promedio superan en casi 650 °D a lo señalado por Salazar (1994). Esto muestra el proceso de tropicalización de algunos genotipos de quinua, señalado por muchos autores, el cual se manifiesta a medida que los campos de cultivo se acercan a la línea ecuatorial.

En este experimento las accesiones PEQPC-2235/CAJAMARCA, PEQPC-498/CUZCO, PEQPC-321/CUZCO, PEQPC-357/CUZCO requirieron más de 1600 ° D para llegar a la madurez fisiológica.

Salinas *et al.*, (2007), citado por Quillatupa (2009) determinaron la acumulación de grados – día (°D) en forma diaria, para la fenología de la quinua en el altiplano chileno. Las quinuas que utilizaron correspondieron a variedades locales, con las cuales determinaron que las etapas fenológicas acumularon las siguientes cantidades de unidades de calor: siembra a emergencia 72,5 G.D., de siembra a primer par de hojas verdaderas 139,5 G.D., de siembra a segundo par de hojas verdaderas 243,0 G.D; de siembra a tercer par de hojas verdaderas 344,5 G.D; de siembra a inicio de panoja 441,5 G.D; de siembra a inicio de floración 534,0 G.D; de siembra a floración plena a 596,5 G.D.; de siembra a grano pastoso 1161.5 G.D.; de siembra a madurez fisiológica 1243,5 G.D.

Comparando estos resultados con los del presente experimento se tiene: de siembra a hojas cotiledóneas extendidas (102,75 °D), de siembra a dos hojas verdaderas (101,79 °D), de siembra a seis hojas verdaderas (209,06 °D), de siembra a inicio de panoja (piramidación) (418,13 °D), de siembra a inicio de floración (582,36 °D), de siembra a plena floración (699,03 °D), de siembra a grano pastoso (1388,05 °D), de siembra a madurez fisiológica (1709, 42 °D). Los requerimientos de unidades de calor finales fueron mayores en este experimento que los resultados obtenidos por Salinas *et al.*, (2007).

Quillatupa (2009), determinó las unidades de calor para cada fase fenológica de 16 genotipos de quinua, bajo condiciones de costa central, en La Molina – Lima. Usó 7° C como temperatura base (Tb). Calculó los grados días en base a grados hora, según lo planteado por Snyder *et al* (1999) a quien cita en su experimento. Después correlacionó las unidades de calor con las fases fenológicas previamente determinadas. Las unidades de calor acumuladas requeridas para culminar cada fase fueron: germinación 44,32; desarrollo vegetativo 316,29; ramificación 269,32 (requerimiento para empezar la fase); desarrollo del botón floral 443,36; desarrollo de la inflorescencia 623,50; floración 864,21; anthesis 1220, 28; grano acuoso 1219, 14; grano lechoso 1441,14 y grano pastoso 1804,29.

Contrastando estos resultados con los obtenidos en el presente experimento, las unidades de calor requeridas para culminar cada fase fueron: germinación (102,75 °D), desarrollo vegetativo (377,04 °D), ramificación 209,06 °D (requerimiento para empezar la fase), desarrollo del botón floral (406,90 °D), desarrollo de la inflorescencia (571,66 °D), floración (699,03 °D), antesis (838,727 °D), grano acuoso (1095,22 °D), grano lechoso (1371,68 °D) y grano pastoso (1709,42 °D).

Los genotipos de quinua en este experimento presentaron requerimientos de unidades de calor menores que los obtenidos por Quillatupa en costa central, a excepción de la germinación y desarrollo vegetativo, cuyos requerimientos calóricos fueron mayores.

En este experimento la temperatura base utilizada fue de 7° C, la misma que usó Quillatupa (2009). Probablemente, estas diferencias se deben a que las temperaturas del periodo octubre 2011 – febrero 2012 fueron mayores en promedio a las temperaturas del periodo octubre 2007 – abril 2008, durante el cual Quillatupa llevó a cabo su experimento. Esto pudo resultar por efecto del clima, la adaptación de los genotipos y de las características de cada genotipo.

Todas las accesiones respondieron a la temperatura ambiental, con diferentes velocidades de crecimiento y desarrollo, por lo que requirieron de valores diferentes de unidades de calor acumulados (°D). Esto es corroborado por Neild y Smith (1983) quienes sostienen que las variedades de los cultivos requieren de diferentes valores acumulados de grados – día (D°) en función a su ciclo de desarrollo. Adicionalmente, Hoyos *et. al.* (2012) menciona que cada híbrido, variedad o cultivar de una especie, puede tener valores específicos de grados días para las diferentes fases de desarrollo.

Es importante recalcar que la temperatura base varía entre especies y posiblemente entre cultivares, además, probablemente varíe con la etapa de crecimiento en estudio (McMaster *et. al.*, 1997). La intención de la determinación de los grados días es describir la energía térmica recibida por el cultivo durante un período de tiempo dado.

VI. CONCLUSIONES

OBJETIVO 1

1. Los genotipos estudiados presentaron diferencias marcadas en su rendimiento o capacidad productiva. Desde aquellos que no produjeron granos (8 genotipos) hasta aquellos que produjeron granos (17 genotipos) en un rango de 19,30 kg/ha (Rosada de Huancayo) hasta 1535,10 kg/ha (PEQPC – 498/CUZCO). Los genotipos que presentaron los mayores rendimientos en condiciones de costa central fueron: PEQPC – 411/CUZCO, PEQPC – 321/CUZCO, PEQPC – 357/CUZCO y PEQPC – 498/CUZCO.
2. El índice de cosecha tuvo un promedio de 8,46 por ciento. El mayor I.C lo presentó el genotipo PEQPC – 498/CUZCO (30,50 por ciento) y el menor I.C lo presentó la Rosada de Huancayo (0,12 por ciento). Dichas accesiones presentaron el mayor y menor rendimiento respectivamente.
3. El porcentaje promedio de proteína en el grano fue 11,57 por ciento. Los mayores valores los presentaron las accesiones PEQPC – 2933/APURÍMAC (15,56 por ciento), PEQPC – 821/PUNO (14,28 por ciento).

4. El contenido de saponina en el grano fue 0,91 por ciento. El menor valor lo presentó PEQPC – 2235/CAJAMARCA (0,10 por ciento). Los demás genotipos presentaron valores mayores a 0,11 por ciento, por lo que son consideradas quinuas amargas (Koziol, 1993 citado por Repo, 2003).

OBJETIVO 2

5. Las unidades de calor promedio de los 17 genotipos de quinua que formaron granos fueron las siguientes: fase 0.0 (germinación) 102,75 °D, fase 1.0 (desarrollo vegetativo) 377,04 °D, fase 2.0 (ramificación) 209,06 °D, fase 3.0 (desarrollo del botón floral) 406,90 °D, fase 4.0 (desarrollo de la inflorescencia) 571,66 °D, fase 5.0 (floración) 699,03 °D, fase 6.0 (antesis) 838,73 °D, fase 7.0 (grano acuoso) 1095,22 °D, fase 8.0 (grano lechoso) 1371,68, fase 9.0 (grano pastoso) 1709,42 °D.
6. En el presente trabajo de investigación se observaron 10 fases de desarrollo de la quinua. Los 17 genotipos de quinua que formaron granos en costa central, para alcanzar la fase de germinación (desde la emergencia hasta dos hojas cotiledóneas extendidas) requirieron entre 8 a 13 días; de 36 a 41 días para la fase de desarrollo vegetativo; de 22 a 23 días para la fase de ramificación; de 33 a 47,67 días para la fase de desarrollo del botón floral; de 42,33 a 66,33 días para la fase de desarrollo de la inflorescencia; de 56,67 a 74,33 días para la fase de floración; de 67,67 a 82 días para la antesis; de 83 a 100 días para la fase de grano acuoso; de 101,33 a 122,67 días para la fase de grano lechoso y de 127 a 133 días para la fase de grano pastoso.

VII. RECOMENDACIONES

1. Extender la evaluación de los genotipos que presentaron los mayores rendimientos en condiciones de costa central, a otras localidades de la costa peruana.
2. Evaluar otras accesiones de quinua en condiciones de costa central, sembrando entre los meses de setiembre y octubre. Controlando las enfermedades causadas por hongos, como mildiu.
3. Las evaluaciones posteriores realizadas en costa para quinua, deberían hacerse bajo riego por goteo, para tener un uso más eficiente del agua.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADEX. Abril del 2012. (Asociación de Exportadores), Noticias. <http://www.adexperu.org.pe/>
2. AGRODATA Perú. <http://www.agrodataperu.com/>
3. Aguilar y Jacobsen, S.-E. 2003. Cultivation of Quinoa on the Peruvian Altiplano. Food Reviews Interntional. New York. Vol. 19, N°. 1 y 2. Páginas: 31 – 41.
4. Álvarez, R. 2009. Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo “Identificación de genotipos del Banco de Germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) de la UNALM por tolerancia a sales. UNALM. Lima – Perú. 103 páginas.
5. Apaza W. 1995. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo “Efectos de densidad y niveles de fertilidad en el rendimiento de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en Costa Central. UNALM. Lima, Perú. 112 páginas.
6. APG III: An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. 2009. Botanical Journal of the Linnean Society. Vol. 161. Páginas: 105–121.
7. Aragón. L. 1991. El Mildiú en 4 especies de *Chenopodium*. Tesis para optar el título de ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 65 páginas.

8. Artica, M., Párraga, A. y Jacobsen, S.-E. Adaptabilidad de 12 cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en clima de selva alta Oxapampa-Perú. Disponible en:
<http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro14/cap1.10.htm>
9. Astuhuamán, L. 2007. Efecto de la cocción – extrusión en la fibra dietaria y en algunas propiedades funcionales de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis para optar el título de ingeniero en Industrias Alimentarias. UNALM. Facultad de Industrias Alimentarias. Lima, Perú.
10. Bach, A. P. y Jacobsen, S.-E. 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Seed Science and technology*. Vol. 26. N° 2. Páginas: 515 – 523.
11. Barnett, A. M. 2005. Efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de 3 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo riego por goteo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima – Perú. 138 páginas.
12. Bertero, H. D. 2003. Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food Reviews International*. New York. Vol. 19. N° 1 y 2. Páginas: 87 – 97.
13. Bertero, H. D., Correa, G., de la Vega. A. J., Jacobsen, S.-E., Mujica, A. 2004. Genotype and genotype - by - environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crops Research*. Vol. 89. Páginas: 299 – 318.
14. Bhargava, A., Ohri, D. y Shukla, S. 2008. Implications of direct and indirect selection parameters for improvement of grain yield and quality components in *Chenopodium quinoa* Willd. *International Journal of Plant Production*. Vol. 2. N° 3. Páginas: 184 – 191.
15. Bois, J. F., Lhomme, J. P. y Winkel, T. 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*. Vol. 25. Páginas: 299 – 308.
16. Bonifacio, A. 2003. *Chenopodium* Sp.: Genetic Resources, Ethnobotany and Geographic Distribution. *Food Reviews International*. New York. Vol. 19, N° 1 y 2. Páginas: 1 – 7.

17. Borges, J., Bonomo, R., Paula, C., Oliveira, L. y Cesário, M. 2010. Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Physicochemical and nutritional characteristics and uses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) TEMAS AGRARIOS. Vol. 15. N° 1. Páginas: 9 - 23.
18. Castillo, F. E., y Castellví, S. 1996. Agrometeorología. Ediciones mundi-prensa Madrid, España. 517 páginas.
19. Castroviejo Bolibar, M. Producción y productividad de la quinua. Revista Ambienta. (<http://www.ecoticias.com/naturaleza/67270/2012/06/21/quinua-amaranthus-blitum-inca-garcilaso->)
20. Danielsen, S., Bonifacio, A. y Ames, T. 2003. Diseases of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Food Reviews International. New York. Vol. 19, N° 1 y 2. Páginas: 43 – 59.
21. Danielsen, S. y Ames, T. 2000a. El mildiu (*Peronospora farinosa*) de la Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Zona Andina. Manual práctico para el estudio de la enfermedad y del patógeno. Lima, Perú. 32 páginas.
22. Danielsen, S., Ames, T., Echeagaray, J. y Jacobsen, S.-E. 2000. Impact of Downy Mildew on the Yield of Quinoa. Andean Roots and Tubers and others Crops. CIP Program Report 1999 – 2000. Lima, Perú. Páginas: 397 – 401.
23. Delgado, A. I., Palacios, J. H. y Betancourt, C. 2009. Evaluación de 16 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). Agron. Colomb. Vol 27 no 2. Bogotá.
24. Echeagaray, T. 2003. Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo “Evaluación de Métodos de Cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo condiciones de costa”. UNALM. Lima – Perú. 105 páginas.
25. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), University of Cordoba and IAS – CSIC, KU Leuven University y University of California. 2012. Crop Yield Response to Water. Herbaceous crops. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE. PAPER 66. Páginas: 230 – 235.
26. FAOSTAT. 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/>
27. FAOSTAT. 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/>

28. Fontúrbel F. 2003. Problemática de la producción y comercialización de *Chenopodium quinoa* W. (Chenopodiaceae), debida a la presencia de las saponinas. 10 páginas.
29. Galwey, N. W. y Risi, J. 2006. Genotype x Environment interaction in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Temperate Environments. Publicado online por el CIP.
30. Geerts, S. 2008a. Deficit Irrigation strategies via crop water productivity modeling: Field research of quinoa in the Bolivian Altiplano. Disertaciones en Agricultura. Facultad de Bio – ingenieursswetenschappen de Katholieke Universiteit Leuven. 211 páginas.
31. Geerts, S., D. Raes, M. García, J. Vacher, R. Mamani, J. Mendoza, R. Huanca, B. Morales, R. Miranda, J Cusicanqui y C. Tab ada. 2008b. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Science Direct. European Journal of Agronomy. Vol. 28. Pp: 427 – 436.
32. Gesinski, K. 2008. Evaluation of the development and yielding potential of *Chenopodium quinoa* Wild. Under the climate conditions of Europe. Part two: Yielding potential of *Chenopodium quinoa* under different conditions. Acta Agrobotánica. Polonia. Vol. 61. N° 1. Páginas: 185 – 189.
33. Gómez, L. 2010. Cereales y Granos Nativos. Facultad de Agronomía. UNALM. Lima, Perú. 114 páginas
34. Gómez, L. y Eguiluz, A. L. 2011. Catálogo del Banco de Germoplasma de Quinoa. UNALM. Primera Edición. Lima – Perú. 183 páginas.
35. Gonzales U. J y De la Torre H. J. 2009. Efecto del fotoperiodo y la temperatura sobre la concentración de saponinas en tres genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) provenientes de diferentes latitudes. Iquique – Chile. Página 2.
36. Hoyos, D., Morales, J. G., Chavarría, H., Montoya, A. P., Correa, G. y Jaramillo S. 2012. Growing Degree Days Accumulation in a Cucumber (*Cucumis sativus* L.). Crop Grown in an Aeroponic Production Model. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín – Colombia. Vol. 65. N° 1. Páginas: 6389-6398.
37. INEI. 2011.
38. Jacobsen, S.-E., Monteros, C., Christiansen, J. L., Bravo, L.A., Corcuera, L. J. y Mujica, A. 2004. Plant response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) to frost at various phenological stages. European Journal of Agronomy. Vol. 22 (2005), Páginas: 131 – 139.

39. Jacobsen, S.-E y Sørensen, M. 2010. Quinoa y su producción en Bolivia: de éxito económico a desastre ambiental. Desafíos de la globalización a los sistemas agroalimentarios en América Latina. Ministry of Foreign Affairs of Denmark. International Development Cooperation. DANIDA. Conferencia Internacional sobre América Latina NOLAN. La Paz – Bolivia. 125 páginas.
40. Jacobsen, S.-E. 1998. FAO. El potencial de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) para Europa.
<http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro14/cap4.6.htm>
41. Jacobsen, S.-E. y Risi, J. 1998. FAO. Distribución geográfica de la quinoa fuera de los países andinos.
<http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/cap3.htm>
42. Jacobsen, S.-E. y Valdez, A. 1999. Primer taller internacional de quinoa. Libro de Resúmenes. CIP. Lima, Perú. 126 páginas.
43. Jacobsen, S.-E. 2003a. The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.). CIP, Lima, Perú. Food Reviews International. New York. Vol. 19, N° 1 y 1. Páginas: 167 – 177.
44. Jarma, A.; Cardona, C. y Araméndiz, H. Junio – 2012. Effect of climate change on the physiology of crop plants: a review. Revista U.D.C.A. Actualidad & divulgación científica. Bogotá, Colombia. Vol.15. N° 1. Páginas: 63 – 76.
45. León, J. Setiembre 2003. Cultivo de Quinoa en Puno – Perú. Descripción, manejo y producción. UNA. Puno –Perú. 62 páginas.
46. McMaster, Gregory, S. and Wilhelm, W. 1997. "Growing degree-days: one equation, two interpretations". Publications from USDA- Agricultural Research Service, University of Nebraska - Lincoln /Faculty. Paper 83.
47. Mercedes, W. 2005. Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en la especialidad de producción agrícola. Escuela de Post grado. UNALM. Lima, Perú. 72 páginas.
48. MINAG – OEEE. 2012. (Ministerio de agricultura – Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos. Direcciones Regionales y Subregionales de Agricultura.) <http://www.minag.gob.pe/portal/herramientas/estadisticas/dinamica-agropecuaria>

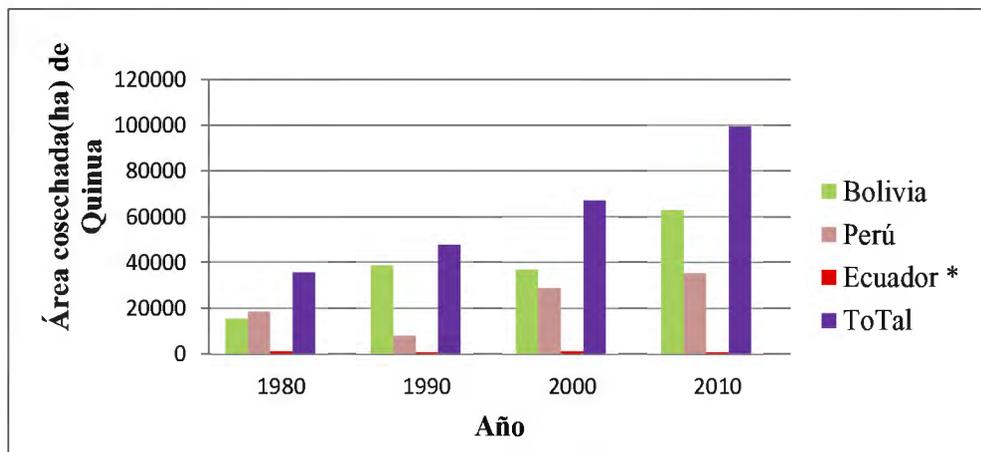
49. MINAG. 2013. (Ministerio de agricultura – Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos. Direcciones Regionales y Subregionales de Agricultura.) <http://www.minag.gob.pe/portal/herramientas/estadisticas/dinamica-agropecuaria>
50. Ministerio de Agricultura. 2011. Manejo y Fertilidad de Suelos Cereales y Granos Andinos. Manual Técnico. Equipo Técnico de Cereales, Leguminosas y Granos Andinos. Colaboración Técnica del Programa de Cereales y Granos Nativos Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 47 páginas.
51. Mujica, A. 2006. Descriptores para la caracterización del cultivo de quinua. Manual para caracterización in situ de cultivos nativos. INIEA. Lima, Perú. Páginas: 90 – 94.
52. Mujica, A., Jacobsen, S.-E., Izquierdo, J. y Marathe, J. P. 2001. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. Capítulo II: Agronomía del Cultivo de la Quinua. FAO. Santiago – Chile.
53. Mujica, A. y Jacobsen, S.-E. 2006. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. Páginas: 449-457.
54. Mujica, A., Rodríguez, D., Apaza, V., Canahua, A y Jacobsen, S.-E. 2006. Producción de quinua de calidad. Estacion experimental Illpa – Puno, Perú. 14 páginas.
55. Neild, R. E. and Smith, D. T. 1983. Maturity Dates and Freeze Risks Based on Growing Degree Days. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln. Paper: G83-673, extension 715. 6 páginas.
56. Nuñez, S. 2012. Tendencias del mercado mundial en granos andinos. Enfoque quinua. Primera convención internacional de granos andinos. Arequipa – Perú.
57. PIWANDES. Enero – 2008. Validar y sintetizar los atributos económicos y mercadeables de la biodiversidad andina con énfasis en los pobres y marginados. Informe Final. Puno, Perú. 256 páginas.
58. PROINPA. Julio - 2011. La quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. FAO oficina regional para América Latina y el Caribe. 58 páginas. Disponible en http://www.ibce.org.bo/publicaciones/docu_rec.asp (Instituto boliviano de comercio exterior)
59. Proyecto insitu: insitu@amauta.rep.net.pe

60. Quillatupa, R. 2009. Caracterización de las fases fenológicas, determinación de unidades de calor y rendimiento de 16 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en condiciones de la molina. Lima – Perú. 158 páginas.
61. Rasmussen, C., Lagnaoui, A. y Esbjerg, P. 2003. Advances in the Knowledge of Quinoa Pests. Food Review International. New York. Vol. 19, N° 1 y 2, Páginas: 61 – 75.
62. Repo – Carrasco, R., Espinoza, C. y Jacobsen, S.-E. 2003. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) y Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International. New York. Vol. 19. N° 1 y 2. Páginas: 179 – 189.
63. Richards (1987) disponible en:
<http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro14/cap4.6.htm>
64. Rivero, L. 1985. Efecto del distanciamiento entre surcos y entre plantas sobre el rendimiento y otros caracteres de dos ecotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. UNALM. Lima, Perú.
65. Salazar Hinostroza, S. 1994. Comparativa de la fenología de 20 genotipos de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) en condiciones del callejón de Huaylas. UNALM. Lima – Perú. 88 páginas.
66. SIICEX: www.siicex.gob.pe
67. Solíz, J. B., Jasso de Rodríguez, D., Rodríguez, R., Angulo, J. L. y Méndez, G. 2002. Quinoa Saponins: concentration and composition analysis. Reprinted from: TRENDS IN NEW CROPS AND NEW USES. Alexandria, VA. Páginas: 110 – 114.
68. Soto M, J.L. 2010. Granos andinos avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en bolivia. Capítulo IX Tecnología del cultivo de granos andinos. *Bioversity Internacional* (Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)). Bolivia. 178 páginas.
69. Spehar C. R. y Lorena de Barros Santos, R. 2002 (Junio). Quinoa BRS Piabiru; alternativa para diversificar os sistemas de producao de graos. Pesquisa Agropecuaria. brasileira. Brasilia, Brasil. Vol. 37. N° 6. Páginas: 889 – 893.
70. Spehar, C. L. y Lorena de Barros Santos. R. 2005. Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. Notas Científicas. Pesquisa. Agropecuaria brasileira. Brasilia, Brasil. Vol. 40. N° 6. Páginas: 609 – 612.

71. SUNAT: declaraciones de aduanas
72. Tapia, F. 2003. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae “Influencia de dos tecnologías de cultivo en la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Will) en Costa.” UNALM. Lima – Perú. 113 páginas.
73. Tapia, M. E., Sánchez, I., Morón, C., Ayala, G., Fries, A. M. y Bacigalupo, A. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. FAO. Segunda Edición. Santiago – Chile. 170 páginas.
74. Tapia, M. y Fries, A. 2007. Guía de Campo de los cultivos Andinos. FAO - Roma, ANPE - Lima. Primera Edición. 209 páginas.
75. UC IPM. Disponible en <http://www.ipm.ucdavis.edu/WEATHER/ddconcepts.html>. Revisado el 29 de enero del 2013.

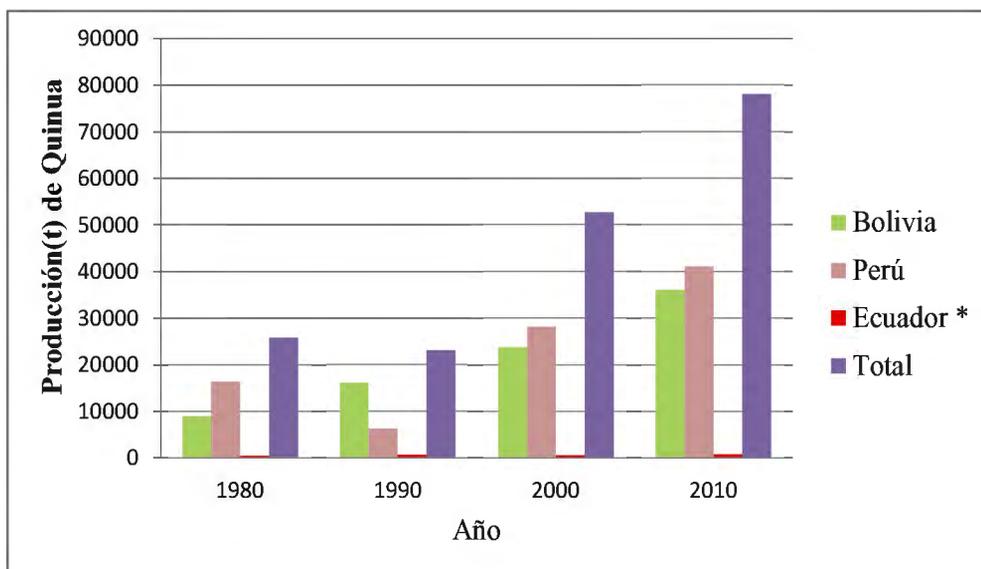
IX ANEXOS

ANEXO 1: Área cosechada (ha) de quinua en tres países andinos en cuatro años referenciales



FUENTE: FAOSTAT 2012

ANEXO 2: Producción en toneladas de quinua en tres países andinos en cuatro años referenciales



FUENTE: FAOSTAT 2012

ANEXO 3: Exportaciones de quinua peruana

Año	Valor FOB (US\$)	Peso neto (kg)	Valor unitario FOB (US\$)	Principales países de destino
2007	1787784	1348150	1,33	EE.UU. 60,84por ciento
2008	5079427	2096263	2,42	EE.UU. 62,58por ciento y Japón 8,63por ciento
2009	7304730	2711780	2,69	EE.UU. 45,54por ciento y Alemania 10,09por ciento
2010	13190249	4782863	2,76	EE.UU. 64,23por ciento y Alemania 7,96por ciento
2011	25224612	7937363	3,18	EE.UU. 63,43por ciento y Canadá 7,94por ciento
2012	28687897	9809440	2,92	EE.UU. 65por ciento, Canadá 6,97por ciento, Australia 4,88por ciento y Alemania 4,53por ciento

FUENTE: MINAG, AGRODATA y SUNAT

ANEXO 4: Características morfológicas de 25 genotipos de quinua en costa central. La Molina. Octubre 2011 - Febrero 2012

Origen POQ-C VM - 10B	Pasaporte N° PEQC	Tallo			Color Axila	Hoja				Panoja				Color de Grano	
		Color	Estrías	Ramificación		Color	FHI	FHB	DHB	TP	DP	Color 1	Color 2	Epispermo	Perispermo
1	PEQPC-357/CUZ	61A	N144B	0	0	144A	L	T	16	A	C	77B	139C	15B (Amarillo)	158C
3	PEQPC-410/CUZ	61B	144C	0	0	144A	L	R	10	A	I	72A	137D	15B (Amarillo)	155B
16	PEQPC-2810/APU	145B	145A	0	0	144A	L	T	20	G	L	142B			
18	PEQPC-325/CUZ	59D	N144A	0	0	146A	L	T	16	A	I	70B	143A	15B (Amarillo)	155B
20	PEQPC-547/CUZ	58C	144C	0	0	146A	L	R	12	A	I	68B	N138C	19B (Amarillo)	158C
21	PEQPC-648/CUZ	N57C	N144D	0	0	144A	L	R	12	G	L	70B	N138C	15B (Amarillo)	155B
30	PEQPC-2810/APU	144B	N144B	0	0	144A	L	R	16	G	L	145B			
32	PEQPC-2875/APU	63B	144B	0	0	146A	L	R	16	G	L	71C			
34	PEQPC-415/CUZ	63B	N144B	0	0	146B	L	R	10	A/G	I	72B	146B	19B (Amarillo)	158C
35	PEQPC-498/CUZ	63A	145A	0	0	146B	L	R	8	A	I	20C	138A	15B (Amarillo)	158C
38	PEQPC-821/PUNO	63A	N79B	0	0	147A	L	R	7	G	I	72A	138B	202A (Negro)	155B
50	PEQPC-31/VM	60A	147C	0	0	148A	L	R	7	G	I	71A	147B	202A (Negro)	155B
52	PEQPC-461/CUZ	69C	145C	0	0	146B	L	T	12	A	I	68B	146B	19B (Amarillo)	155B
66	PEQPC-1144/PUNO	144C	144A	0	0	144A	L	T	23	G	I	63C	144B		
71	PEQPC-411/CUZ	63A	144C	0	0	143B	L	R	21	A	C	64C	138A	15A (Naranja)	155b
79	PEQPC-595/CUZ	61C	150C	0	0	146A	L	R	13	A	I	64C	143A	19A (Naranja)	155B
80	PEQPC-537/CUZ	63A	139B	0	0	138A	L	R	16	A	I	70B	138A	17B (Naranja)	155B
81	PEQPC-2235/CAJ	138C	143B	0	0	138A	L	R	13	A	I	70C	143A	174C (Gris)	155B
83	PEQPC-2933/APU	146C	138A	0	64A	138A	L	R	5	G	I	70B	138B	174C (Gris)	
97	PEQPC-2688/AN	61A	145A	0	0	143B	R	T	23	G	L	59B	144A		
102	PEQPC-321/CUZ	59A	144C	0	0	144A	L	R	19	I	L	70A	146B	23C (Rojo)	155B
109	PEQPC-710/CAJ	59A	147C	0	0	147A	R	T	28	G	L	72B			
110	PEQPC-2821/APU	59A	144C	0	0	144A	L	T	26	G	L	63C	N138B		
112	PEQPC-1592/PUNO	144B	73B	0	0	143A	R	T	31	G	L	70B	143C		
125	Rosada de Huancayo	71A	147B	0	0	138A	L	R	13	I	I	72A	146C	15B (Amarillo)	155B

ANEXO 5: Análisis del suelo en el que se llevó a cabo el experimento La Molina. Campaña Octubre 2011 – Febrero 2012

N° muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	MO %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					SDC	SDB	Sat. Bases %
Lab	campo							Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
11525	Tomatillo	7,79	0,79	0,80	1,11	11,3	131	56	26	18	Fr.A.	9,60	8,12	1,03	0,25	0,20	0,00	9,60	9,60	100

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes. UNALM

SDC: Suma de Cationes, SDB: Suma de Bases, por ciento Sat. Bases: Porcentaje de Saturación de Bases

**ANEXO 6: Costos de Producción del cultivo de quinua. La Molina. Campaña
Octubre 2011 – Febrero 2012**

	Unidad de Mediad	Cantidad	Costo Unitario (soles)	Costo Total (soles)
Costos Directos				
Alquiler del Terreno	Meses	800/ ha/6 meses	133.33	666.67
Preparación del Terreno				
Aradura	Hora - máquina	4	100	400
Grado y Nivelación	Hora – máquina	5	100	500
Surcado	Hora - máquina	1,5	100	150
Mano de Obra				
Siembra y Fertilización	Jornal	16	25	400
Desahíje	Jornal	15	25	375
Riego	Jornal	16	25	400
Aporque	Jornal	2	25	50
Control de Plagas y Malezas	Jornal	8	25	200
Cosecha				
Siega	Jornal	7	25	175
Recojo de Cosecha	Jornal	3	25	75
Trilla mecanizada y Venteo	Hora - máquina	8	80	640
Limpieza, secado y ensacado	Jornal	8	25	200
Insumos				
Semillas	kg	10	15	150

...

Fertilizantes				
Úrea	Saco x 50 g	1	85	85
Fosfato di amónico	Saco x 50 g	3	110	330
Cloruro de Potasio	Saco x 50 g	-		
Kalex	Mililitros	500	65/litro	32.5
Botricsin	Mililitros	350	72/litro	25.2
Vertimex	Mililitros	150	160/litro	24
Pounce	Mililitros	200	120/litro	24
Cipermex	Mililitros	500	63/litro	31.5
Regulador Solt pH	Mililitros	250	38/litro	9.5
Perfecthion	Mililitros	350	48/litro	16.8
Bidrin	Mililitros	100	180/litro	18
Total Costos Directos				4978.17
Costos Indirectos				
Leyes sociales	3%			149.345
B. Gastos Administrativos	5%			248.909
Costos Financieros	5%			248.909
Imprevistos	3%			149.345
Total de Costos Indirectos				796.508
Total				5774.678