

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EFFECTO DEL FOTOPERÍODO SOBRE LA DURACIÓN DE LA FASE
VEGETATIVA EN TRES ACCESIONES CHILENAS DE QUÍNOA**
(Chenopodium quinoa willd.)

MARIO SEBASTIÁN MENDOZA AGUIRRE

Santiago, Chile
2012

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EFFECTO DEL FOTOPERÍODO SOBRE LA DURACIÓN DE LA FASE
VEGETATIVA EN TRES ACCESIONES CHILENAS DE QUÍNOA**
(Chenopodium quinoa Willd.)

**EFFECT OF PHOTOPERIOD ON THE DURATION OF THE
VEGETATIVE PHASE OF THREE CHILEAN QUINOA ACCESSIONS**
(Chenopodium quinoa Willd.)

MARIO SEBASTIÁN MENDOZA AGUIRRE

Santiago, Chile
2012

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EFEECTO DEL FOTOPERÍODO SOBRE LA DURACIÓN DE LA FASE
VEGETATIVA EN TRES ACCESIONES CHILENAS DE QUÍNOA**
(Chenopodium quinoa Willd.)

Memoria para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo. Mención: Fitotecnia.

MARIO SEBASTIÁN MENDOZA AGUIRRE

Profesor Guía	Calificaciones
Manuel Pinto C. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,5
Profesores Evaluadores	
Herman Silva R. Biólogo, Dr.	6,0
Gabriela Lankin V. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,0

Santiago, Chile
2012

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por su infinita bondad y generosidad, conmigo y mi familia.

Agradezco a mi familia, en primer en término a mi madre por apoyarme incondicionalmente y alentarme a terminar con esta etapa de mi vida. A mis hermanos por escucharme y aceptarme tal cual soy. A mi padre que en su particular manera estuvo pendiente de la culminación de mi etapa universitaria.

Agradezco a mi profesor guía Don Manuel Pinto quien tuvo la paciencia y la disposición para guiarme en mi investigación de memoria de título. Agradezco también a Don Herman Silva quien me ayudó y aconsejó en las últimas etapas de este trabajo.

Agradezco a mis compañeros de Universidad y amigos que me ayudaron en las distintas etapas del proceso. En especial a Ricardo, Felipe, Myriam y Alonso.

Finalmente, Agradezco al proyecto Fondecyt 1660281 por brindarme el financiamiento para realizar mi investigación.

“Yo me celebro y yo me canto,
Y todo cuanto es mío también es tuyo,
Porque no hay un átomo de mi cuerpo que no te
pertenezca.

Indolente y ocioso convido a mi alma,
Me dejo estar y miro un tallo de hierba de verano.

Mi lengua, cada átomo de mi sangre, hechos con esta
tierra, con este aire,
Nacido aquí, de padres cuyos padres nacieron aquí, lo
mismo que sus padres,
Yo ahora, a los veinte y siete años de mi edad y con
salud perfecta, comienzo,
Y espero no cesar hasta mi muerte.

Me aparto de las escuelas y de las sectas, las dejo atrás;
me sirvieron, no las olvido;
Soy puerto para la pasión y para la razón, hablo sin
cuidarme de riesgos,
Naturaleza sin freno con elemental energía”

(Walt Whitman)

ÍNDICE

RESUMEN	- 1 -
Palabras claves	- 1 -
ABSTRACT	- 2 -
Key words:.....	- 2 -
INTRODUCCIÓN	- 3 -
Hipótesis.....	- 6 -
Objetivo general.....	- 6 -
MATERIALES Y MÉTODOS	- 7 -
Fotoperiodos considerados para el estudio	- 8 -
Material vegetal.....	- 9 -
Tratamientos.....	- 11 -
Cálculos de tiempo térmico: Unidades de Días Grado	- 12 -
Cálculos de sensibilidad al fotoperíodo	- 12 -
Mediciones a la Cosecha.....	- 13 -
Análisis estadístico.....	- 13 -
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 14 -
Efecto del fotoperíodo sobre el número de hojas en el eje central.....	- 14 -
Efecto del fotoperíodo sobre la tasa de aparición de hojas en el eje principal.....	- 16 -
Efecto del fotoperíodo sobre el momento de iniciación floral.....	- 17 -
Efecto del fotoperíodo sobre la duración de la fase vegetativa.....	- 20 -
Efecto del fotoperíodo sobre el tiempo térmico.....	- 21 -
Sensibilidad al fotoperíodo (SF)	- 22 -
Efecto del fotoperíodo sobre el nudo de iniciación floral (NIF).....	- 22 -
Efecto del fotoperíodo sobre la altura de plantas	- 23 -
Efecto del fotoperíodo sobre el largo de entrenudos.....	- 26 -
Efecto del fotoperíodo sobre el diámetro en la base del tallo:	- 28 -
Efecto del fotoperíodo sobre el rendimiento.....	- 29 -
CONCLUSIONES	- 30 -
BIBLIOGRAFÍA	- 31 -

RESUMEN

La Quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta nativa de la región andina de América del Sur, cuyo valor nutritivo puede superar al de los cereales tradicionales. Varios estudios han demostrado que la quínoa es sensible al fotoperíodo en sus fases de desarrollo, sin embargo, no hay antecedentes precisos del efecto de este factor en la duración de la fase vegetativa en accesiones chilenas de quínoa provenientes de diferentes zonas de producción a lo largo de una distribución latitudinal. La duración de la fase vegetativa es una componente clave en la adaptación de cultivos anuales a diferentes ambientes. En el caso de quínoa, una de las razones para proponer su cultivo como alternativa a los ya existentes, además de su valor nutritivo y resistencia a condiciones ambientales adversas como sequía, salinidad, bajas temperaturas y suelos pobres en nutrientes, es su precocidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos fotoperíodos aplicados desde la siembra sobre la duración de la fase vegetativa. Para esto se trabajó con tres accesiones: “Amarilla” procedente de Altiplano chileno, “Durazno” procedente de la Región de Coquimbo y “Baer” del Sur de Chile. Las plantas fueron cultivadas bajo 15 y 9 horas de luz. La temperatura se mantuvo en 20 ± 2 °C durante todo el ensayo. Al comparar la respuesta obtenida en el fotoperíodo corto con aquella obtenida en el largo, se constató que en este último, todas las accesiones aumentaron la duración de la fase vegetativa. Este aumento en el caso de la accesión Amarilla fue de 33 días, de 25 días en Baer y de 23 días en Durazno. Consecuentemente, el fotoperíodo de día largo retrasó el momento de iniciación floral en todas las accesiones de quínoa evaluadas y significó un incremento en el número del nudo de iniciación floral (NIF) de 13 nudos en Amarilla, 5 en Durazno y 7 en Baer. La sensibilidad al fotoperíodo (SF, °Cdh⁻¹) varió entre 64,8 y 92,8 en las accesiones evaluadas.

Palabras claves: *Chenopodium quinoa* Willd., fotoperíodo, fase vegetativa, accesiones chilenas.

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a native plant from the Andean region of South America whose nutritional value can exceed those of traditional cereals. Several studies have shown that quinoa is sensitive to photoperiod during its development. However, no accurate records exist for accessions from different production areas along a latitudinal distribution of Chilean quinoa regarding the photoperiod effect on the duration of its vegetative phase. The duration of the vegetative phase is a key component of the adaptation of annual crops to different environments. In the case of quinoa, one of the reasons for proposing its cultivation as an alternative to the current existing crops, besides its nutritional value and tolerance to adversity, is its earliness. The aim of this study was to evaluate the effect of two photoperiods applied from quinoa planting on the duration of the vegetative phase. For this purpose, work was conducted with three accessions: “Yellow” from the Chilean Altiplano, “Peach” from the Region of Coquimbo and “Baer” from Southern Chile. Plants were grown under 15 and 9 hours of light. The temperature was maintained at $20 \pm 2^\circ\text{C}$ throughout the test. In comparing the responses obtained in the short and long photoperiods, it was found that in the latter all accessions increased the duration of their vegetative phase, this increase being 33 days in the “Yellow” accession, 25 days in “Baer” and 23 days in “Peach”. Consequently, the long-day photoperiod delayed the time of floral initiation in all three quinoa accessions, resulting in an increased number of floral initiation nodes (13 nodes in “Yellow”, 5 in “Peach” and 7 in “Baer”). It was found that photoperiod sensitivity (PPS, $^\circ\text{Cdh-1}$) varied between 64,8 and 92,8 in the accessions evaluated.

Key words: *Chenopodium quinoa* Willd, photoperiod, vegetative phase, Chilean accessions.

INTRODUCCIÓN

Desarrollar exitosamente la etapa reproductiva, en el momento oportuno dentro de la temporada de crecimiento, es la principal respuesta adaptativa al medio de las plantas anuales (Murfet, 1977). Esta adaptación se ha dado mediante un proceso evolutivo en donde este tipo de plantas depende de la interacción de su genoma con factores ambientales, en especial temperatura y fotoperíodo (Murfet, 1985; Roberts y Summerfield, 1987).

El cultivo de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd), se remonta hacia la época precolombina, siendo uno de los principales cultivos durante el imperio Inca. Sin embargo, la superficie cultivada fue desapareciendo debido a que los conquistadores españoles, la consideraron como un cultivo asociado a prácticas paganas (Wahli, 1990), por lo cual fue remplazada por el trigo.

La quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta herbácea anual perteneciente a la familia Chenopodiaceae (Muñoz y Acevedo, 2002). Se cree que su centro de origen es la hoya hidrográfica del lago Titicaca, cerca de la frontera de Bolivia y Perú (Christensen *et al.*, 2007).

En la actualidad el área de cultivo en Sudamérica se extiende desde los 2° Latitud Norte en Colombia hasta 40° Latitud Sur en Chile; y desde el nivel del mar hasta 4.000 m.s.n.m. (Risi y Galwey, 1989; Mujica *et al.*, 1998). Bolivia y Perú son los mayores exportadores de grano de quínoa con el 88% de la producción mundial (Vilche *et al.*, 2003).

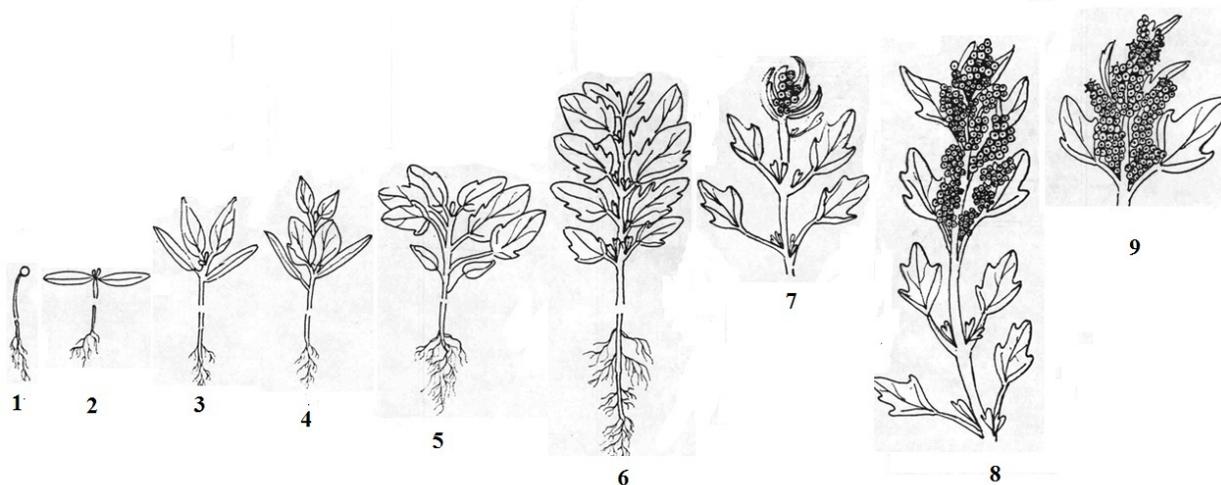
La quínoa presenta raíz pivotante con muchas ramificaciones alcanzando una profundidad de 60cm (Alvarez *et al.*, 1990). En condiciones óptimas esta planta puede llegar a los 2.5m de altura. El tallo es de sección circular cercano a la raíz y es angular a la altura donde nacen las ramas y hojas. Puede presentar un solo tallo o además tallos secundarios. Las hojas son polimorfas dentro de la misma planta y contienen células muy ricas en oxalato de calcio, compuesto que se cree favorece la absorción y retención de humedad (Muñoz y Acevedo, 2002).

La inflorescencia de la quínoa corresponde a una panícula compuesta (panoja) (Muñoz y Acevedo, 2002) con un eje principal, del cual se originan ejes secundarios y terciarios. Se han descrito dos tipos de inflorescencias en quínoa: amarantiforme y glomerulada. En la de tipo amarantiforme el fruto se inserta directamente en ejes secundarios en cambio en la de tipo glomerulada el fruto se inserta en ejes terciarios. (Bertero *et al.*, 1996).

El fruto corresponde a un aquenio cubierto por un delgado pericarpio (Delatorre, 1995) de aproximadamente 2 mm de diámetro y 1 mm de espesor (Wahli, 1990).

La quínoa consta de 13 etapas fenológicas desde emergencia hasta madurez fisiológica llegando a ésta entre los 160-180 días después de realizada la siembra (Mujica *et al.*, 2004).

FASES FENOLÓGICAS DE LA QUÍNOA



1. Emergencia (5-6)
2. Hojas cotiledonales (7-10)
3. Dos hojas verdaderas (15-20)
4. Cuatro hojas verdaderas (25-30)
5. Seis hojas verdaderas (35-40)
6. Ramificación (45-50)
7. Inicio de panojamiento (55-60)
8. Panojamiento (65-70)
9. Inicio de floración (75-80)

Figura 1. Esquema de los diferentes estados fenológicos del desarrollo de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), desde la emergencia de las plantas hasta inicio de floración. Entre paréntesis se indican el rango de días desde siembra (Mujica *et al.*, 2004).

La cosecha se realiza una vez que las plantas llegan a madurez fisiológica, reconocible porque las hojas inferiores se amarillean y comienzan a caer. El grano maduro al ser presionado con las uñas presenta resistencia que dificulta su penetración (Muñoz y Acevedo, 2002), este puede tener diversos colores: blanco, morado, rojo, café y negro.

Una característica importante de esta especie, es el reconocido valor nutritivo, que llega a superar en contenido y calidad de proteínas a los cereales tradicionales (Muñoz y Acevedo, 2002). Las semillas de quinua presentan un alto contenido de proteínas entre un 12-18% (Zhu *et al.*, 2002), estas se encuentran principalmente en el endosperma y el embrión (Prego *et al.*, 1998). Además, presentan una alta cantidad de aminoácidos esenciales, como histidina y lisina (Prego *et al.*, 1998).

La importancia de este cultivo no solo radica en su valor nutritivo sino que también en su extraordinaria resistencia a condiciones adversas como la sequía, salinidad, bajas temperaturas y suelos pobres en nutrientes. Esto último ha generado un gran interés científico lo que ha conducido a la realización de estudios nutricionales, de rendimiento y de respuesta en distintos estados fenológicos a condiciones ambientales, como por ejemplo el fotoperíodo (Muñoz y Acevedo, 2002).

La quínoa es resistente a la sequía pudiendo desarrollarse en zonas con precipitación anual en el rango de los 200-400 mm (Valencia-Chamorro, 2003). La resistencia a la sequía de la quínoa puede atribuirse en parte a caracteres morfológicos, como una raíz ramificada y papilas higroscópicas en la cutícula de la hoja, lo que reduce la transpiración (Espindola, 1986; Canahua, 1997). La quínoa puede germinar en concentraciones salinas extremas de hasta 52 mS/cm, cuando se encuentra en estas condiciones extremas de concentración salina el periodo de germinación se puede retrasar hasta en 25 días (Jacobsen *et al.*, 1998)

La velocidad de germinación en accesiones chilenas provenientes de zonas húmedas y no salinas (Hueque y Pucura) fue menor, en comparación con las accesiones provenientes de zonas áridas altiplánicas y salinas (Amarilla y Roja). Registrándose 12 h de diferencia en alcanzar el 100% de germinación (Delatorre y Pinto, 2009).

Esta especie tiene un amplio rango de crecimiento y producción a diferentes pH del suelo, se ha observado que tiene buenos rendimientos en suelos alcalinos de hasta 9 de pH, en los salares de Bolivia y de Perú, como también en condiciones de suelos ácidos encontrando el extremo de acidez donde prospera la quinua, equivalente a 4.5 de pH, en la zona de Michiquillay en Cajamarca, Perú (Mujica *et al.*, 2004)

La planta de quínoa no se ve afectada por temperaturas menores a 1°C y tolera temperaturas extremas de hasta 35 °C (Valencia-Chamorro, 2003). Se ha determinado que esta planta posee mecanismos de escape y tolerancia a bajas temperaturas, pudiendo soportar hasta menos 8°C, en determinadas etapas fenológicas, siendo la más tolerante la ramificación y las más susceptibles la floración y llenado de grano (Mujica *et al.*, 2004)

El fotoperíodo es un factor importante en el desarrollo de la quínoa, en especial en la determinación de la iniciación floral, y por lo tanto, la fecha de antesis (Bertero *et al.*, 1999b). De acuerdo con experimentos realizados con accesiones chilenas de quínoa por Tejeda (2009) y Galdames (2010) se ha demostrado que esta especie es sensible en mayor o menor grado al fotoperíodo en las fases de su desarrollo.

La quínoa se ha clasificado como planta preferentemente de día corto cuantitativo para tiempo hasta floración (Bertero *et al.*, 1999a), aunque por haberse adaptado a variados ambientes (Spehar y Barros Santos, 2005), la sensibilidad al fotoperíodo también presenta variaciones.

Según Bertero (2003) la sensibilidad al fotoperíodo y a la temperatura varía respecto al origen del cultivar (latitud): cultivares de origen más tropical, se caracterizan por una mayor sensibilidad al fotoperíodo y una mayor duración de la fase vegetativa. Los cultivares del Altiplano Peruano-Boliviano y los cultivares del nivel del mar (Chile), poseen la menor sensibilidad al fotoperíodo y una fase vegetativa más corta (Bertero y Hall, 2000). La quínoa se ha descrito como una planta de día corto, aunque por su adaptabilidad a diversos ambientes, la sensibilidad al fotoperíodo también presenta variaciones (Bertero *et al.*, 1999a).

En Chile la quínoa ha evolucionado en ambientes tan diversos como adversos. Por un lado, el germoplasma del norte de Chile lo ha hecho en condiciones de: alta radiación, fotoperíodo corto y gran altitud. En tanto que las plantas de la zona centro sur-sur, lo han hecho a nivel del mar y con fotoperíodo largo (Wilckens *et al.*, 1994). Esto ha colaborado al desarrollo de poblaciones genéticamente distantes y con gran variabilidad entre ellas (Fuentes, 2005).

La duración de la fase vegetativa es una componente clave en la adaptación de cultivos anuales a diferentes ambientes. En el caso de quínoa, una de las razones para proponer su cultivo como alternativa a los ya existentes, además de su valor nutritivo y tolerancia a adversidades, es su precocidad. Poder determinar la duración del desarrollo vegetativo en diferentes condiciones de fotoperíodo simplificaría la toma de decisiones sobre qué materiales evaluar y reduciría el costo implicado en la evaluación de genotipos.

En Chile se han realizado estudios que abordan el efecto del fotoperíodo sobre el desarrollo fásico y la composición química de las semillas (Tejeda, 2009; Galdames, 2010) pero no existían estudios que compararan el efecto del fotoperíodo sobre la duración de la fase vegetativa en accesiones chilenas de quínoa provenientes de diferentes zonas de producción a lo largo de su distribución latitudinal, muy poco afectadas por programas intensivos de selección. Tampoco existían estudios que compararan la sensibilidad al fotoperíodo en genotipos chilenos de quínoa.

En base a lo expuesto anteriormente este estudio se propone comparar y analizar el efecto del fotoperíodo sobre la duración de la fase vegetativa en accesiones chilenas de quínoa provenientes de diferentes zonas de producción a lo largo de su distribución latitudinal, muy poco afectadas por programas intensivos de selección.

De acuerdo con los antecedentes recopilados se postula la siguiente hipótesis:

Hipótesis

En accesiones chilenas de quínoa el fotoperíodo tiene incidencia en la duración de la fase vegetativa comprendida entre siembra y la iniciación floral.

Objetivo general

Evaluar el efecto de dos fotoperiodos sobre la duración de la fase vegetativa en tres accesiones chilenas de quínoa.

Objetivos específicos

- 1) Analizar la fenología vegetativa y floral de tres accesiones chilenas de quínoa bajo los diferentes fotoperiodos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Laboratorio de Fisiología Vegetal del Centro de Investigación La Platina del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ubicada en la latitud 33° 34' 19.66''S y longitud 70° 31' 40.5''O, entre enero y agosto de 2010.

El ensayo fue realizado en invernadero el cual fue cubierto con plástico negro y malla raschel negra para evitar la entrada de radiación externa que pudiera interferir en el largo del fotoperíodo.

El invernadero contaba con un equipo de aire acondicionado marca Tecnapecx de 24000 btu para mantener una temperatura de 20 °C (± 2) día/noche la cual se mantuvo constante durante todo el ensayo.

Fotoperiodos aplicados

Para proporcionar los fotoperiodos el invernadero se dividió en dos sectores: uno con condiciones de día largo (15 hd^{-1}) y otro con condiciones de día corto (9 hd^{-1}).

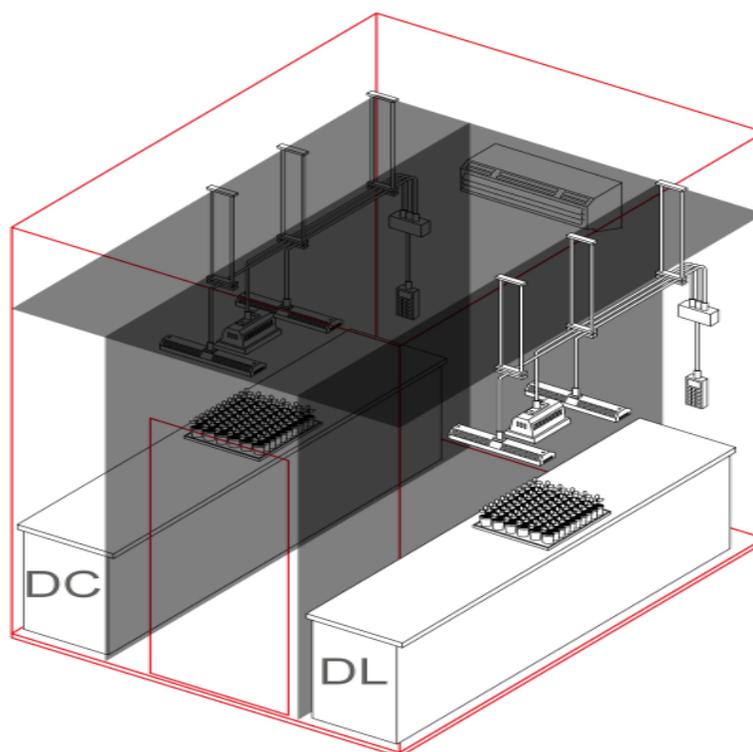


Figura 2. Esquema del invernadero utilizado para entregar los fotoperiodos de día corto (DC) y largo (DL).

El sistema de iluminación utilizado incluía: luces incandescentes marca Ecolab de 400 w suplementados con tubos fluorescentes de 20 w. El largo del fotoperíodo fue controlado con controladores automáticos e inspecciones diarias.

La radiación PAR entregada por el sistema de iluminación fue monitoreada a través de un radiómetro (Licor ModLI-185b) conectado a un data logger (Modelo delta-T logger DL2e) una vez por semana, con el objeto de registrar la cantidad de radiación proporcionada tanto por lámparas y tubos fluorescentes a las plantas en estudio (Fig. 5.a)

Se escogieron fotoperíodos contrastantes con el objetivo de encontrar diferencias entre las accesiones de quínoa evaluadas.

Fotoperíodos considerados para el estudio

Día corto: Estuvo dado por 9 hd^{-1} de luz PAR entregada mediante luces incandescentes de 400 w y tubos fluorescentes 20 w. El rango de radiación registrado por el radiómetro fue $286 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a $308 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a nivel de las macetas.

Día largo: Consistió de 9 hd^{-1} de luz PAR suministrada mediante luces incandescentes y tubos fluorescentes, más un complemento de 6 h de luz suministrada exclusivamente por tubos fluorescentes de 20 w. La radiación entregada por los tubos fluorescentes no superó los $11 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La intensidad de radiación PAR dada por los tubos fluorescentes no superó el punto de compensación luminoso de la quínoa (Fig. 3). Esto tuvo por objeto generar diferencias en la activación de los fitocromos y no en fotosíntesis. En total se entregó un total de 15 hd^{-1} luz. El rango de radiación registrado por el radiómetro fue $286 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a $308 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a nivel de las macetas.

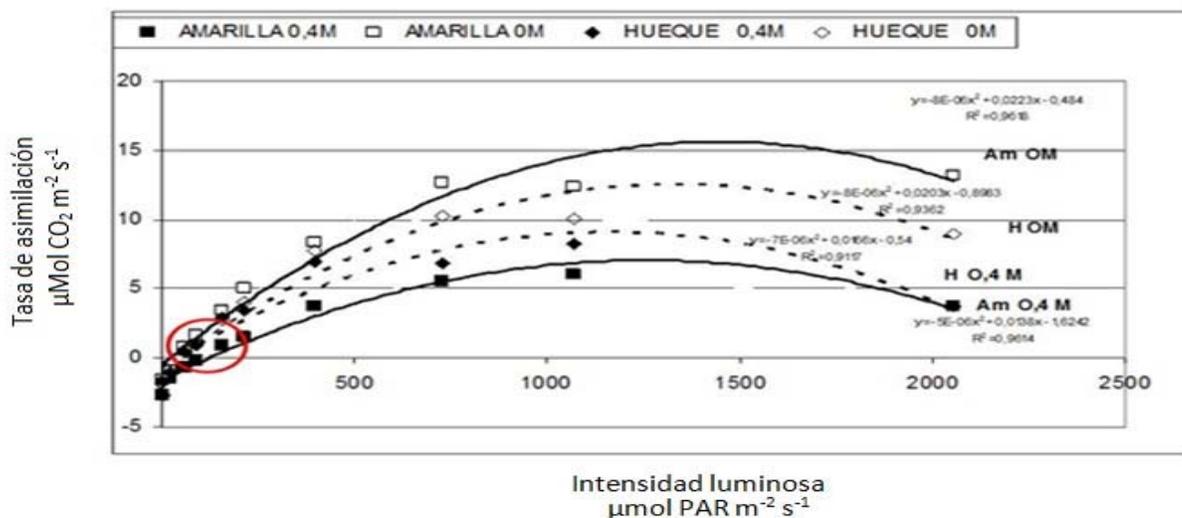


Figura 3. Curva respuesta de la fotosíntesis de quínoa en función de la intensidad luminosa (Delatorre *et al.*, 2007) (en rojo está marcado el punto de exacto de la compensación lumínica de la quínoa $90 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Cuadro 1. Fotoperiodos considerados para el estudio.

Fotoperiodos	Fotoperíodo base (h)	Fotoperíodo adicional (h)	Fotoperíodo Total (h)
Día Corto	9h (L. incandescentes + T. fluorescentes)	0h	9h
Día Largo	9h (L. incandescentes + T. fluorescentes)	6h (Sólo T. fluorescentes) Int. PAR ≤ 75 μmol/m ² s ⁻¹	15h

Material vegetal

Se trabajó con semillas de tres accesiones chilenas de quínoa provenientes de diferentes zonas de producción a lo largo de una distribución latitudinal, muy poco afectadas por programas intensivos de selección. Las accesiones evaluadas fueron: Amarilla, Durazno y Baer provenientes de las regiones de Tarapacá, Coquimbo y la Araucanía respectivamente. Las semillas de la accesión Amarilla pertenecían a la colección de la Universidad Arturo Prat (Departamento de Agricultura) las otras a la colección INIA La Platina.

Cuadro 2. Accesiones chilenas de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluadas y su origen.

Accesión	Región	Latitud (grados)	Altitud (m)
Amarilla	Tarapacá	19.10 ° S	3000
Durazno	Coquimbo	31.11 ° S	904
Baer	Araucanía	38.46 °S	110

La siembra se realizó con cinco semillas por maceta de 0,5 lt (previamente perforadas), se utilizó como sustrato una mezcla de arena y suelo franco arcilloso de la La Platina INIA (50:50 v/v). Luego de la emergencia se raleó a una planta por maceta al estado de dos hojas verdaderas.

El riego se efectuó en forma manual cada tres días agregando cada vez 0,5 lt de agua por maceta para asegurar el establecimiento y desarrollo de las plantas, el control de malezas se realizó de manera manual desde el momento de su aparición en el sustrato.

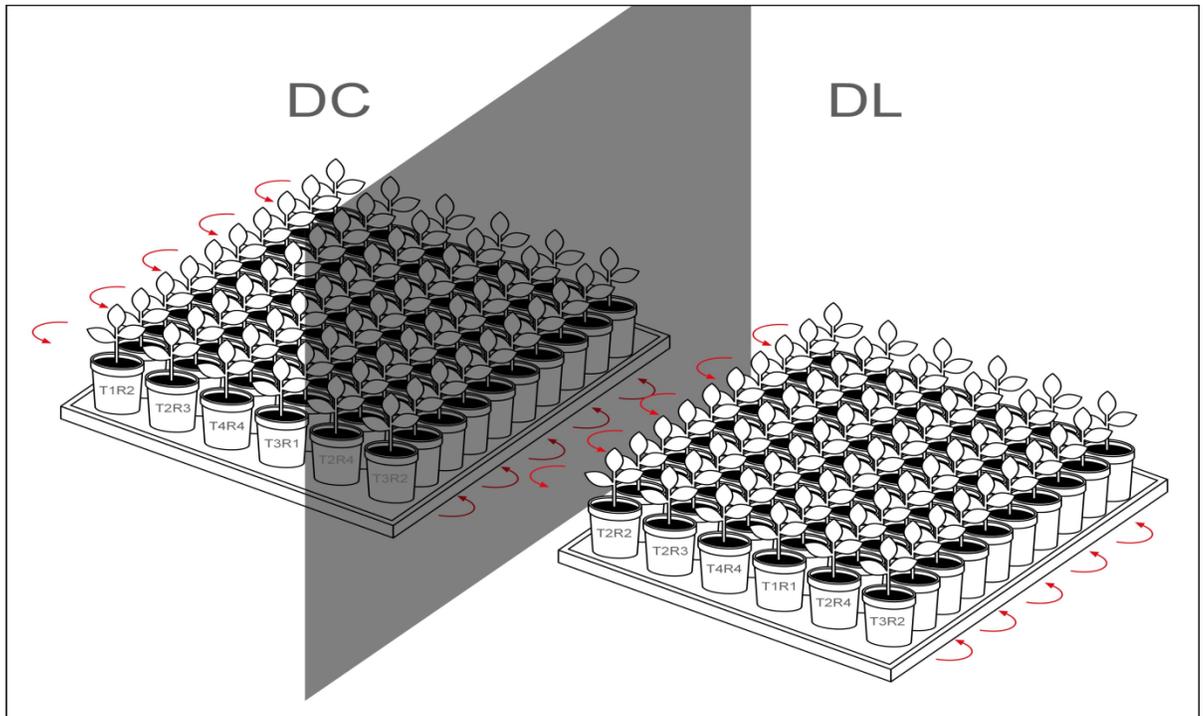


Figura 4. Esquema de la distribución de las macetas en el invernadero. Las flechas indican el reordenamiento aleatorio realizado cada semana con el fin de evitar el efecto borde.

El registro de temperaturas se hizo tanto en el medio aéreo como el radical con termómetros de aire y suelo (diaria máxima y mínima). Los termómetros de aire se ubicaron en ambos subsectores del invernadero (ver esquema). Los termómetros de suelo se introdujeron a una profundidad de 5 cm al centro de las macetas dos veces al día, la lectura se registró cuando llegaron a su condición estable (Fig. 5.b)

Se registraron las temperaturas máximas y mínimas diarias con el fin de calcular la duración de la fase vegetativa en tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$) para cada accesión en estudio. Para calcular el tiempo térmico se consideró una T_b común de $3,1^{\circ}\text{C}$ (Bertero, 2003)

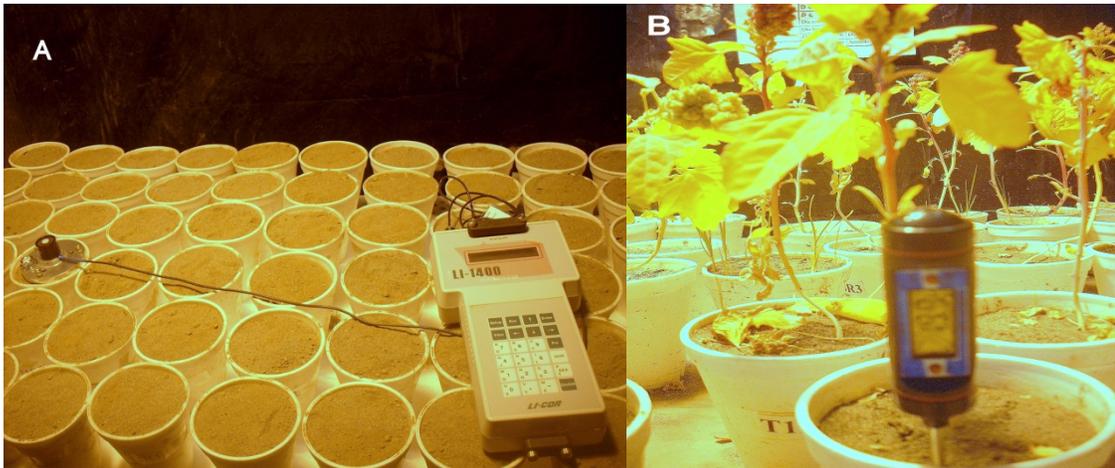


Figura 5. (A) Radiómetro Licor ModLI-185b utilizado en el ensayo. (B) Termómetro de suelo usado en el ensayo.

Tratamientos

Los tratamientos realizados consistieron en una combinación de los fotoperiodos considerados y las accesiones evaluadas. Las seis combinaciones resultantes se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fotoperiodos dados y las combinaciones de éstos con las accesiones evaluadas.

Tratamientos	Fotoperíodo	Accesiones
T1	Día corto (9 h)	Amarilla
T2	Día corto (9 h)	Durazno
T3	Día corto (9 h)	Baer
T4	Día largo (15 h)	Amarilla
T5	Día largo (15 h)	Durazno
T6	Día largo (15 h)	Baer

Diseño del Experimento

El ensayo se dispuso en un diseño completamente al azar, con estructura factorial de tratamientos en donde los factores considerados fueron la accesión y el fotoperíodo utilizado. La combinación de ambos factores configuró 6 tratamientos, cada uno de ellos con 4 repeticiones. Cada repetición estuvo constituida por 5 plantas.

Mediciones efectuadas

Las mediciones y observaciones fenológicas se realizaron en veinte plantas de cada accesión en ambas condiciones de fotoperíodo.

Fase vegetativa

- Número de hojas en el eje principal: Se contó el número de hojas completamente desplegadas en el eje principal.
- Tasa de aparición de hojas en el eje principal: Se calculó a partir de la relación entre número de hojas y días transcurridos después de siembra (hojas/día)
- Momento de iniciación floral: se registró la evolución porcentual de plantas con emisión de botón floral. Se realizó un seguimiento sobre el porcentaje de plantas que alcanzaban el estado de emisión del botón floral hasta el momento en que el 100 % de las plantas alcanzaron dicho estado.
- Duración de la fase vegetativa: días desde siembra a emisión del primer botón floral visible. El tiempo se contabilizó hasta el momento en que el 100% de las plantas emitieron el primer botón floral.
- Nudo de iniciación floral (NIF): se registró el número del nudo de aparición del primer botón floral, el nudo cotiledonario se consideró como el nudo 0.

Cálculos de tiempo térmico: Unidades de Días Grado

El Tiempo Térmico (TT) requerido para completar la fase vegetativa, se calculó a partir de la ecuación 1:

TT: Días desde emergencia a emisión del primer botón floral * (Ta-Tb) (1)

donde:

Ta: Temperatura promedio del ensayo (20°C)

Tb: Temperatura base para la quínoa: 3,1 °C (Bertero, 2003)

Cálculos de sensibilidad al fotoperíodo

La sensibilidad al fotoperíodo (SF, °Cd h⁻¹) se define como la magnitud del retraso en el desarrollo (duración de fase vegetativa) causada por fotoperíodos no óptimos (Ej: fotoperíodos más largos que el fotoperíodo umbral) por unidad de incremento del fotoperíodo (Bertero, 2003).

La sensibilidad al fotoperíodo (SF) se calculó como:

$$SF = \frac{FVDL - FVDC}{FC (DL) - FU (DC)} \quad (2)$$

donde:

FVDL: Duración de la fase vegetativa en DL

FVDC: Duración de la fase vegetativa en DC

FC: Fotoperíodo Crítico (se consideró el fotoperíodo DL como crítico)

FU: Fotoperíodo Umbral (se consideró el fotoperíodo DC como umbral)

Mediciones a la Cosecha

- Número y largo de entre nudos (cm): La medición se realizó utilizando una regla de medir y contadores.

- Altura de plantas (cm): Se utilizó regla de medir, la que se colocó desde el nivel del suelo hasta el ápice de las plantas.

-Diámetro en la base del tallo (cm): Se obtuvo mediante un pie de metro digital, la medición se realizó en la base de las plantas (primer nudo).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos durante el estudio fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA). En aquellos casos en que se obtuvieron diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey, para un nivel de significancia del 5%. Los análisis se realizaron con los programas estadístico MINITAB 16 e INFOSTAT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del fotoperíodo sobre el número de hojas en el eje central

El número de hojas desplegadas en el eje central para cada accesión bajo días largos (DL) y días cortos (DC) para las accesiones de quínoa evaluadas se presenta en las Figuras 6,7 y 8.

Amarilla

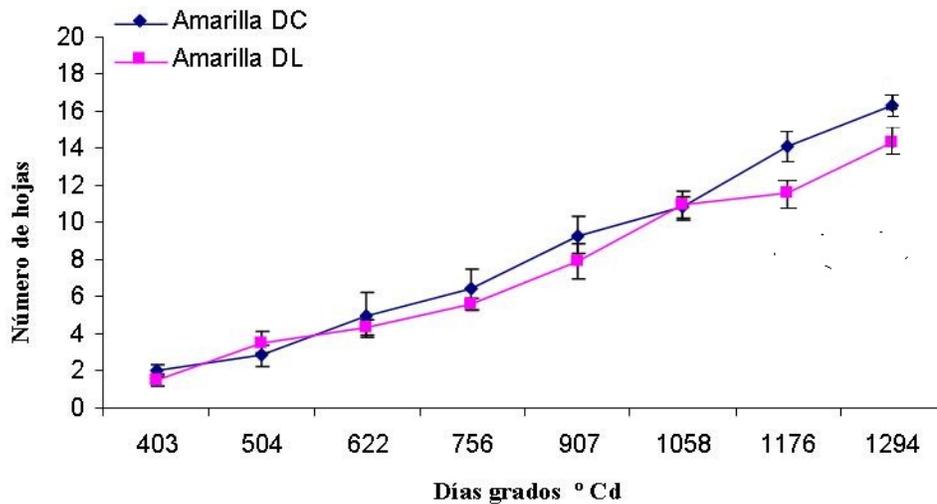


Figura 6. Número de hojas en el eje central para Amarilla bajo días largos (DL; 15 hd^{-1}) y días cortos (DC; 9 hd^{-1}).

De la figura 6 se desprende que el fotoperíodo afectó el número de hojas en el eje central más claramente después de los 1058 °Cd (62 días después de la siembra). De este modo, transcurridos 1294 °Cd la accesión Amarilla tenía en promedio 16,3 hojas verdes en día corto y 14,1 en día largo. El mayor número de hojas en condición de día corto guarda relación con una mayor tasa de aparición de hojas (Bertero *et al.*, 1999b).

Durazno

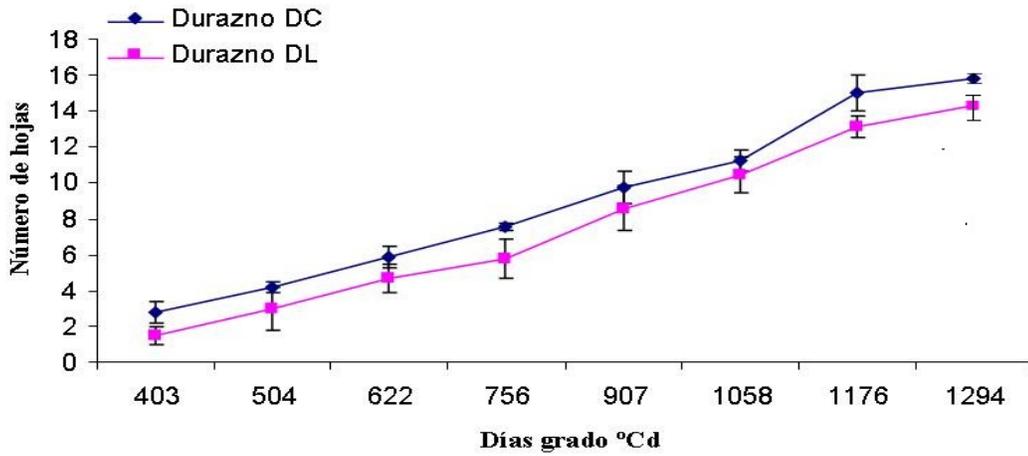


Figura 7. Número de hojas en el eje central para Durazno bajo días largos y días cortos.

De la figura 7 se desprende que el fotoperíodo afectó el número de hojas en el eje central más claramente después de los 1058 ° Cd (62 días después de la siembra). De este modo, transcurridos 1294 °Cd se observaron en Durazno 15,9 hojas verdes en día corto y 14,3 en día largo.

Baer

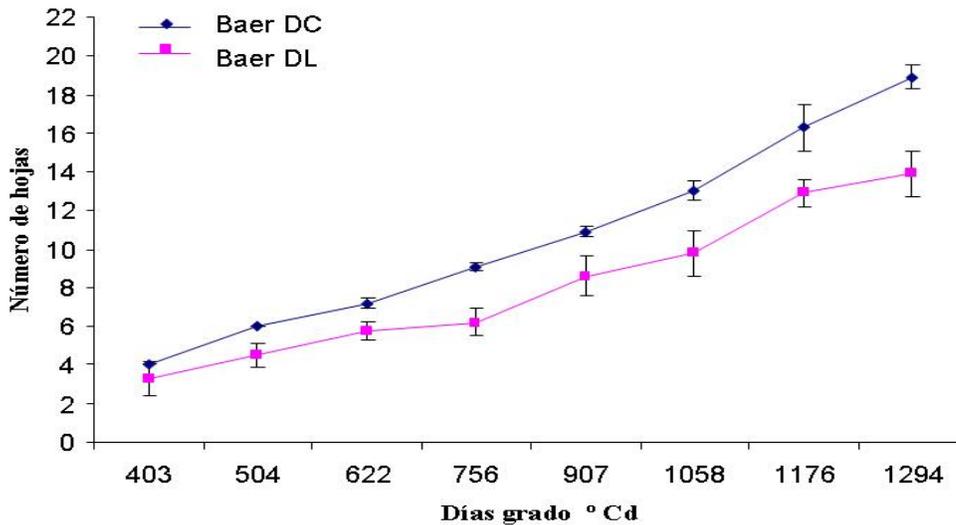


Figura 8. Número de hojas el eje central para Baer bajo días largos y días cortos.

De la figura 8 se desprende que el fotoperíodo afectó significativamente el número de hojas verdes en el eje central desde los 504 °Cd (29 días después de la siembra). De este modo, transcurridos 1294 °Cd se observó en Baer 18,9 hojas verdes en día corto y 13,9 en día largo. El mayor número de hojas en condición de día corto guarda relación con una mayor tasa de aparición de hojas (Bertero *et al.*, 1999b).

Todas las accesiones aumentaron el número de hojas en el eje central bajo la condición de día corto hasta la emisión del primer botón floral visible (fase vegetativa). Al comparar las accesiones Baer resulta ser la más sensible para este parámetro. Este resultado no es concordante con lo expuesto por Bertero (2003) quien expone que la sensibilidad al fotoperíodo disminuye con aumentos en la latitud de origen. La accesión Baer tiene la mayor latitud de origen de las accesiones evaluadas: 38,46 °S.

Resultados similares se obtuvieron en arabidopsis, lupino y trigo, observando un menor número de hojas totales a medida que se incrementaba el fotoperíodo (Slafer *et al.*, 1994; Xu *et al.*, 1997; Christiansen y Jornsgar, 2002).

En concordancia con lo anterior Galdames (2010) obtuvo para quínoa que los fotoperíodos menos extensos (9 y 13 h) presentaron el mayor número de hojas totales, alcanzando además el número máximo de hojas en forma más anticipada que el fotoperíodo más extenso (17h).

Efecto del fotoperíodo sobre la tasa de aparición de hojas en el eje principal

Las tasas de aparición de hojas promedio para cada accesión de quínoa estudiada bajo días largos y días cortos se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Tasa de aparición de hojas en el eje principal

Accesión	hojas /día en DC	hojas/día en DL
Amarilla	0,15 a	0,14 a
Durazno	0,17 a	0,14 a
Baer	0,21 b	0,16 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$.)

Al comparar las tasas de aparición de hojas expandidas en el eje principal para la fase vegetativa en ambas condiciones de fotoperíodo no se encuentran diferencias significativas para las accesiones Durazno y Amarilla. Este resultado concuerda con lo reportado por Bertero *et al.*, (1999b) quienes trabajaron con dos cultivares peruanos: Kancolla (floración temprana) y Blanca de Junin (floración intermedia), pudiendo concluir que el fotoperíodo afectó más la duración de la fase vegetativa que de la tasa de aparición de hojas en los

cultivares evaluados, al constatar que las plantas cultivadas en condición de día largo siguieron produciendo hojas por 10 días más que las mantenidas en condición de día corto. Sin embargo, la diferencia significativa en la tasa de aparición de hojas en la accesión Baer no era un resultado esperado, dado lo expuesto por Bertero (2003) quien concluyó que la sensibilidad al fotoperíodo disminuye con aumentos en la latitud de origen. La accesión Baer tiene la mayor latitud de origen (38.46 °S) de las accesiones evaluadas.

Galdames (2010) observó diferencias significativas para quínoa en la tasa de aparición de hojas sólo entre fotoperíodos extremos de 17 h y 9 h para la accesión Durazno.

Efecto del fotoperíodo sobre el momento de iniciación floral

El momento de iniciación floral y el porcentaje de plantas con emisión del primer botón floral, para cada accesión evaluada bajo días largos (DL; 15 hd⁻¹) y días cortos (DC; 9 hd⁻¹) se presenta en las figuras 9, 10 y 11.

En condición de DC la accesión Amarilla fue la primera en iniciar la floración (presencia de botón floral visible) demorando 31 días en promedio después de la siembra. Le siguió Durazno con 45 días y en último lugar Baer que demoró 57 días. En condición de DL se mantuvo la secuencia de iniciación, siendo Amarilla la primera en iniciarse demorando 45 días, seguida por Durazno con 60 días y finalmente Baer con 78 días después de la siembra. De esta manera, se pudo observar que el orden de iniciación floral, tanto en DL como DC, siguió la misma secuencia: Amarilla, Durazno y Baer.

La condición de día corto aceleró la iniciación floral en las tres accesiones evaluadas. Esto es consistente con la clasificación de día corto cuantitativo para la quínoa (Bertero, 1999a).

Resultados similares fueron obtenidos por Galdames (2010), en quínoa en donde 60 días después de realizada la siembra el fotoperíodo de 9 h presentó el 43,75% de plantas en floración, seguido por el fotoperíodo correspondiente a 13 h con un 29% de las plantas en floración, y finalmente el fotoperíodo de 17 h con un 10% de las plantas en floración.

Accesión Amarilla

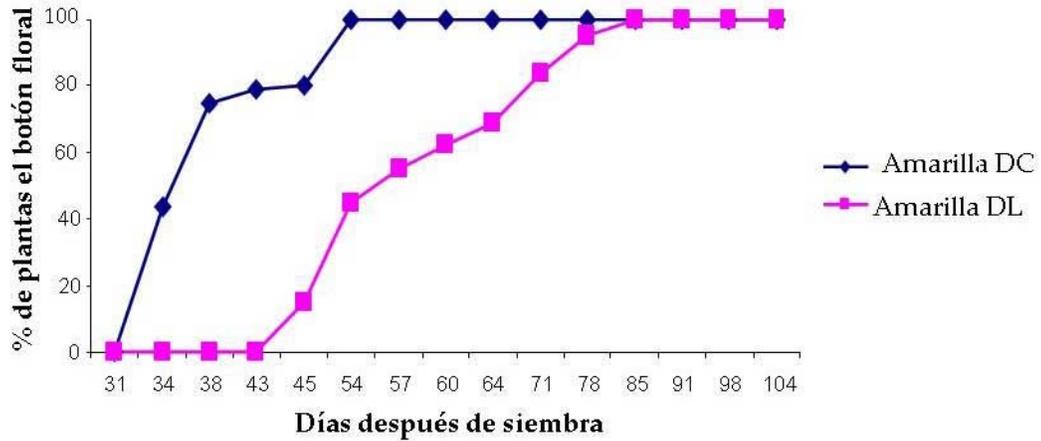


Figura 9. Efecto de dos fotoperiodos contrastantes en el momento de iniciación floral en la accesión Amarilla (*Chenopodium quinoa* Willd.)

El fotoperíodo de día largo (DL; 15 h^d⁻¹) retrasó el momento de iniciación floral en la accesión Amarilla en 11 días.

Accesión Durazno

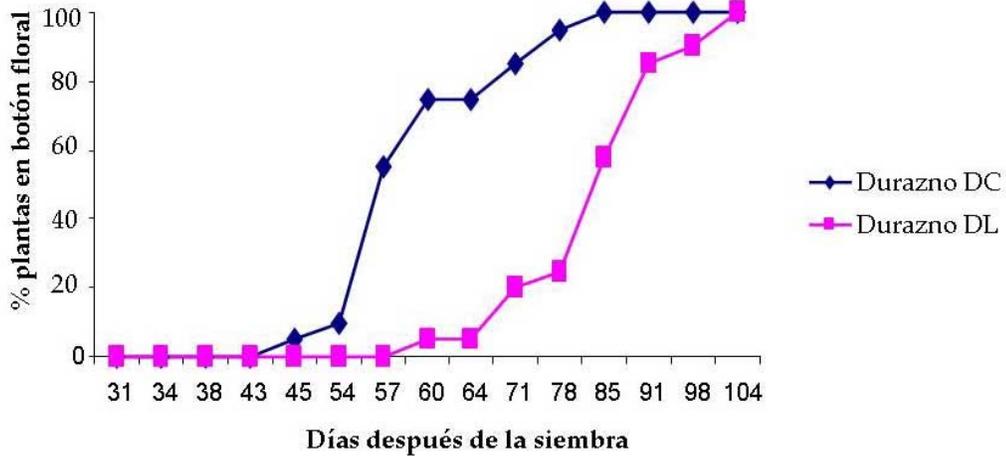


Figura 10. Efecto de dos fotoperiodos contrastantes en el momento de iniciación floral en la accesión Durazno (*Chenopodium quinoa* Willd.).

El fotoperíodo de día largo (DL; 15 hd^{-1}) retrasó el momento de iniciación floral en la accesión Durazno en 15 días.

Accesión Baer

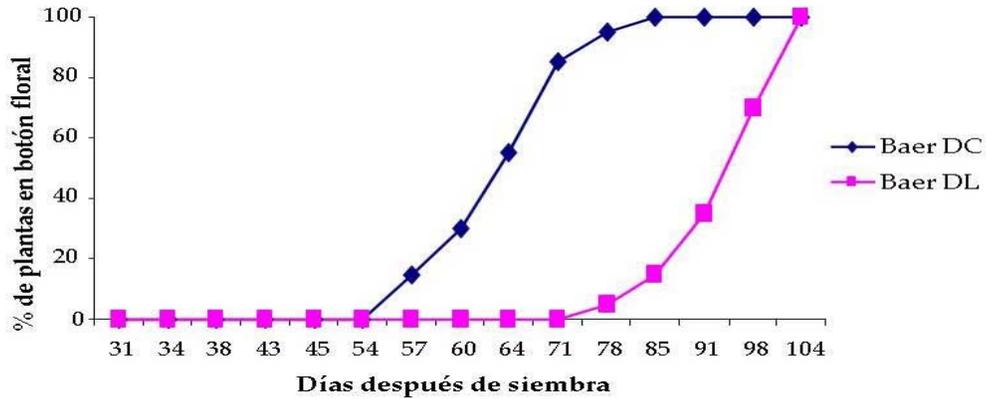


Figura 11. Efecto de dos fotoperíodos contrastantes sobre el momento de iniciación floral en la accesión Baer (*Chenopodium quinoa* Willd).

El fotoperíodo de día largo (DL; 15 hd^{-1}) retrasó el momento de iniciación floral en la accesión Baer en 21 días.



Figura 12. Accesiones de quínoa en condiciones de DC y DL después de 58 días de siembra. (A) Accesión Baer; (B) Accesión Durazno; (C) Accesión Amarilla.

Efecto del fotoperíodo sobre la duración de la fase vegetativa

Los días desde siembra a emisión del primer botón floral visible para cada accesión de quínoa evaluada bajo días largos (DL; 15 hd^{-1}) y días cortos (DC; 9 hd^{-1}) se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Días a emisión del primer botón floral visible bajo días largos y días cortos para las accesiones de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluadas.

Accesión	Fotoperíodo corto (9 h)	Fotoperíodo largo (15 h)
Amarilla	45 a	78 b
Durazno	72 b	95 c
Baer	78 b	103 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$.)

El fotoperíodo de día corto acortó la duración de la fase vegetativa en todas las accesiones evaluadas, dado que indujo tempranamente la emisión del primer botón floral visible. En Día corto la primera accesión que alcanzó el estado de botón floral fue Amarilla demorando sólo 45 días desde siembra a emisión de botón floral. Le siguieron las accesiones Durazno y Baer que demoraron 72 y 78 días respectivamente.

En día largo todas las accesiones aumentaron la duración de la fase vegetativa, pero se mantuvo el mismo orden para alcanzar el estado de botón floral, siendo Amarilla la más precoz demorando 78 días, seguida por Durazno y Baer que demoraron 95 y 103 días respectivamente. Extendiendo sus fases vegetativas en 33, 23 y 25 días respectivamente.

El tiempo se contabilizó hasta el momento en que el 100 % de las plantas de la accesión alcanzó el estado de botón floral visible.

El tiempo a floración observado para las diferentes accesiones evaluadas varió entre 45 a 78 días en DC (régimen inductivo) y entre 78 a 103 días en DL (régimen menos inductivo).

Estos resultados son consistentes con trabajos realizados en otras especies de día corto como soya en donde se observó un aumento en el número de días a floración en plantas cultivadas en una condición de día largo (Camara *et al.*, 1997; Rodríguez *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2008).

Del mismo modo, Andres *et al.* (2009) trabajando en arroz bajo condiciones controladas obtuvieron que plantas cultivadas bajo condición de día largo (14 h) extendieron su fase vegetativa en 7 días respecto a las cultivadas en condición de día corto (10 h).

En arroz también Izawa *et al.* (2000), obtuvieron que las plantas cultivadas en un fotoperíodo corto (10 h luz) tardaron aproximadamente 69,3 días en florecer, en cambio en un fotoperíodo más extenso (14 h luz) florecieron en 100,8 días.

Estos resultados concuerdan con trabajos realizados en otras especies anuales de día corto como el sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en donde se verificó el efecto del fotoperíodo sobre la duración de la fase vegetativa (periodo comprendido entre la siembra y la emergencia de la panícula). Encontrándose diferencias de 32 días entre los tratamientos (Ellis y Summerfield, 1997)

En plantas de día largo como arveja se verifica una respuesta inversa en donde plantas cultivadas en condición de día corto tardaban más tiempo en florecer que en una condición de fotoperíodo largo (Larrain y Alcalde, 2003). Del mismo modo, en trabajos hechos en lupino se observó que aumentos en el largo del fotoperíodo disminuían el número de días a floración (Keeve *et al.*, 2000; Christiansen y Jornsgard, 2002; Karaguzel *et al.*, 2005).

Efecto del fotoperíodo sobre el tiempo térmico requerido para completar la fase vegetativa

Las unidades de Días grado (°Cd) requeridas para alcanzar el estado de botón floral visible (duración de la fase vegetativa) para cada genotipo bajo DL y DC se presentan en el cuadro 6. Se consideró alcanzado el estado de botón floral cuando el 100% de las plantas habían emitido botón. Para calcular la sumatoria de temperaturas se consideró una T° base común de: 3,1°C (Bertero, 2003) y una temperatura diaria promedio de 20 °C.

Cuadro 6. Tiempo térmico requerido para alcanzar el estado de primer botón floral visible bajo días largo y cortos para las accesiones de quínoa evaluadas. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$.)

Accesión	Unidades de Días grados en DC	Unidades de Días grados en DL
Amarilla	592 a	1149 b
Durazno	1048 b	1436 c
Baer	1149 b	1571 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$.)

El fotoperíodo de día corto acortó la duración de la fase vegetativa en tiempo térmico en todas las accesiones evaluadas, dado que indujo tempranamente la emisión del primer botón floral visible. En DC la primera accesión que alcanzó el estado de botón floral fue Amarilla demorando sólo 592 ° Cd .Le siguieron las accesiones Durazno y Baer que demoraron 1048 y 1149 ° Cd respectivamente.

En condición de día largo todas las accesiones aumentaron la duración de la fase vegetativa en días grado, pero se mantuvo el mismo orden para alcanzar el estado de botón floral, siendo Amarilla la más precoz demorando 1149 ° Cd, seguida por Durazno y Baer que demoraron 1436 y 1571 ° Cd.

Sensibilidad al fotoperíodo (°Cd h⁻¹)

La sensibilidad al fotoperíodo (°Cd h⁻¹) para cada accesión se presenta en el cuadro 7. La sensibilidad al fotoperíodo se calculó a partir de la diferencia en tiempo térmico (entre DL y DC) para alcanzar el estado de botón floral visible por unidad de cambio del fotoperíodo entre el fotoperíodo umbral (DC) y el crítico (DL) (Bertero, 2003).

Cuadro 7. Sensibilidad al fotoperíodo y latitud de origen de las accesiones evaluadas.

Accesión	SF (°Cd h ⁻¹)	Latitud (grados)	Altitud (m)
Amarilla	92,8	19.10 ° S	3000
Durazno	64,8	31.11 ° S	904
Baer	70,5	38.46 ° S	110

La accesión que presentó mayor sensibilidad al fotoperíodo fue Amarilla con 92,8 °Cd h⁻¹ seguida por Baer con 70,5 °Cd h⁻¹ y finalmente Durazno se presentó menos sensible con 64,8 °Cd h⁻¹. Estos resultados son en parte concordantes con lo expuesto por Bertero (2003) para quínoa, quien asocia una mayor sensibilidad al fotoperíodo a una menor latitud de origen (más tropical). Sólo la accesión Durazno no sigue la tendencia de sensibilidad propuesta por Bertero (2003).

Las diferencias registradas en sensibilidad al fotoperíodo entre las accesiones se explica en gran medida por las características agroclimáticas en que se desarrollan las accesiones evaluadas, éstas difieren en fotoperíodo, temperatura promedio y altitud.

Efecto del fotoperíodo sobre el nudo de iniciación floral (NIF)

El nudo de iniciación floral para cada accesión de quínoa evaluada bajo días largos y días cortos se presenta en el cuadro 8.

Cuadro 8. Número del nudo de iniciación floral bajo días largos y días cortos para las accesiones de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluadas.

Accesión	Nudo de iniciación en DC (± d.e)		Nudo de iniciación en DL (± d.e)	
Amarilla	14,8 ± 0,96	a	27,3± 0,95	cd
Durazno	24,7± 2,1	bc	30,2 ± 1,5	d
Baer	22,7± 1,7	b	29,3 ± 2,6	d

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05.)

El fotoperíodo de DL provocó un incremento en el nudo de iniciación floral en las tres accesiones de quínoa evaluadas. La accesión Baer incrementó 7 nudos, Durazno 5 nudos y Amarilla 13 nudos. El incremento en el nudo de iniciación floral está asociado a la mayor duración de la fase vegetativa exhibida por las accesiones en condiciones de día largo.

De estos resultados se desprende el marcado efecto del fotoperíodo en el nudo de iniciación floral para quínoa (no reportado). El fotoperíodo DC resultó ser el más inductivo para las tres accesiones dado que anticiparon su NIF en comparación con DL.

Trabajos realizados por Larraín y Alcalde (2003) en arveja, mostraron que en condiciones de día corto (DC) los genotipos evaluados incrementaron el nudo de iniciación floral de 1 a 5 nudos. La arveja es una planta de día largo por tanto la condición de día corto resulta menos inductiva para esta especie.

Efecto del fotoperíodo sobre la altura de plantas

La evolución de la altura de plantas desde emergencia hasta emisión de botón floral visible bajo días largos (DL; 15 hd^{-1}) y días cortos (DC; 9 hd^{-1}) se presenta en las figuras 16 y 17 respectivamente. La evolución de la altura en DL exhibe un claro patrón de crecimiento que incluye tres etapas. La primera está dada por paulatino incremento en altura que va desde el día 31 al 65 después de realizada la siembra, esto se cumple para las tres accesiones. En la segunda etapa se presenta un acelerado crecimiento que va desde el día 66 al día 85, y finalmente una tercera etapa donde se estabiliza la tasa de crecimiento y posteriormente no se observa un incremento en altura, esta etapa va desde el día 86 al 112.

Día Largo

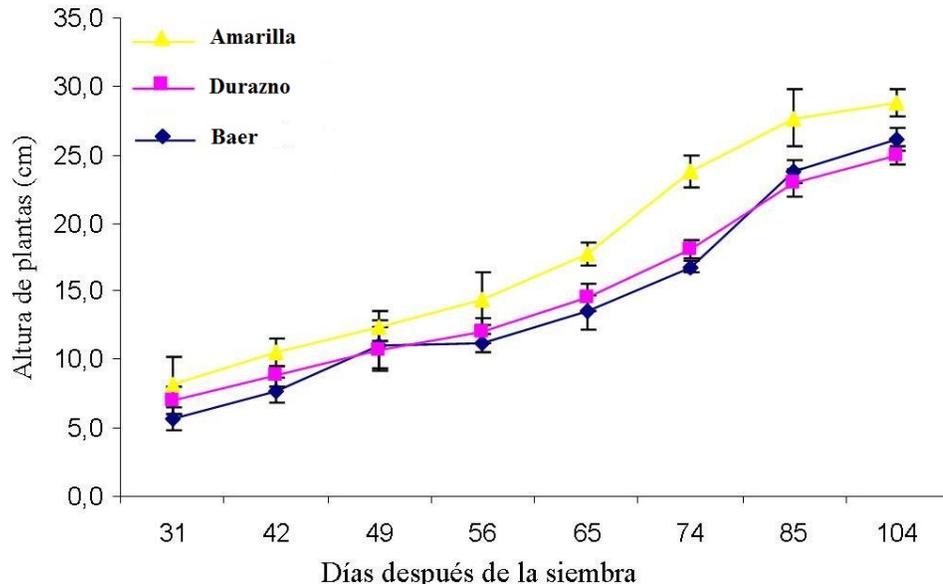


Figura 13. Efecto de la condición de día largo sobre la altura de plantas.

La accesión en alcanzar la mayor altura en condición de DL fue Amarilla llegando a 28,8 cm seguida por Baer con 26,1 cm y Durazno con 25 cm.

La evolución de la altura en DC mantiene el mismo patrón de crecimiento en tres etapas, la primera de paulatino crecimiento va desde el día 31 al 56 para las tres accesiones. Sin embargo, en las etapas siguientes 2 (acelerado crecimiento) y estabilización y cese de crecimiento) se presentan diferencias en la duración. Es así como la etapa 2 en Baer va desde el día 56 al 74 (18 días), Durazno va desde el día 56 al 85 (29 días) y finalmente Amarilla va desde 56 al 75 días durando tan sólo 9 días. De tal modo la etapa 3 también presenta diferencias de duración en Baer va desde el 74 al 112 (38 días), Durazno desde el 85 al 112 (27 días) y finalmente Amarilla desde el día 65 al 112 (47 días).

El efecto de la condición de día corto sobre la altura de las diferentes accesiones se hace particularmente notorio en la accesión Amarilla que alcanza su altura definitiva anticipadamente (día 65 después de la siembra) respecto de las accesiones indicando que la condición de día corto resulta muy inductiva para esta accesión.

Al comparar la altura final de las accesiones evaluadas en ambas condiciones vuelve a resultar llamativo el comportamiento de la accesión amarilla que en condiciones de DL y DC registra una diferencia de 10,2 cm.

Día Corto

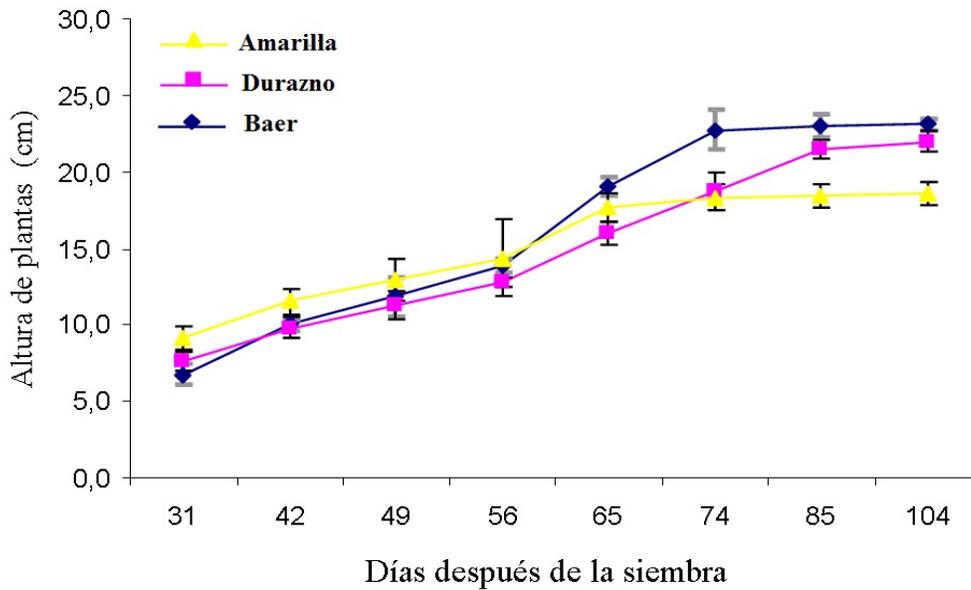


Figura 14. Efecto de la condición de día corto sobre la altura de plantas.

La accesión en alcanzar la mayor altura en condición de DC fue Baer llegando a las 23,1 cm seguida por Durazno con 22 cm y Amarilla con sólo 18,8 cm.

La accesión en alcanzar la mayor altura en condición de DL fue Amarilla llegando a 28,8 cm seguida por Baer con 26,1 cm y Durazno con 25 cm. En condición de DC la accesión Baer alcanza la máxima altura llegando a 23,1 cm seguida por Durazno con 22 cm y Amarilla con sólo 18,8 cm. El tamaño de las plantas a cosecha se presenta en la figura 15. Resulta notorio el efecto del fotoperíodo sobre la altura de plantas en la accesión Amarilla que exhibe una diferencia de 10,2 cm al comparar su altura final en ambas condiciones de fotoperíodo.

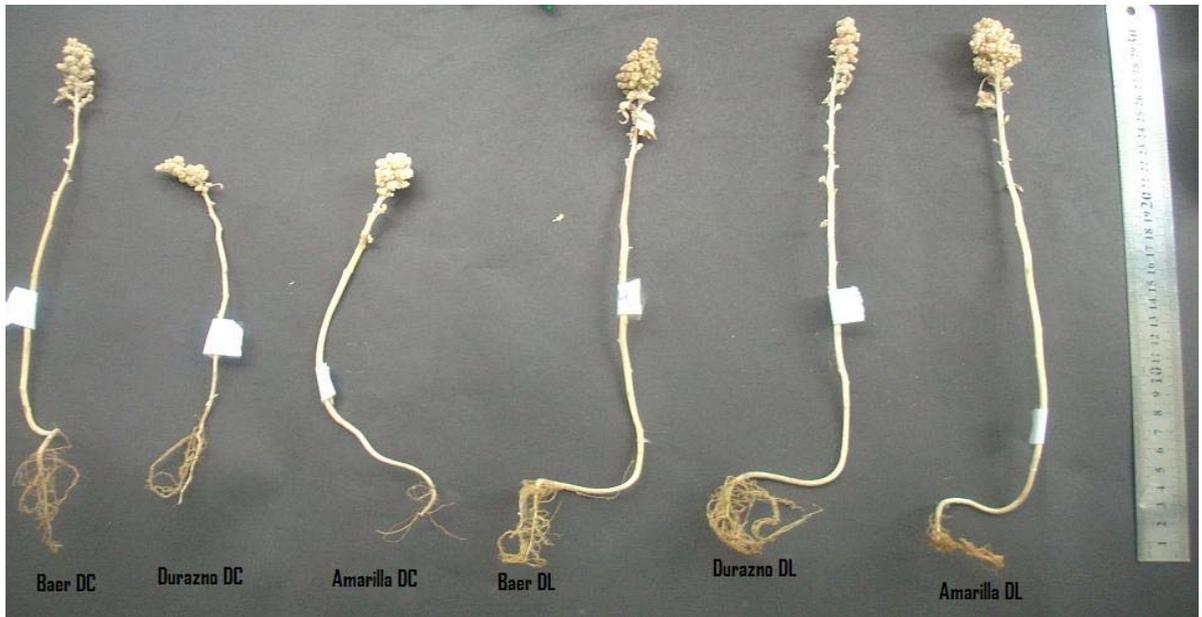


Figura 15. Altura final de plantas de quínoa condiciones de DC y DL al momento de la cosecha.

Estos resultados son consistentes con lo obtenido por Michiyama *et al.* (2005), quienes observaron en alforfón que al extender el largo del día aumentaba la altura de las plantas a cosecha. Resultados obtenidos para otras especies de día corto como es el caso de la Soya también concuerdan en donde al extender el largo del día se obtuvieron plantas más altas, así plantas que crecían en una condición de día largo eran en promedio 77 cm más grandes que las que crecían en una condición de día corto (Camara *et al.* 1997; Rodríguez *et al.* 2000). La mayor altura alcanzada por plantas de día corto expuestas a una condición de día largo (menos inductiva) está dada por un retraso en la iniciación floral y el aumento en el número de nudos, lo que consecuentemente extiende la duración de la fase vegetativa.

Resultados similares fueron obtenidos por Galdames (2010) en quínoa bajo condiciones semi-controladas, quien registró la mayor altura de plantas en el fotoperíodo más extenso de su ensayo con un promedio de 91,1 cm en el fotoperíodo más corto (9 hd^{-1}) la altura promedio fue de 71,9 cm

Efecto del fotoperíodo sobre el largo de entrenudos (cm):

El largo de los primeros 10 entrenudos una vez cosechadas las plantas en condiciones de días largos (DL; 15 hd^{-1}) y días cortos (DC; 9 hd^{-1}) para cada accesión se presenta en las figuras 9, 10 y 11.

Accesión Amarilla

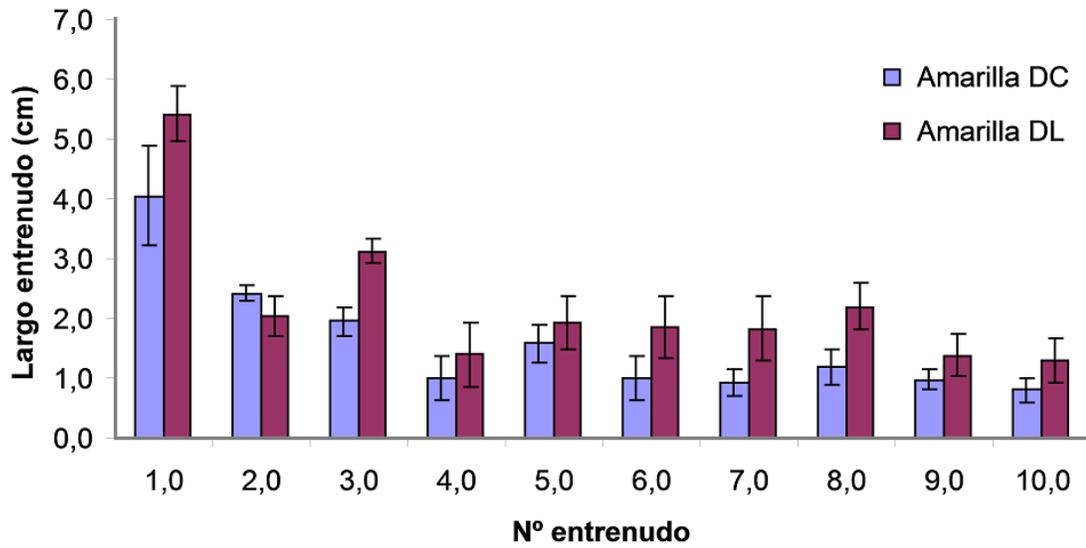


Figura 16. Largo de los primeros 10 entrenudos en Amarilla bajo días largos y cortos.

Accesión Durazno

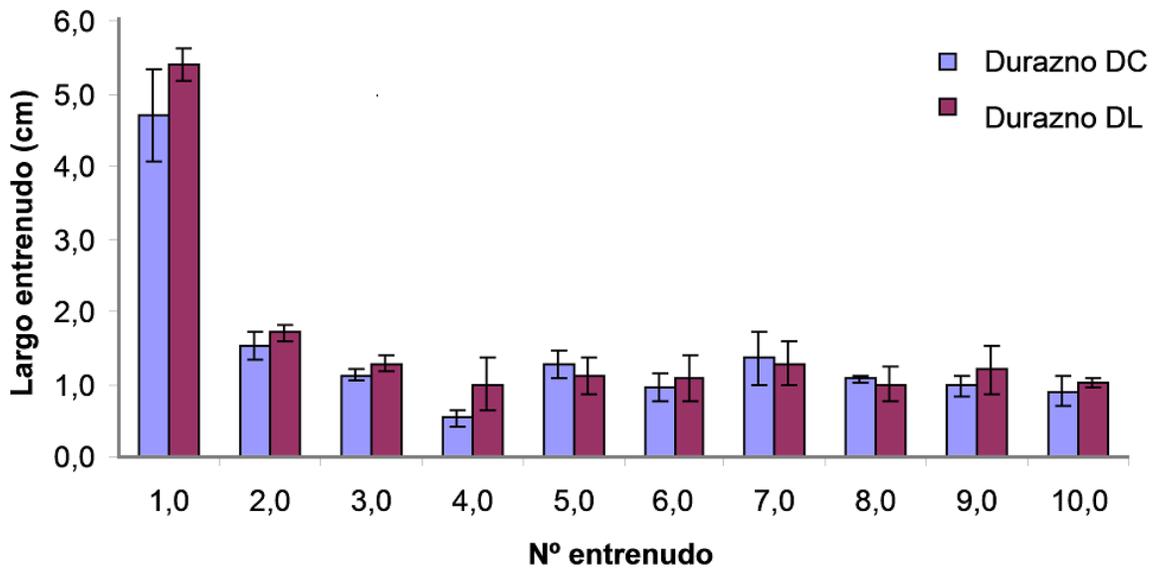


Figura 17. Largo de los primeros 10 entrenudos en Durazno bajo días largos y cortos.

Accesión Baer

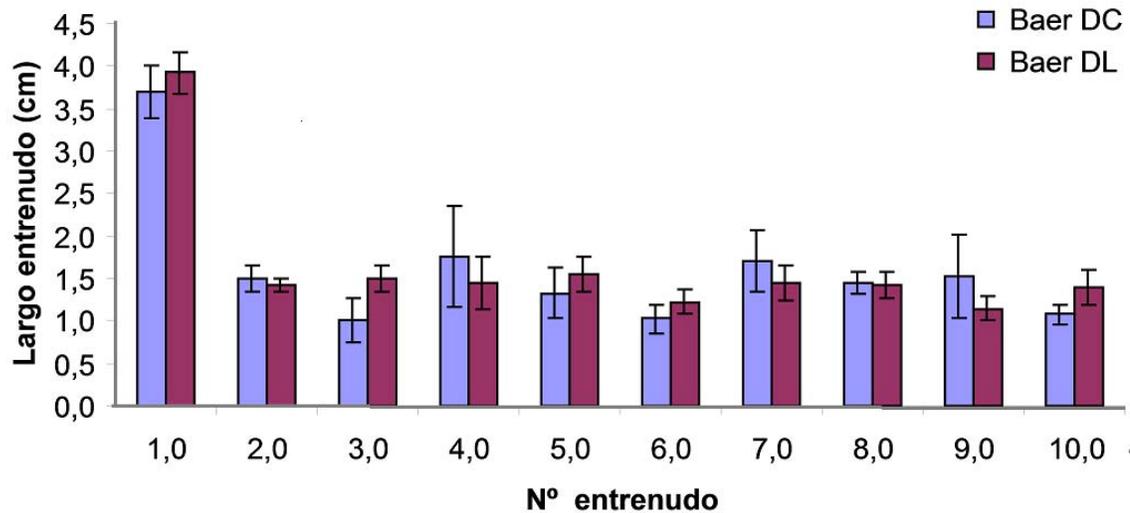


Figura 18. Largo de los primeros 10 entrenudos en Baer bajo días largos (DL; 15 hd⁻¹) y días cortos (DC; 9 hd⁻¹).

Las evaluaciones del largo de los primeros 10 entrenudos en cada accesión para ambas condiciones de fotoperíodo no permiten concluir que la inducción de floración se haya producido antes del décimo nudo. A pesar que en todas las accesiones se advierte una tendencia a la elongación de los entrenudos en condiciones de día largo, esta tendencia se advierte precozmente y más claramente en la accesión Amarilla. Estos resultados permiten concluir que la mayor altura de las plantas de quínoa cultivadas en condición de día largo es debido principalmente al número de nudos y no al largo de entrenudos.

Efecto del fotoperíodo sobre el diámetro en la base del tallo:

El diámetro a cosecha de los tallos de quínoa para las accesiones evaluadas en ambas condiciones se presenta en el cuadro 9.

Cuadro 9. Efecto del fotoperíodo sobre el diámetro del tallo en plantas cosechadas (cm)

Accesión	Diámetro de tallo en DC	Diámetro de tallo en DL
Amarilla	1,7 a	2,7 cd
Durazno	1,7 a	2,9 d
Baer	2,0 ab	2,3 bc

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05.)

En condición de día largo todas las accesiones aumentaron el diámetro del tallo. La accesión Amarilla lo hizo en 1,0 cm Durazno en 1,2 cm y Baer en 0,3 cm.

Resultados similares ya habían sido registrados por Galdames (2010), en donde el mayor diámetro de las plantas de quínoa se registró en la condición de fotoperíodo de 17 hd^{-1} el más extenso del ensayo. Estos resultados también son consistentes con los obtenidos por Karaguzel *et al.* (2005) en Lupino en donde registraron el efecto de la extensión del fotoperíodo sobre el diámetro de los tallos, ellos observaron que las plantas con los mayores diámetros de tallos se daban bajo una condición de 12 y 16 h de luz, por el contrario, las de menor diámetro de tallo, ocurrían en la condición intermedia de 14 h de luz. El aumento de diámetro en tallos viene dado por la mayor duración que alcanza la fase vegetativa en condiciones menos inductivas, es por esta razón que la planta dispone de más tiempo para acumular fotosintatos en los tallos, antes que estos sean translocados a los órganos reproductores.

Efecto del fotoperíodo sobre el rendimiento

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran que el fotoperíodo de día largo extiende la fase vegetativa en quínoa, la mayor duración de dicha fase sugiere un incremento de la biomasa total pero una disminución en la partición de asimilados hacia las semillas. Estudios realizados por Schlick y Bubenheim (1996) observaron que la extensión del fotoperíodo disminuía el índice de cosecha en quínoa. De este modo, al extender el fotoperíodo de 8 a 12 y finalmente 16 h, obtuvieron valores de 0,55 IC, 0,34 IC y 0,28 IC, respectivamente. Resultados concordantes fueron obtenidos por Galdames (2010) quien observó que al extender el fotoperíodo de 9 a 13 y finalmente a 17 h, obtuvo valores de 0,17 IC, 0,14 IC y 0,06 IC, respectivamente. Trabajos realizados en maní por Dwivedi *et al.* (1998), obtuvieron que la extensión del fotoperíodo incrementaba la biomasa total pero disminuía la partición de asimilados, resultado un menor IC. De igual forma, trabajos realizados en soya por Ellis *et al.* (1999), obtuvieron que al extender el fotoperíodo de 12,25 a 15 h disminuía el IC. El menor rendimiento obtenido en condiciones de día largo (menos inductiva para la quínoa) se debe posiblemente a una menor translocación de asimilados hacia las semillas. Galdames (2010) obtuvo un menor diámetro de semillas (peso de 1.000 semillas) y un menor peso de semillas por planta en condiciones de día largo (17h). Estos resultados son consistentes con una etapa reproductiva más corta (etapa vegetativa más larga), menos hojas totales, mayor altura y un menor índice de cosecha, lo que se traduce en una mayor partición de fotosintatos a hojas, raíces y tallos en vez de a granos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos las conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

El fotoperíodo tiene un marcado efecto en la duración de la fase vegetativa en las tres accesiones de quínoa evaluadas. Por lo tanto se aprueba la hipótesis planteada.

El fotoperíodo de día corto reduce la duración de la fase vegetativa en todas las accesiones de quínoa evaluadas, dado que induce más tempranamente la emisión del primer botón floral visible.

Por contraparte el fotoperíodo de día largo retrasa la emisión del primer botón floral, lo que alarga la duración de la fase vegetativa y aumenta el nudo de iniciación floral (NIF).

Todas las accesiones evaluadas se comportan como plantas de día corto cuantitativo, es decir, la floración se acelera en días cortos.

Finalmente el estudio comprueba que la sensibilidad al fotoperíodo varía significativamente entre las accesiones chilenas de quínoa evaluadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, M., J. Pavón, y S. Von Rutte. 1990. Caracterización de quínoa hacia un cultivo comercial. Latinreco S.A. Quito. Ecuador. 5-33.
- Andres F., Galbraith D., Talón M. y Concha D. 2009. Analysis of Photoperiod sensitivity 5 Sheds Light on the Role of Phytochromes in Photoperiodic Flowering in Rice.
- Bertero, D., D. Medan, and A. Hall. 1996. Changes in apical morphology during floral initiation and reproductive development in quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Annals of Botany* 78: 317-324.
- Bertero, D., R. King, and A. Hall. 1999a. Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crop Research* 63: 19-34.
- Bertero, D., R. King, and A. Hall. 1999b. Photoperiod-sensitive development phases in quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crop Research* 60: 231-243.
- Bertero, D. y A. Hall. 2000. Respuesta de procesos de desarrollo a la temperatura y el fotoperiodo en Quínoa. Disponible en: Bertero, D. y A. Hall. 2000. Respuesta de procesos de desarrollo a la temperatura y el fotoperiodo en Quínoa. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro14/cap3.7.htm>
- Bertero, D. 2003. Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Rev. Inv* 19: 87-97
- Camara, G.M.S., T. Sedyama, N. Dourado, and M.S. Bernardes. 1997. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycine max* L.). *Scientia Agricola*. 54: 149-154.
- Canahua, A. 1997. Observaciones del comportamiento de la quinua a la sequía. In: Proc. I Congreso Internacional de Cultivos Andinos, Ayacucho. Perú. pp. 390-392.
- Christensen, S.A., D. Prat , C. Pratt , M. Steven, E. Jellen, C. Coleman, D. Fairbanks, A. Bonifacio and P. Maughan . 2007. Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. *Plant Genet Res* 5:82-95.
- Christiansen, J.L. and B. Jornsgard. 2002. Influence of daylength and temperature on number of main stem leaves and time to flowering in lupin. *Annals of Applied Biology* 140: 29-35.

Delatorre, J. y M. Pinto. 2009. Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa. (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections. Chilean Journal of Agricultural research 69 (4):477-485.

Delatorre, J., J. Arenas, y H. Campos. 1995. Comparación morfológica de 9 genotipos de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) colectados en el altiplano de la provincia de Iquique. Revista de Agricultura del Desierto 1(1): 5-7.

Dwivedi, S.L., S.N. Nigam, S. Chandra, and V.M. Ramraj. 1998. Combining ability of biomass and harvest index under short and longer day conditions in groundnut. Annals of Applied Biology 133:237-244.

Ellis, R.H., A. Qi, P.Q. Craufurd, R.J. Summerfield and E.H. Roberts. 1997. Effects of photoperiod, temperature and asynchrony between thermoperiod and photoperiod on development to panicle initiation in sorghum. Botany 79:169-178 Annals of Botany 79:169-178.

Ellis, R.H., H. Asumadu, and R.J. Sumerfeld. 1999. Effects of photoperiod and maturity genes on plant growth, partitioning, radiation use efficiency, and yield in soybean (*Glycine max* Merrill.). Annals of Botany 85: 335-343.

Espindola G. 1986. Respuestas fisiológicas, morfológicas y agronómicas de la quinua al déficit hídrico. MSthesis. Inst. de Enseñanza y Ciencias Agrícolas, Chapingo, México.

Fuentes, F. 2005. Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex.

Galdames, F. 2010. Efecto de diferentes Fotoperiodos en el crecimiento y desarrollo de plantas de quínoa, y cómo influye en la composición química de sus semillas. Mención fitotecnia. Universidad de Chile, Facultad de ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 46p.

Izawa, T., T. Oikawa, S. Tokutomi, K. Okuno, and K. Shimamoto. 2000. Phytochromes confer photoperiodic control of flowering in rice (a short-day plant). The Plant Journal 22(5): 391-399.

Jacobsen, S. E., A. Mujica y O. Stolen. 1998. Tolerancia de la quinua a la sal durante la germinación. Agronomía tropical 48 (3), 359-366.

Karaguzel, O., I. Baktirb, S. Cakmakcic, V. Ortacesmea, B. Aydinogluc, and M. Atik. 2005. Responses of native (*Lupinus varius* L.) to culture conditions: effects of photoperiod and sowing time on growth and flowering characteristics. Scientia Horticulturae 103: 339-349.

Keeve, R., H. Loubser, and G. Krüger. 2000. Effects of temperature and photoperiod on days to flowering, yield and yield components of (*Lupinus albus* L.) under field conditions. *Journal Agronomy & Crop Science* 184: 187-196.

Larrain, M.F. y J.A. Alcalde. 2003. Determinación de las fases de sensibilidad e insensibilidad a fotoperíodo en la etapa de prefloración en arveja. *Ciencia e Investigación Agraria* 30(1): 15-25.

Michiyama, H., K. Tsuchimoto, K. Tani, T. Hirano, H. Hayashi, and C. Campbell. 2005. Influence of day length on stem growth, flowering, morphology of flower clusters, and seed-set in Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *PlantProductionScience* 8(1): 44-50.

Mujica, A., R. Ortiz, R. Rossel, J. Canahua, A. Ruiz, y V. Apaza. 2004. Diversidad genética de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Pp 121-136. Cochabamba, Bolivia, 3-6 de Febrero, 2004. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIA), Cochabamba, Bolivia.

Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo J., Marathee J. 1998. Libro de Campo Prueba Americana y Europea de la Quinoa. Red de Cooperación Técnica en Producción de Cultivos Alimenticios de la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Puno, Perú. pp 19-21.

Muñoz, R. y E. Acevedo. 2002. Evaluación del rendimiento potencial y bajo estrés hídrico de 11 genotipos de Quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Laboratorio Relación suelo-agua-planta. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 46 p.

Murfet, I.C. 1977. Environmental interaction and the genetics of flowering. *Annual Reviews of Plant Physiology* 27, 253-278.

Murfet, I.C. 1985. *Pisum sativum*. p. 97-126. In A.H. Halevy (ed.) *Handbook of flowering*. Vol.4. CRC Press. Boca Raton, FL.

Prego, I., S. Maldonado, and M. Otegui. 1998. Seed structure and localization of reserves in (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Annals of Botany* 82: 481-488.

Risi, J., Galwey, N.W. 1989. *Chenopodium* grains of the Andes: a crop for temperate latitudes, p. 222-224. In: *New crops for food and industry*.

Roberts E. H. and R. J. Summerfield. 1987. Measurement and prediction of flowering in annual crops. p. 17-50. In J.G. Atherton (ed.) *Manipulation of flowering*. Butterworths, London.

Rodríguez, O., A. DirceuDidonet, J.C BarrenecheLhamby, P.F. Bertagnolli, e J. Silva da luz. 2000. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 36(3): 431-437.

Schlick, G. and D.L. Bubenheim. 1996. Quinoa: Candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems. New Crops: 632-640.

Slafer, G.A., D.J Connor, and G.M. Halloran. 1994. Rate of leaf appearance and final number of leaves in wheat: effects of duration and rate of change of photoperiod. Annals of Botany 74: 427-436.

Spehar, C. and Barros Santos, R. 2005. Agronomic performance of Quinoa selected in the Brazilian Savannah. Pesquisa Agropecuaria Brasilia 40:609-612.

Tejeda, C. 2009. Efecto de la extensión del fotoperíodo sobre la producción de semillas de quínoa (*Chenopodium quínoa* Willd.). Magíster en ciencias agropecuarias, Mención fitotecnia. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.39p.

Valencia-Chamorro, S. A. 2003. Quinoa. In: Caballero B.: Encyclopedia of Food Science and Nutrition. Vol. 8. Academic Press, Amsterdam: 4895-4902.

Vilche, C., Gely M., Santalla E. 2003. Physical properties of quinoa seeds. Biosystems Engineering, 86: 59-65.

Wahli, C. 1990. Quínoa: hacia su cultivo comercial. Latinreco S.A. Quito. Ecuador. 205p.

Wilckens, R., Hevia, F. Serri, H. y Urbina, A. 1994. Comportamiento y caracterización de ecotipos de quinua. Proyecto de Investigación. Universidad de Concepción.

Xu, Y-L., D. Gage, and J. Zeevaar. 1997. Effects of Photoperiod on Expression of the *GA4* and *GA5* Loci. Plant Physiology 114: 1471-1476.

Zhang, Q., H. Lia, R., Hua, CH. Fana, F. Chena, Z. Wangb, X. Liua, Y. Fua, and CH. Lina. 2008. Association of the circadian rhythmic expression of GmCRY1a with a latitudinal cline in photoperiodic flowering of soybean. The National Academy of Sciences of the USA 105(52): 21028-21033.

Zhu, N., S. Sheng, S. Sang, J.W. Jhoo, N. Bai, M.V. Karwe, R.T. Rosen, and C.T Ho. 2002. Triterpene Saponins from debittered quínoa (*Chenopodium quínoa* Willd.) seeds. Journal Agricultural Food and Chemistry 50: 865-867.