

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Crecimiento y producción de cinco variedades de Quinoa
(*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Comarca Lagunera**

POR:

OLGA ARACELI ZAPATA RAMOS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER

EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Crecimiento y producción de cinco variedades de Quinoa
(*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Comarca Lagunera

POR

OLGA ARACELI ZAPATA RAMOS

TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR

PRESIDENTE


Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

VOCAL

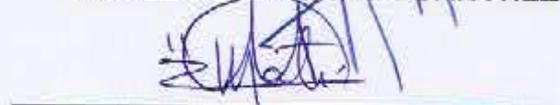

M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL


M.C. JOSÉ SIMÓN CARRILLO AMAYA

VOCAL SUPLENTE


ING. ELISEO RAYGOZA SANCHEZ


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE, 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**Crecimiento y producción de cinco variedades de Quinoa
(*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Comarca Lagunera**

POR

OLGA ARACELI ZAPATA RAMOS

TESIS

**QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR

ASESOR PRINCIPAL



Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

ASESOR



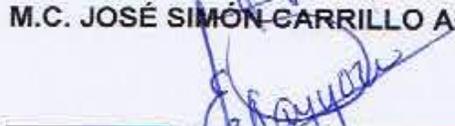
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR



M.C. JOSÉ SIMÓN CARRILLO AMAYA

ASESOR



ING. ELISEO RAYGOZA SÁNCHEZ

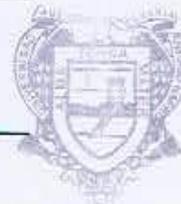


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE, 2015



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

AGRADECIMIENTOS

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** por ser punto clave de mi formación profesional.

Al **Ph.D. Vicente de Paul Alvarez Reyna** por brindarme la oportunidad de participar y llevar a cabo este proyecto. Por su tiempo, apoyo y asesoría.

A mis asesores de tesis **M.C. Federico Vega Sotelo** y **M.C. José Simón Carrillo Amaya**, por confiar en mí y sin dudar aceptar formar parte de este proyecto.

Al **M.C. Héctor Armando Díaz Méndez**, por su colaboración, tiempo invertido y ayuda.

A mis **amigos** y **compañeros**, gracias por los momentos compartidos, y definitivamente, por hacer más amena esta etapa de mi vida.

DEDICATORIA

A ustedes que me han acompañado a lo largo de mi vida, que son prueba de amor, unión y comprensión, a ustedes a quien tanto amo: **Pá, Má, Mina, Lau, Nene.**

A **Rodri, Andy y Sofy**, gracias por tanta luz en mi vida.

A ti, **mi compañero de vida**, gracias por siempre ser y estar, el primer logro juntos, de muchos más.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Origen e historia.....	3
2.2. Ecotipos.....	4
2.3. Distribución geográfica	5
2.4. Importancia	6
2.5. Descripción taxonómica.....	7
2.6. Descripción botánica	7
2.6.1. Planta de quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)	8
2.6.2. Raíz	8
2.6.3. Tallo.....	9
2.6.4. Hojas	9
2.6.5. Inflorescencia	10
2.6.6. Flor.....	10
2.6.7. Fruto	11
2.7. Fenología	12
2.8. Requerimientos edafoclimáticos	13
2.8.1. Tolerancia a heladas.....	14
2.8.2. Tolerancia a salinidad.....	16
2.8.3. Tolerancia a sequía.....	16
2.9. Siembra	17
2.9.1. Siembra manual.....	18
2.9.2. Siembra mecánica.....	19
2.10. Labores culturales	19

2.10.1. Deshije o raleo	19
2.10.2. Control de maleza	19
2.11. Fertilización	20
2.12. Requerimientos hídricos.....	21
2.13. Plagas y enfermedades.....	22
2.13.1. Plagas	22
2.13.1.1. Polilla de la quinoa (<i>Eurysacca melanocampta</i> Meyrick)	22
2.13.1.2. Pulgón (<i>Myzus persicae</i>).....	23
2.13.1.3. Ataque de aves	23
2.13.2. Enfermedades.....	24
2.13.2.1. Mildiu (<i>Peronospora variabilis</i>).....	24
2.14. Cosecha y post-cosecha	27
2.14.1. Cosecha.....	27
2.14.1.1. Arrancado tradicional	28
2.14.1.2. Corte manual con hoz	28
2.14.1.3. Corte semi-mecanizado	29
2.14.2. Post-cosecha	29
2.14.2.1. Secado o emparve.....	29
2.14.2.2. Trilla	30
2.14.2.3. Venteo	31
2.14.2.4. Secado.....	32
2.14.2.3. Clasificación y almacenamiento	32
2.15. Usos y propiedades	33
2.16. Composición nutritiva.....	35
2.16.1. Contenido de saponinas	37
2.17. Producción de quinoa	38
2.17.1. Producción de quinoa en la Región Andina	38
2.17.2. Producción de quinoa en el mundo.....	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. Descripción del sitio experimental.....	41
3.1.1. Localización geográfica	41
3.2 Descripción del experimento.....	41

3.2.1. Diseño experimental	41
3.2.2. Tratamientos	42
3.2.2.1. Variedad Campesino	42
3.2.2.2. Variedad Kaslala	43
3.2.2.3. Variedad Bio-bio	43
3.2.2.4. Variedad Red head	44
3.2.2.5. Variedad Colorado	44
3.3. Establecimiento del experimento	45
3.3.1. Preparación del terreno	45
3.3.2. Siembra	45
3.4. Manejo del cultivo	46
3.4.1. Labores de cultivo	46
3.4.2. Riego	46
3.4.3. Fertilización	47
3.4.4. Control de maleza	48
3.4.5. Control de plagas y enfermedades	48
3.4.6. Cosecha	49
3.5. Variables agronómicas evaluadas	49
3.5.1. Días a emergencia (DDS)	49
3.5.2. Días a partir del 50% de floración (DDS).....	49
3.5.3. Días a partir del 50% de madurez fisiológica (DDS).....	49
3.5.4. Altura de planta (cm).....	49
3.5.5. Diámetro de tallo (mm)	50
3.5.6. Diámetro de panoja principal (cm).....	50
3.5.7. Longitud de panoja principal (cm).....	50
3.5.8. Peso total de panoja (gr)	50
3.5.9. Peso de grano por planta (gr).....	51
3.5.10. Porcentaje de materia seca (%).....	51
3.5.11. Relación grano/materia seca (%)	51
3.5.12. Rendimiento (ton/ha)	52
3.6. Análisis estadístico de la información.....	52
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53

4.1. Días a emergencia, días a partir del 50% de floración y días a partir del 50% de madurez fisiológica (DDS)	53
4.2. Altura y diámetro de planta (cm)	53
4.3. Diámetro y longitud de panoja principal (cm)	54
4.4. Peso total de panojas (gr)	55
4.5. Peso de semilla por planta (gr).....	56
4.6. Porcentaje de materia seca (%) y relación grano/materia seca (%)	57
4.7. Rendimiento.....	57
V. CONCLUSIONES.....	59
VI. RECOMENDACIONES	59
VII. LITERATURA CITADA	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de vitaminas en el grano de quinoa (mg/100g de materia seca)	37
Cuadro 2. Variedades de quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluadas en condiciones de campo en la región lagunera. UAAAN-UL. 2015	42
Cuadro 3. Calendario de riego aplicado durante el ciclo de cultivo, a las cinco variedades de quinoa en la región lagunera. UAAAN – UL. 2015.	47
Cuadro 4. Días de siembra a emergencia de plantas, 50% de floración y 50% de madurez fisiológica, respectivamente (DDS) de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.....	53
Cuadro 5. Altura y diámetro de tallo de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.....	54
Cuadro 6. Diámetro y longitud de panoja en etapa de madurez fisiológica de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.....	55
Cuadro 7. Peso total de panojas por planta de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.....	56
Cuadro 8. Peso de semilla de cinco variedades de quinoa evaluadas en la Comarca Lagunera. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.	56
Cuadro 9. Producción de materia seca y relación grano/materia seca de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.	57
Cuadro 10. Rendimiento de grano de cinco variedades de quinoa producidas en condiciones de la Región Lagunera. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los componentes de la quinoa: raíz, tallo, hoja, inflorescencia, flor, fruto y semilla. Fuente: FAO, 2013.....	8
Figura 2. Etapas fenológicas de la quinoa. Fuente: FAO, 2013.	12
Figura 3. Distribución de tratamientos y repeticiones del experimento.	45

RESUMEN

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), es un pseudo-cereal, nativo de la región Andina, esta ha sido cultivada desde hace aproximadamente 8000 años en una amplia gama de ambientes en Sudamérica, Norteamérica, Europa y Asia. Debido a su importante valor nutritivo y su capacidad de adaptación a un amplio rango de condiciones agroclimáticas. La quinoa se ha vuelto de gran interés a nivel mundial; ya que representa una opción alimentaria importante, además de ser una opción ante la necesidad global de seleccionar especies o genotipos capaces de producir bajo factores ambientales estresantes, como sequía, salinidad y heladas. Actualmente, no se ha logrado establecer su producción y consumo masivo, principalmente debido a la escasa difusión de sus propiedades, sin embargo, se encuentra en proceso de expansión. El experimento se llevó a cabo en la Comarca Lagunera específicamente en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna en el ciclo otoño – invierno (2014-2015). El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Se evaluaron cinco variedades: Campesino, Kaslala, Read head, Colorado y Bio-Bio, establecidas en siembra directa, con un arreglo espacial de 0.75 m entre hileras y 0.30 m entre plantas, irrigadas a través de un sistema de riego por goteo. Las variables evaluadas fueron: días a emergencia, días a partir del 50% de floración, días a partir del 50% de madurez fisiológica, altura de planta, diámetro de tallo, diámetro de panoja principal, longitud de panoja principal, peso total de panoja, peso de semilla por planta, porcentaje de materia seca, relación grano/materia seca y rendimiento. Los mejores rendimientos fueron de 3.68 ton/ha en la variedad Campesino y 2.92 ton/ha en la variedad Bio-bio, resultados que muestran que es factible la producción de quinoa en la Comarca Lagunera.

Palabras clave: Quinoa, rendimiento, variedades, adaptación, cultivo alternativo.

I. INTRODUCCIÓN

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una especie originaria de los Andes, domesticada y cultivada por distintas culturas indígenas desde tiempo inmemorable (Delgado, 2009) y ha sido cultivada en una amplia gama de ambientes en Sudamérica, Norteamérica, Europa y Asia (Bhargava y Srivastava, 2013). Cultivo subutilizado que últimamente adquirió atención por su habilidad de adaptación a condiciones ambientales extremas (Geerts *et. al.*, 2009). La planta se adapta bien a factores ambientales estresantes como sequía, salinidad y heladas (Suracheth, 2014).

La quinoa se presenta como una opción alimentaria importante, especialmente en la nutrición de la población infantil (Delgado, 2009). La planta es nutricionalmente importante por su semilla que tiene un alto contenido de proteína, abundantes aminoácidos esenciales, vitaminas, carbohidratos, minerales y antioxidantes naturales (Bhargava y Srivastava, 2013).

Ante la necesidad global de identificar cultivos que tengan el potencial de producir alimentos de calidad, la quinoa presenta un alto potencial tanto por sus bondades nutritivas como de su versatilidad agronómica para contribuir a la seguridad alimentaria de diversas regiones del planeta, especialmente en aquellos países donde la población no tiene acceso a fuentes de proteína, o donde tienen limitaciones en la producción de alimentos (FAO, 2011).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), declaró el año 2013 como “El Año Internacional de la Quinoa” (IYQ). Declaración que implica que la quinoa es reconocida alrededor del mundo como recurso alimenticio con alto valor nutritivo, que contribuye especialmente a las generaciones presentes y futuras (FAO, 2013).

La agricultura requiere aumentar su producción de acuerdo con el crecimiento de la población mundial, que ocurre al mismo tiempo que hay una disponibilidad de agua cada vez menor. En zonas con restricción hídrica se deben seleccionar especies o genotipos capaces de producir bajo condiciones de estrés (Garrido, 2013).

Por lo anteriormente mencionado, es de suma importancia realizar experimentos en la Región Lagunera donde se evalúe el comportamiento y adaptación del cultivo de quinoa.

1.1 Objetivos

Objetivo General

Evaluar la factibilidad y capacidad de producción de grano de quinoa en la Comarca Lagunera.

Objetivos específicos

- a) Evaluar el crecimiento y producción de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo las condiciones de la Comarca Lagunera.
- b) Identificar y seleccionar la variedad de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) con mayor potencial de producción bajo las condiciones de la Comarca Lagunera.

1.2 Hipótesis

La quinoa se adapta, crece y produce adecuadamente y representa una alternativa de cultivo para la Comarca Lagunera.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen e historia

El género *Chenopodium* (*Chenopodiaceae*), incluye cerca de 250 especies las cuales generalmente son plantas herbáceas anuales, que ocupan extensas áreas de América, Asia y Europa. Actualmente, tres especies importantes de *Chenopodium* se cultivan como alimento: *C. pallidicaule* Aellen y *C. quinoa* Willd en Sudamérica y *C. nuttalliae* Safford en México. Otras especies del género son conocidas porque han sido importantes fuentes de alimento silvestre en Norte América (Bhargava y Srivastava., 2013).

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo nativo de la región Andina; la mayoría de los investigadores coinciden en que la quinoa es originaria del altiplano que comparten Perú y Bolivia, ya que en dichas áreas se encuentra la mayor diversidad de plantas cultivadas y parientes silvestres (Gabriel *et. al.*, 2012). Existe evidencia que indica que la quinoa ha sido cultivada en los Andes desde hace aproximadamente 8000 años, y tiene origen cerca del lago Titicaca en la frontera entre Bolivia y Perú (Zurita-silva *et. al.*, 2014). Probablemente la quinoa fue domesticada por las antiguas civilizaciones en diferentes tiempos y zonas geográficas, incluyendo Perú, Chile y Bolivia. Actualmente, se explica su existencia, con la teoría de que los Incas diseminaron semilla a otras civilizaciones chilenas que vivían en contextos agroecológicos distintos; los cuales desde hace 5000 años aproximadamente, se encargaron de llevar a cabo las primeras etapas de domesticación de la quinoa de su forma silvestre a un cultivo domesticado. En este contexto, la quinoa ha sido sometida a diversos procesos de selección para obtener rasgos deseables, cultivarla y ser consumida por las diferentes culturas y territorios en Sudamérica (Bazile *et. al.*, 2014).

La quinoa fue durante miles de años el principal alimento de las culturas antiguas de los Andes (Bioversity International *et. al.*, 2013), esta población

cosechaba y consumía la quinoa de forma similar a los cereales, aunque también utilizaban sus hojas como hierbas para cocinar (Kole, 2007).

Este cultivo tuvo un papel importante en el Imperio Inca, sin embargo, cultivos como el trigo y cebada, los cuales fueron introducidos en América por los españoles, sustituyeron parcialmente la quinoa después de la conquista española. Sin embargo, en los cultivos introducidos se ha reportado reducción de rendimiento, provocado por el estrés abiótico; a diferencia de estos, los cultivos nativos como la quinoa tienen pérdida mucho menor en las mismas condiciones adversas (Zurita-silva *et. al.*, 2014).

Existió un descenso en la producción de quinoa, debido a que los españoles pagaban incentivos a los agricultores para que sembraran los cultivos que ellos introdujeron durante la conquista, en lugar de producir quinoa. La migración de campesinos a zonas urbanas y aumento de la dependencia de alimentos importados fue otro factor que contribuyó al descenso de producción de este cultivo andino (Kole, 2007).

Sin embargo, a mitad de los años 70's, sus características nutricionales fueron descubiertas y su popularidad comenzó a incrementar. Los países andinos establecieron pequeños, pero efectivos, programas de mejoramiento, de los cuales surgieron nuevas variedades (Kole, 2007). Y así, de ser un cultivo abandonado pasó a ser el mayor cultivo de exportación de las naciones andinas de Bolivia y Perú en los últimos 20 años (Bhargava y Srivastava, 2013).

2.2. Ecotipos

Debido a la existencia de adaptaciones particulares de quinoa en diferentes zonas a lo largo de los Andes, es que se reconocen cinco ecotipos asociados a sub-centros de diversidad. Estos corresponden a: quinoa de los valles interandinos

(Colombia, Ecuador y Perú), quinoa del altiplano (Perú y Bolivia), quinoa de las Yungas (Bolivia), quinoa de los salares (Bolivia, Chile y Argentina) y quinoa de la costa o de nivel del mar (Chile) (Fuentes *et. al.*, 2009).

2.3. Distribución geográfica

Desde hace miles de años, la quinoa se ha cultivado en gran parte de la región andina de Perú, Bolivia y otros países de Sudamérica. Sin embargo, no se ha logrado establecer su consumo masivo, principalmente debido a la escasa difusión de sus propiedades, las que permitirían suplir algunas de las necesidades nutricionales de la población (Huaman *et. al.*, 2014).

Actualmente, debido a su importante valor nutritivo y su capacidad de adaptación a un amplio rango de condiciones agroclimáticas (Stikic *et. al.*, 2012), la quinoa se ha vuelto de gran interés a nivel mundial, especialmente en los países que se encuentran en desarrollo (Rodríguez e Islas, 2009). La quinoa se encuentra en proceso de expansión ya que representa una alternativa para mejorar las condiciones de vida de la población de los Andes y del mundo moderno (Bioversity International *et. al.*, 2013). En los últimos años, en Bolivia la producción de quinoa se ha incrementado debido a una mayor demanda del mercado y un aumento del precio, lo cual enfatiza la necesidad de producir este cultivo en otras partes del mundo (Stikic *et. al.*, 2012). Se han realizado esfuerzos en diversos países para introducir la quinoa como un cultivo alternativo, reportándose adaptaciones exitosas de esta especie en Europa, Norte América, África e India (Zurita-Silva *et.al.*, 2014). La quinoa ha sido probada en diversas regiones climáticas de Estados Unidos, Canadá, India, Inglaterra, Dinamarca, Grecia, Italia y otros países europeos (Stikic *et. al.*, 2012).

Se ha cultivado en Colorado (USA) con fines comerciales desde 1980; y se ha considerado un cultivo prometedor en el norte de Europa, de igual manera se han

desarrollado estudios de patrones y estabilidad de líneas de quinoa de diferentes ciclos de madurez y se concluye que las líneas que provienen de Chile son las que mejor se adaptan a las condiciones del norte de Europa (Dinamarca), aunque pueden ser cultivadas en latitudes del sur (Zurita-Silva *et. al.*, 2014).

2.4. Importancia

Actualmente, la quinoa ha cobrado gran interés internacional, debido a que es el único alimento vegetal que posee proteínas de calidad, 21 aminoácidos que están presentes en cantidades próximas a los estándares establecidos por la FAO, considerados como esenciales para la alimentación humana, no tiene colesterol, no forma grasas en el organismo, no engorda y es recomendada para personas celiacas y aquellas con complicaciones anti-inflamatorias y cicatrizantes (Vargas, 2013).

La quinoa es consumida en pan, pastas, galletas, bebidas, etc., tiene un alto contenido de proteína, pero lo que es más importante es la calidad de este contenido, ya que contiene gran cantidad de aminoácidos esenciales y un amplio rango de vitaminas (A, B₂, E) y minerales (Ca, Fe, Cu, Mg, Zn). Muchos agricultores coinciden en que la quinoa es un cultivo rentable, lo cual ha incrementado su demanda en el mundo. La quinoa es conocida como uno de los cultivos más resistentes a la sequía, el cual además tiene un alto nivel de tolerancia a salinidad, enfermedades y plagas (García *et. al.*, 2003).

Adicionalmente, la quinoa puede crecer y desarrollarse bajo diferentes condiciones de estrés como temperaturas extremas y suelos pobres, condiciones en las cuales otros cultivos no podrían desarrollarse (Carciochi *et. al.*, 2014). La variabilidad genética de la quinoa es enorme, con variedades adaptadas a crecer en condiciones de zonas montañosas hasta climas subtropicales, lo cual hace posible

la selección, adaptación y mejoramiento de este cultivo para un amplio rango de condiciones ambientales (Stikic *et. al.*, 2012).

Este cultivo con tolerancia natural a salinidad y condiciones de sequía, es una opción excelente para mejorar la diversificación de producción de cultivos, así como las condiciones económicas, en regiones donde la producción de cultivos es limitada por sequía, suelo de baja calidad o por las condiciones de crecimiento poblacional cada vez más inestable (Bendevis *et. al.*, 2014).

2.5. Descripción taxonómica

La quinoa es una especie que se clasifica en la división Angiospermas, clase Dicotilédoneas, orden Centrospermales, familia Chenopodiáceas, género *Chenopodium*, sección *Chenopodia* y subsección *Cellulata* (Wilson, 1980).

2.6. Descripción botánica

La quinoa es un grano diploide ($2n = 36$) (Belton, 2002). Es una planta anual, dicotiledónea, usualmente herbácea, que alcanza una altura de 0,2 a 3,0 m. Las plantas pueden presentar diversos colores que van desde verde, morado a rojo y colores intermedios entre estos (FAO, 2011).

2.6.1. Planta de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

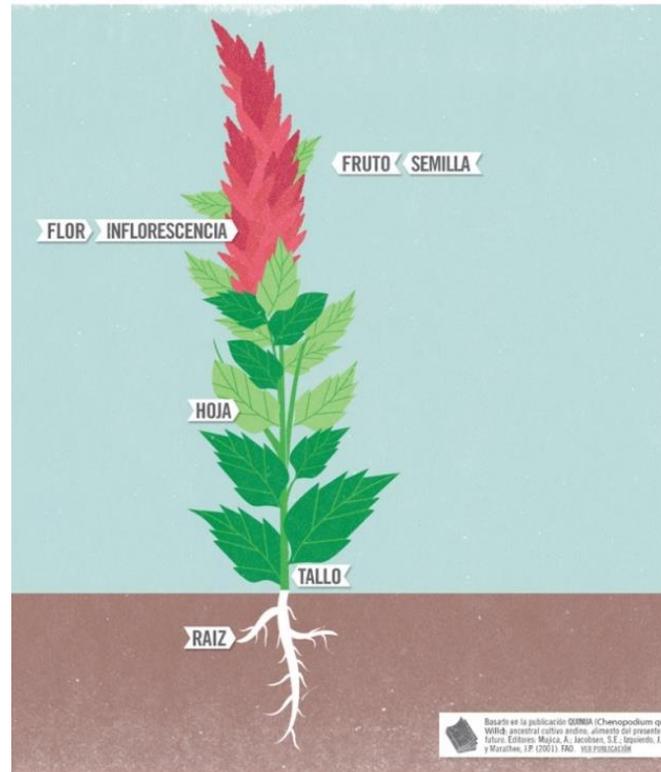


Figura 1. Esquema de los componentes de la quinoa: raíz, tallo, hoja, inflorescencia, flor, fruto y semilla. Fuente: FAO, 2013.

2.6.2. Raíz

La germinación de la quinoa se inicia a las pocas horas de tener humedad, alargándose primero la radícula que continúa creciendo y da lugar a una raíz pivotante vigorosa que puede llegar hasta 30 cm de profundidad. A partir de unos pocos centímetros del cuello, empieza a ramificarse en raíces secundarias, terciarias, etc., de las cuales salen las raicillas que también se ramifican en varias partes. Algunas raicillas son excesivamente tenues y largas, como un cabello de más de 5 centímetro de longitud (Gandarillas y Tapia, 1979).

La raíz profunda y su ramificación puede ser una de las razones para el alto grado de resistencia a la sequía (Bavec y Bavec, 2007).

2.6.3. Tallo

El tallo principal puede ser ramificado o no, depende del ecotipo, raza, densidad de siembra y condiciones del medio en que se cultiven, es de sección circular en la zona cercana a la raíz, transformándose en angular a la altura de las ramas y hojas (FAO, 2011). La parte exterior del tallo y ramas puede ser verde, rojo, amarillo, con diferentes franjas de color, o verde con ramas de color rojo o morado (Bavec y Bavec, 2007).

2.6.4. Hojas

Las hojas son alternas formadas por peciolo y lámina, los peciolos son largos, finos y acanalados en su parte superior y de longitud variable dentro de la misma planta (FAO, 2013). Las hojas son de carácter polimórfico en una sola planta; las basales son grandes y pueden ser romboidales o triangulares, mientras que las hojas superiores generalmente alrededor de la panoja son lanceoladas. Su color va desde el verde hasta el rojo, pasando por el amarillo y violeta, según la naturaleza e importancia de los pigmentos. Son dentadas en el borde pudiendo tener hasta 43 dientes. Contienen además gránulos en su superficie dándoles la apariencia de estar cubiertas de arenilla. Estos gránulos contienen células ricas en oxalato de calcio y son capaces de retener una película de agua, lo que aumenta la humedad relativa de la atmósfera que rodea a la hoja y, consecuentemente, disminuye la transpiración (FAO, 2011).

El área foliar depende de la posición de las hojas en la planta, genotipo, y densidad de población. El rango de área foliar para hojas intermedias va de 19 a más de 50 cm², y entre 3 y 10 cm² para hojas superiores (Bavec y Bavec, 2007).

2.6.5. Inflorescencia

Es una inflorescencia racimosa (panoja) la cual puede ser de diferente color (Bavec y Bavec, 2007); se denomina panoja por tener un eje principal más desarrollado, del cual se originan los ejes secundarios y en algunos casos terciarios (FAO, 2011). El eje principal está más desarrollado que los secundarios, esta puede ser laxa (amarantiforme) o compacta (glomerulada), existiendo formas intermedias entre ambas (FAO, 2013). En las amarantiformes, los grupos de flores se originan de axilas secundarias, y en las glomeruladas, se originan de axilas terciarias (Bavec y Bavec, 2007).

Las flores están agrupadas para formar la inflorescencia (Zurita *et.al.*, 2014); la longitud de esta es variable, esto depende de los genotipos, tipo de quinoa, lugar donde se desarrolla y condiciones de fertilidad del suelo, alcanzando de 30 a 80 cm de longitud por 5 a 30 cm de diámetro, el número de glomérulos por panoja varía de 80 a 120 (FAO, 2013).

2.6.6. Flor

Las flores son pequeñas, incompletas, sésiles y desprovistas de pétalos (FAO, 2013). La quinoa es ginomonoica, posee gran número de flores, las cuales pueden ser de tres tipos: hermafroditas, femeninas (pistiladas) y androestériles (Zurita-Silva *et.al.*, 2014).

El tamaño de las flores hermafroditas varía de 2 a 5 mm (Bavec y Bavec, 2007), está constituida por un perigonio sepaloide de cinco partes, el gineceo con un ovario elipsoidal con dos o tres ramificaciones estigmáticas rodeadas por el androceo formado por cinco estambres curvos y cortos y un filamento también corto (Bavec y Bavec, 2007).

Las flores femeninas pueden crecer hasta 3 mm (Bavec y Bavec, 2007), y esta sólo se compone del perigonio y gineceo (Gandarillas y Tapia, 1979). En el proceso de polinización las flores permanecen abiertas un período aproximado de 5 a 7 días (Tuisima y Fernández, 2014).

2.6.7. Fruto

El fruto es un aquenio, puede tener forma cónica, cilíndrica o elipsoidal, este se divide en varias capas: perigonio, pericarpio y episperma (Tuisima, 2014).

El perigonio envuelve a la semilla por completo, a la madurez este se desprende con facilidad (FAO, 2013) y tiene forma estrellada; los diferentes colores de las inflorescencias son causados por la coloración del perigonio (Gandarillas y Tapia, 1979).

El pericarpio del fruto está pegado a la semilla, presenta alveólos y en algunas variedades se puede separar fácilmente (Tapia, 1979); en este es donde están concentradas las saponinas las cuales le transfieren el sabor amargo (Tuisima y Fernández, 2014).

El episperma cubre a la semilla en forma de una membrana delgada, este es almidonoso de color blanco (Gandarillas y Tapia, 1979).

2.6.8. Semilla

La semilla varía en peso de 1 a 6 mg y en tamaño de 1 a 2.6 mm, y puede ser afilada, cónica, cilíndrica o elipsoidal, generalmente posee bordes afilados, sin embargo, puede tener bordes redondos, puede ser de color amarilla, roja, púrpura, café, negra o blanca, el color está determinado por el pericarpio, o por el episperma cuando el pericarpio es traslúcido (Bavec y Bavec, 2007). Sin embargo, en el grano beneficiado o lavado solamente se diferencia tres colores que es el

blanco, rojo y negro; el mercado de exportación prefiere la quinoa perlada que es el grano lavado de color blanco (Vargas, 2013).

La semilla contiene al embrión, el cual está formado por los cotiledones y radícula, y constituye la mayor parte de la semilla (Gandarillas y Tapia, 1979).

El número de semilla por panoja puede ser de 100 a 3000, encontrando panojas grandes que rinden hasta 500 gramos de semilla por inflorescencia (FAO, 2013).

2.7. Fenología

Se describe dos etapas fenológicas en el ciclo de cultivo de la quinoa (Bavec y Bavec, 2007):

Etapa Vegetativa: germinación de semilla y emergencia de plántula, formación de hojas verdaderas (dos, cuatro o 6 hojas verdaderas), y ramificación.

Etapa reproductiva: formación de brotes, panojamiento, anthesis (inicio, 50% y 100% de floración) y formación y madurez de semilla.

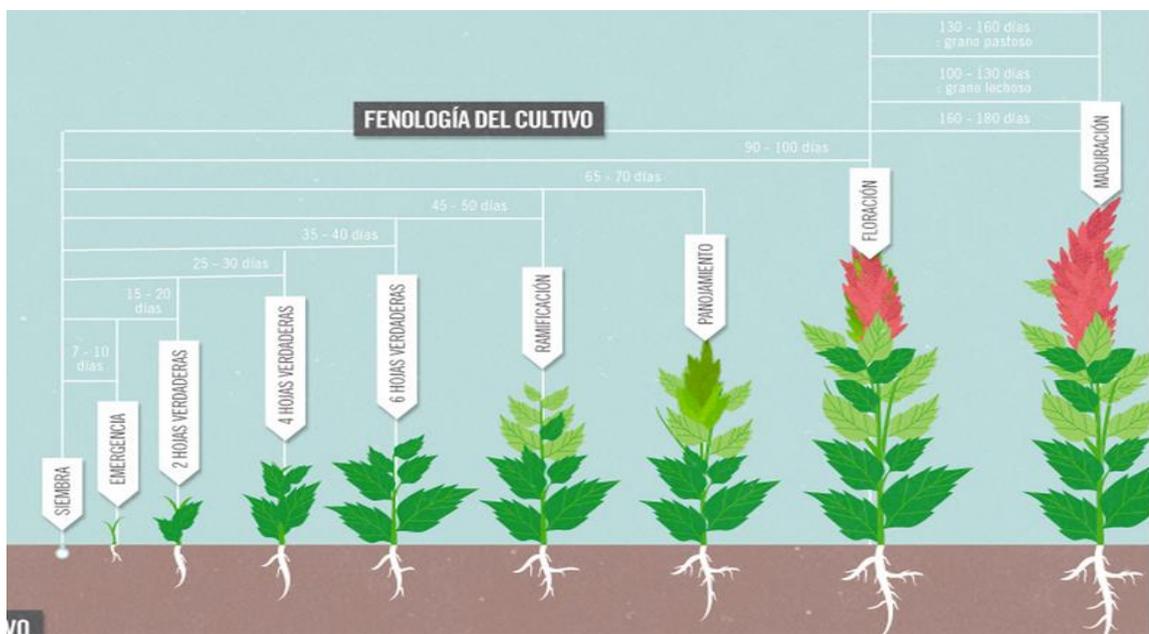


Figura 2. Etapas fenológicas de la quinoa. Fuente: FAO, 2013.

De siembra a cosecha, el ciclo puede durar de 120 a 240 días, dependiendo del genotipo y de las etapas de crecimiento la etapa desde dos hojas verdaderas a formación de brotes puede durar entre 41 y 89 días; de formación de brotes a antesis puede durar entre 7 a 53 días; y de antesis a madurez puede durar de 64 a 137 días. La duración entre la etapa de hojas verdaderas y formación de brotes y la etapa de formación de semilla y madurez, requieren mayor período de tiempo (Bavec y Bavec, 2007).

2.8. Requerimientos edafoclimáticos

La zona de origen de quinoa es compleja y variada en factores ambientales que afectan tanto la calidad como rendimiento de los cultivos presentes en ellas, y como consecuencia se observa una alta variabilidad genética (Garrido, 2013), que le permite adaptarse a diferentes ambientes (Bhargava y Srivastava, 2013). Las condiciones climáticas extremas en donde ha evolucionado la quinoa, parecen haber contribuido a los altos niveles de tolerancia que tiene la quinoa en cuanto a heladas, salinidad, sequía y otras condiciones adversas (Zurita-Silva *et.al.*, 2014).

Su gran diversidad incluye la adaptación a las condiciones ambientales de origen, tales como un gradiente de condiciones edafoclimáticas y un amplio rango de altitudes desde el nivel del mar hasta los 4,000 m sobre el nivel del mar, precipitación anual que oscila entre los 2,000 mm a la aridez extrema, condiciones climáticas desde tropical a árido frío, (Bazile *et. al.*, 2014) y humedad relativa de 40% a 88% (Suracheth, 2014).

Se adapta a una enorme variabilidad de suelo y disponibilidad de nutrientes (Bazile *et. al.*, 2014), se puede producir en suelo arcilloso o arenoso, sin embargo, se desarrolla mejor en suelo franco-arenoso ó arcillo-arenoso, que sean semi-profundos, con buen drenaje y nutrientes suficientes. Cabe mencionar que

frecuentemente la quinoa se cultiva en suelos ácidos, de baja fertilidad y mal drenaje (Bavec y Bavec, 2007).

La quinoa se puede producir en un amplio rango de pH (Zurita-Silva *et.al.*, 2014). En suelo con pH de entre 4.5 hasta 9.5 se puede obtener producción aceptable (Bavec y Bavec, 2007).

La temperatura entre 15 a 20°C es ideal para que la quinoa se desarrolle (Tuisima y Fernández, 2014), sin embargo, tolera un amplio rango de temperatura desde -8 a 38°C (Bhargava y Srivastava, 2013). Puede crecer apropiadamente con temperatura debajo de -5°C, y tolera temperatura hasta de -16°C durante la etapa vegetativa, antes de la formación del botón floral. En etapa de floración tolera temperatura hasta -8° C (Zurita-Silva *et.al.*, 2014).

La mayoría de las variedades de quinoa, particularmente aquellas con gran tolerancia a sequía y salinidad, son de fotoperíodo de día corto; y muestran sensibilidad durante la formación de grano a fotoperíodos de más de 12 horas (Bendevis *et. al.*, 2014). La quinoa también puede adaptarse a períodos de día neutro (Zurita-Silva *et.al.*, 2014).

2.8.1. Tolerancia a heladas

El impacto de frío y heladas en la fisiología vegetal y desarrollo, es crucial en muchos aspectos como germinación de la semilla, aparición de la hoja, relaciones hídricas de las plantas, cambios bioquímicos, acumulación de biomasa y división celular; este impacto depende , en parte, de las condiciones ambientales tales como intensidad y duración de heladas, y por otra parte, de la planta, su fisiología, etapa fenológica, y aclimatación a heladas que haya tenido la variedad (Bois *et. al.*, 2006).

La quinoa puede resistir temperatura mínima en diferentes etapas de su desarrollo, de esto se puede determinar su adaptación a zonas agroecológicas específicas, en la etapa vegetativa desde cinco hojas verdaderas no sufre daños por heladas, pero en formación de brotes y antesis si es susceptible (Jacobsen *et. al.*, 2005). Las variedades muestran 100% de germinación incluso con temperatura de 2°C y no muestran efectos serios en la planta con temperatura cercana a los -3°C. Este mecanismo de tolerancia parece deberse a que tolera la formación de hielo en la pared celular y su posterior deshidratación, sin sufrir daños (Bhargava y Srivastava, 2013).

El crecimiento de la quinoa es poco afectado por temperatura abajo de -5°C, ya que en campo se ha observado que hay variedades que resisten heladas de -14°C e incluso de -16°C en etapa vegetativa (Bois *et. al.*, 2006).

Es bien conocido que la quinoa tiene resistencia a heladas, sin embargo, se conoce poco acerca del mecanismo específico que determina esta resistencia; esta resistencia muestra que la quinoa es más susceptible a heladas en la etapa de antesis, y que el frío seco causa más daño que el frío húmedo. Se ha encontrado que un mayor nivel de azúcares solubles implica una mayor tolerancia a heladas, lo cual resulta en un mayor rendimiento (Jacobsen *et. al.*, 2007). La presencia de azúcares solubles, como fructuosa, sacarosa y la proteína dehidrina, son indicadores de tolerancia a heladas (Bhargava y Srivastava, 2013).

Un rasgo característico de esta especie se encuentra en las vesículas epidérmicas que forman una especie de capa, principalmente en las hojas jóvenes y brotes, no se sabe si esta característica está relacionada con la notable resistencia al frío de la quinoa, pero la pérdida progresiva de estas vesículas en hojas maduras podrían explicar la expresión diferencial de la resistencia a heladas entre las hojas jóvenes y maduras (Bois *et. al.*, 2006).

2.8.2. Tolerancia a salinidad

La quinoa es una especie halófila que tiene una inusual tolerancia a salinidad, algunas variedades muestran una extraordinaria resistencia a sales durante la germinación. Muchas variedades de este cultivo pueden desarrollarse en concentraciones tan altas como las que se encuentran en el agua de mar (40 mS/cm) e incluso mayores, por encima del umbral para cualquier especie de cultivo conocida (Yuda *et. al.*, 2010). Esta característica hace a la quinoa un cultivo atractivo para las regiones donde se han detectado problemas de salinidad (Bhargava y Srivastava, 2013).

Este cultivo tiene varios mecanismos los cuales hacen que tenga una aclimatación exitosa en entornos salinos. En la etapa de cotiledones, la adaptabilidad a salinidad probablemente se debe a una mejora en el control metabólico basado en absorción de iones, acumulación de osmolitos y regulación osmótica. La quinoa, además, acumula iones de sales en sus tejidos y de este modo ajusta el potencial hídrico foliar, permitiendo a la planta mantener la turgencia celular, limitando la transpiración bajo condición salina (Bhargava y Srivastava, 2013).

2.8.3. Tolerancia a sequía

La quinoa posee una capacidad innata excepcional para hacer frente a la escasez de agua en base a su bajo requerimiento de agua intrínseco, y capacidad de reanudar rápidamente su nivel fotosintético anterior y su área foliar específica después de un período de sequía (Bazile *et. al.*, 2014).

Esta característica se atribuye a aspectos morfológicos tales como profundidad radicular, sistema radicular ramificado, reducción de área foliar a través de defoliación, pequeñas y gruesas células adaptadas a mayor pérdida de agua, y la presencia de cristales de oxalato de calcio las cuales son higroscópicos y reducen la transpiración (Bhargava y Srivastava, 2013).

Las características fisiológicas que contribuyen a esta tolerancia incluye: bajo potencial osmótico, baja proporción de peso entre turgencia/plasmólisis celular, habilidad para mantener la turgencia celular, incluso a bajo potencial hídrico foliar. Se ha observado que la conductancia estomática permanece relativamente estable con un bajo y continuo intercambio gaseoso en condiciones de sequía extrema y de bajo potencial hídrico foliar. La quinoa mantiene una alta eficiencia en el uso del agua para compensar la disminución de la conductancia estomática y, por lo tanto optimiza la ganancia de carbono con una mínima pérdida de agua (Bhargava y Srivastava, 2013).

Además, la quinoa puede escapar de la sequía mediante precocidad (es decir, genotipos tempranos), lo cual es importante en áreas donde el riesgo de sequía aumenta hacia el final de la temporada de crecimiento (sequía terminal) (Bazile *et al.*, 2014).

2.9. Siembra

La siembra es una de las actividades de mayor importancia porque de esta labor depende la emergencia de plántulas que tendrá incidencia en la densidad de plantas por superficie cultivada y sobre el rendimiento a obtener (FAO, 2011). La germinación de la semilla es un punto importante el cual se puede ver afectado por condiciones adversas, surcos heterogéneos, suelo mal preparado, baja temperatura del suelo y deficiente calidad de semilla, alguno de estos factores puede causar reducciones en el rendimiento (Jacobsen, 2003). Generalmente la quinoa está sembrada en sistemas de policultivos y en muy pocas ocasiones se encuentra como monocultivo (Peralta y Mazón, 2014).

La siembra de este cultivo se realiza en diferentes épocas, dependiendo del lugar a sembrarse, características de la variedad y humedad del suelo, factores importantes que determinan el tipo de siembra manual o mecánica. En el Altiplano

Sur la siembra del cultivo de la quinoa se realiza desde fines de agosto hasta mediados de diciembre, mientras que el Altiplano Centro y Norte la época de siembra es entre los meses de octubre y noviembre, dependiendo de las lluvias (FAO, 2011).

En siembra, generalmente, las condiciones óptimas son sembrar a una profundidad de 1 a 2 cm, en un suelo homogéneo, de estructura fina, con un suelo con temperatura aproximada de 8 a 10°C. El suelo debe de estar libre de maleza al momento de la siembra, ya que no se pueden utilizar herbicidas posteriormente para su control. Si se siembra a una distancia entre hileras de 25 a 50 cm, se puede utilizar la escarda mecánica para el deshierbe (Jacobsen, 2003).

2.9.1. Siembra manual

La siembra tradicional o manual, es una labor que aún se práctica tanto en el Altiplano como en los Valles Interandinos (FAO, 2011). En este sistema, el suelo es preparado con una herramienta llamada liukana o tankana, con la cual se remueve total o parcialmente la superficie del suelo, dependiendo esto del área de producción. La siembra se puede realizar en hilera, voleo o en trasplante, el espaciamiento entre surcos es preferible entre 25 a 50 cm ya que facilita su manejo. Es preferible tener un suelo nivelado, con buen drenaje y bien preparado para favorecer el desarrollo de quinoa. Las semilla debe ser sembrada a una profundidad de 1 a 2 cm (Tuisima y Fernández, 2014).

En el Altiplano Centro y Norte la siembra se realiza en surcos y la distribución de semilla se realiza a chorro continuo o al voleo, por lo general la distancia entre surco es de 50 cm. En el Altiplano Sur luego de abrir el hoyo con la liukana hasta alcanzar tierra húmeda se deposita la semilla e inmediatamente se cubre con tierra la distancia entre hoyo a hoyo varía de 1 a 1,20 m y entre los surcos también varía de 1 a 1,20 m. En ambos sistemas de siembra el rendimiento es muy bajo (FAO, 2011).

2.9.2. Siembra mecánica

La siembra mecánica la lleva a cabo al menos el 70% de las familias y se realiza con sembradora. La distancia entre cuchillas puede ajustarse a una distancia entre 0.8 a 1 m, la semilla es depositada por impacto, también a una distancia de entre 0.8 a 1 m (Tuisima y Fernández, 2014).

Este sistema de siembra es eficiente en terrenos nivelados y uniformes, producto de un buen barbecho: asimismo, se debe aplicar en suelo cuya humedad debe estar a una profundidad de 10 a 15 cm (FAO, 2011).

2.10. Labores culturales

2.10.1. Deshije o raleo

La quinoa sembrada al voleo no permite un buen laboreo después de la siembra, salvo la práctica denominada «jaleo» que consiste en pasar la surcadora distanciada en surcos de cuatro a cinco metros cuando las plantas tienen unos 30 cm de alto y que facilita, además de raleo, crear espacios en forma de canales que sirven para un mejor drenaje. Esta práctica muestra excelentes resultados con plantas más vigorosas y reduce el riesgo de un exceso de humedad. En la siembra por surcos (40-60 cm), se puede hacer un ligero aporque así como raleo el número de plantas por metro lineal, si existe un exceso de población (Tapia y Fries, 2007).

2.10.2. Control de maleza

Se recomienda deshierbar dos veces durante su ciclo vegetativo. El primero, cuando las plántulas tengan un tamaño de 15 a 20 cm, o cuando hayan transcurrido 30 días después de la emergencia; el segundo, antes de la floración, o cuando hayan transcurrido 90 días después de la siembra. Cuando se encuentra maleza entre las plantas de quinoa (en la hilera o surco), se eliminan manualmente al momento del raleo. En caso de que la maleza se ubique entre los

surcos o hileras (que deben tener una separación de 0.60–0.90 m), se eliminan con ayuda de alguna herramienta manual como pico ó azadón, yuntas o tractor (Flores *et. al.*, 2010).

En casos de siembra extensa, definitivamente, el control mecanizado es el más recomendado, por la menor cantidad de uso de mano de obra. Para ello, se emplean cultivadoras de dos o tres rejas; en general, se recomienda no utilizar control químico de maleza, porque las plantas son muy sensibles a los productos químicos (Flores *et. al.*, 2010).

2.10.3. Aporque

El aporque es necesario ya que evita el acame de las plantas, algunas variedades de quinoa crecen en forma exuberante y requieren acumulación de tierra para mantenerse en pie y sostener las enormes panojas que desarrollan. También, permite a las plantas resistir los fuertes vientos, sobre todo en las zonas ventosas o de fuertes corrientes de aire. El aporque se realiza en forma manual con picotas o herramientas parecidas, también con yunta o tractor. Esta actividad permite dar mayor fijación a las plantas y controlar la maleza entre surcos (Flores *et. al.*, 2010).

2.11. Fertilización

El sistema tradicional consiste en sembrar quinoa en asociación con otros cultivos, principalmente con maíz, papa o haba, en líneas cruzadas por la parcela de estos cultivos o en los contornos de las mismas, o también en parcelas muy pequeñas de monocultivo. La quinoa se produce sin aplicar fertilizantes. Sin embargo, en sistemas de producción semi- intensivo y tecnificado, si se aplican fertilizantes (Jacobsen y Sherwood, 2002).

En la práctica, los campesinos no fertilizan la quinoa, esta aprovecha los nutrientes aplicados al cultivo anterior que es generalmente la papa. Sin embargo se recomienda aplicar al menos 5 t/ha de estiércol de corral, con mayor razón cuando se siembra después de un cereal o se repite quinoa (Tapia y Fries, 2007).

Estudios realizados en Perú han encontrado que con una precipitación mayor de 600 mm, la quinoa responde en forma significativa a niveles de 80 a 120 kg de nitrógeno y 60 a 80 kg de fósforo. La dosis de potasio es hasta 80 kg/ha en suelo deficiente de este elemento, lo que muy rara vez se presenta en suelo de los Andes. También se ha calculado que por cada kg de nitrógeno por hectárea (hasta un nivel de 120 kg/ha), la producción de quinoa se eleva en 16 kg/ha, lo cual, a los actuales precios de los fertilizantes y del grano, hace rentable la fertilización nitrogenada. Se ha encontrado además que existe una buena respuesta a la aplicación fraccionada del nitrógeno, mitad a la siembra y mitad a los 50 días de emergencia (Tapia y Fries, 2007).

2.12. Requerimientos hídricos

El cultivo de quinoa tiene un requerimiento de agua mínima durante las dos primeras semanas del cultivo con 2.8 mm día^{-1} , el requerimiento de agua aumenta en 5 a 8 semanas después de la siembra con 4.21 mm día^{-1} , los mayores requerimientos de agua por parte del cultivo se presentan durante las etapas de floración y grano lechoso con 4.54 y 4.71 mm día^{-1} , respectivamente (Condori, 2008).

Una precipitación anual entre 80 y 2000 mm contribuye a un buen desarrollo del cultivo, sin embargo, tiene gran potencial de adaptación a distintas zonas con diferente rango de precipitación anual (Zurita-Silva *et.al.*, 2014).

2.13. Plagas y enfermedades

La producción de quinoa es afectada por diversos factores abióticos (heladas, sequía, granizadas, etc.) y bióticos (plagas y enfermedades) (Gabriel *et al.*, 2012).

2.13.1. Plagas

Las plagas de mayor importancia económica es la polilla de la quinoa (*Eurysacca melanocampta* Meyrick) y lepidópteros como: *Copitarsia turbata*, *Feltia* sp. *Heliothis titicaquensis*, *Spodoptera* sp; ya que pueden causar pérdidas de 5 hasta 67 %, con un promedio de 33.37 % en el Altiplano Sur y entre 6 a 45% en el Altiplano Centro, con un promedio de 21.31% (Tuisima y Fernández, 2014).

2.13.1.1. Polilla de la quinoa (*Eurysacca melanocampta* Meyrick)

La polilla de la quinoa es la plaga que más ataca al cultivo de quinoa en los Andes (Costa *et al.*, 2009). El adulto es una polilla pequeña de aproximadamente 8 a 9 mm de longitud y 14 a 16 mm de expansión alar. Se alimenta del néctar de las flores y no causa daño al cultivo de quinoa (FAO, 2011).

Las hembras colocan sus huevos sobre las hojas antes de que inicie la floración de la planta (ya cuando los granos están desarrollados) (FAO, 2011). Los huevos son diminutos, miden de 0,4 a 0,5 mm de longitud, su forma es subglobular, de superficie lisa, de color blanco cremoso en el momento de la oviposición y blancos cenizos dos días antes de la eclosión de las larvas (Costa *et al.*, 2009).

Las larvas atacan al cultivo en dos generaciones: en la primera generación (noviembre y diciembre), minan y destruyen las hojas e inflorescencias en formación, pegan las hojas tiernas de los brotes y las enrollan y, en la segunda generación (marzo y mayo), las larvas atacan plantas en la fase de maduración,

se alimentan de los granos en formación y maduros en el interior de las panojas. En ataques severos el grano es pulverizado, apareciendo un polvo blanco alrededor de la base de la planta. Esta segunda generación ocasiona los mayores daños económicos al cultivo de la quinoa (FAO, 2011).

La preferencia de la hembra para alimentarse de una planta o para colocar sus huevos se determina por las características que la planta presente, tales como: calidad y cantidad de nutrientes (néctar, polen, aminoácidos, entre otros), los compuestos volátiles, metabolitos secundarios, fenología, dureza del tejido y los mecanismos de defensa. La selección de estas características le sirve a la hembra para alimentarse correctamente y probar las condiciones adecuadas que permitan el desarrollo de su descendencia (Costa *et. al.*, 2009).

2.13.1.2. Pulgón (*Myzus persicae*)

Estos insectos son pequeños, miden de 1 a 4 mm de longitud; su cuerpo, blando y globoso; y pueden tener alas o no. En el abdomen, tienen apéndices llamados sifones. Su color es variado, pudiendo ser verde claro, verde oliva o verde oscuro. Es complicada la biología de este insecto por ser sexual y asexual. Puede tener de 5 a 8 generaciones por año. Causan daños directos (succión de la savia de las hojas, los brotes, de tallos tiernos o inflorescencias) e indirectos (transmisión de enfermedades por virus) en las plantas de quinoa. Se les encuentra en colonias en ataques severos, causando la muerte de la planta por su debilitamiento y marchitez; esto se produce sobre todo en lugares con alta temperatura y poca humedad (Flores, *et.al.*, 2010).

2.13.1.3. Ataque de aves

Las aves ocasionan daños durante los primeros y últimos períodos vegetativos de la planta, especialmente en el estado lechoso, pastoso y de madurez fisiológica del grano. Cuando picotean la panoja, producen la caída de un

gran número de semilla por desgrane o ruptura de los pedicelos de los glomérulos. En la costa de Perú, las aves pueden destruir por completo el cultivo en el momento de la emergencia de los cotiledones. El ataque es más notorio en las variedades dulces, donde la pérdida puede alcanzar hasta un 40%, especialmente en los alrededores del lago Titicaca y en microclimas donde abundan palomas, tortolitas o «kullkus». Para disminuir esta pérdida se acostumbra contratar pajareros que ahuyentan a los pájaros con pitos y latas. También existe la tradición de colocar águilas o cernícalos disecados en sitios estratégicos, cambiándolas de ubicación a diario, con lo cual se logra controlar en cierto grado dicho ataque (Tapia y Fries, 2007).

2.13.2. Enfermedades

Las enfermedades por las cuales se ve afectada la quinoa son el mildiu, “*damping-off*”, la roya y virus del mosaico. Los virus pueden infectar a la planta, sin embargo, no se ha comprobado que causen daños significativos (Tuisima y Fernández, 2014). Las enfermedades, generalmente, no causan problemas mayores, sin embargo, todos los ciclos de producción presentan mildiu (Jacobsen, 2003).

2.13.2.1. Mildiu (*Peronospora variabilis*)

El mildiu es la enfermedad de la quinoa que causa mayores daños a la planta. Existen variedades que sufren infecciones escalonadas o sistémicas; otras evidencian un alto grado de tolerancia o resistencia. La enfermedad se presenta en la mayoría de los lugares donde se cultiva la quinoa, por la gran diversidad genética del patógeno y su amplio rango de adaptabilidad. En condiciones de alta presión de enfermedad, reduce los rendimientos de 33 a 58% (Delgado, 2009).

La enfermedad más importante del cultivo de la quinoa es ocasionada por el oomycete *Peronospora variabilis*, anteriormente descrito como *Peronospora*

farinosa. Este es un oomiceto de fácil dispersión (viento y lluvia), durante el desarrollo del cultivo las estructuras de diseminación son principalmente las esporas; en cambio, a la senescencia o ausencia de cultivo la enfermedad se disemina mediante oosporas (estructuras de reproducción sexual) que pueden estar adheridas a la superficie del grano o en el interior del rastrojo que se queda en el campo. Por lo tanto, la diseminación a corta distancia es mediante esporas y a larga distancia bajo la forma de oospora (Gandarillas *et. al.*, 2014).

La estructura vegetativa del patógeno está constituida por hifas en las cuales se forman esporangióforos y esporangios. Las hifas son cenocíticas (sin septa) y multinucleadas, se desarrollan en los espacios intercelulares de las hojas del hospedante y proyectan haustorios que les sirven como órganos de absorción dentro de las células. El patógeno ataca principalmente la hoja formando en la cara inferior esporangióforos que miden entre 167 y 227 μm de longitud y entre 11 y 14.8 μm de diámetro. Los esporangióforos son absorbentes, dicotómicamente ramificados 4 a 5 veces en ángulo agudo y terminan en 2-3 extremos flexuosos dispuestos en ángulo recto o agudo, en los que se insertan los esporangios (Danielsen y Ames, 2004)

Cuando un esporangio cae sobre la hoja de quinoa, germina directamente produciendo un tubo germinativo, siempre que haya humedad relativa en el aire (>80%). El tubo germinativo forma en su extremo un apresorio provisto de una hifa infectiva que perfora la epidermis y después de un periodo de latencia comienza a crecer formando micelio que se desplaza por los espacios intercelulares del mesófilo. Cinco o seis días después de la penetración, durante los cuales el patógeno se ha desarrollado vegetativamente dentro del hospedante, se inicia la producción de esporangióforos que se proyectan hacia la superficie interior de la hoja a través de las estomas. Los esporangióforos, una vez que alcanza su desarrollo máximo, forman los esporangios, que son las estructuras propagativas del patógeno capaces de mantener la epidemia durante todo el ciclo en que la

planta hospedante permanece en el campo. En este momento la zona afectada muestra síntomas de la enfermedad (Danielsen y Ames, 2004).

El mildiu, principalmente, reduce el área foliar de la planta debido al desarrollo de manchas cloróticas y necróticas y causa pérdida de hojas (Danielsen *et. al.*, 2000). Sin embargo, también se pueden encontrar síntomas en tallos, ramas, inflorescencia y granos; y que los síntomas iniciales aparecen en las hojas como manchas pequeñas de forma irregular cuya coloración puede ser clorótica o amarilla, rosada, rojiza, anaranjada o parda dependiendo del color de la planta. A medida que progresa la enfermedad estas manchas se unen, la hoja se torna clorótica y posteriormente se defolia (Gandarillas *et. al.*, 2014).

La esporulación del hongo se presenta en el envés de las hojas y su abundancia está relacionada a la resistencia o susceptibilidad de las variedades (Gandarillas *et. al.*, 2014). Se conoce que la mayoría de los cultivares de quinoa del altiplano son susceptibles a la enfermedad (mildiu). Sin embargo, los cultivares de quinoa de los valles que son sembrados por los agricultores como cultivos de contorno en sus parcelas, tienen resistencia variable a la enfermedad (mildiu), sobre las cuales poco o nada se conoce (Gabriel *et al.*, 2012). En las variedades susceptibles es frecuente observar una esporulación abundante como un micelio de color grisáceo; en las variedades resistentes puede presentarse o no el micelio (Gandarillas *et. al.*, 2014).

Las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad son alta humedad relativa (>80%) y temperatura entre 18 a 22 °C, que favorecen la formación de las esporas y el crecimiento del micelio; sin embargo, estos procesos pueden interrumpirse al presentarse períodos prolongados de insolación y sequía. En zonas donde las plantas amanecen con una delgada capa de agua de rocío, es suficiente para que el patógeno pueda desarrollarse y provocar la enfermedad. También se ha observado que períodos con nubosidad, aunque no llueva, favorecen a la aparición de la enfermedad (Gandarillas *et. al.*, 2014). Su presencia

se reduce bajo condiciones de baja humedad relativa y temperatura fría (Jacobsen, 2003).

Esta enfermedad bajo condiciones de temperatura y humedad adecuadas para su desarrollo puede causar pérdidas del 100%; con el fin de controlar a la enfermedad, los agricultores han utilizado tradicionalmente fungicidas en base a metalaxil. Sin embargo, los fungicidas son costosos, requieren múltiples aplicaciones, y finalmente, pueden ser superados por razas resistentes, ya que el patógeno es, sexualmente recombinante. Además, incrementan los costos de producción y afectan a la salud de los agricultores y al ambiente (Gabriel *et. al.*, 2012).

2.14. Cosecha y post-cosecha

La cosecha y post-cosecha constituyen actividades de alta importancia en todo el proceso productivo del cultivo de quinoa. Estas actividades determinan la calidad de grano, incorporación de materia orgánica al suelo y la reducción de los costos de procesamiento. La cosecha y post-cosecha comprende las labores de corte, secado, trilla, venteo y almacenamiento del grano. Con la aplicación de buenas prácticas en estas labores se logra obtener grano que cumple los parámetros de calidad (FAO, 2011).

2.14.1. Cosecha

La cosecha es una etapa importante en el cultivo de quinoa que merece atención especial (Jacobsen y Sherwood, 2002). La época óptima para el corte de las plantas depende de varios factores como: la variedad, tipo de suelo, humedad y temperatura predominante (FAO, 2011).

La cosecha se realiza una vez que las plantas llegan a la madurez fisiológica, reconocible porque las hojas inferiores cambian de color y empiezan a caerse (Tapia y Fries, 2007), por lo general las hojas de la planta de quinoa se tornan de una coloración amarillenta o rojiza dependiendo de la variedad y en la panoja es posible ver los granos por la apertura que realiza el perigonio, también se puede reconocer esta etapa cuando al golpear suavemente la panoja con la mano, existe caída de granos (FAO, 2011), o cuando al presionar el grano con las uñas ofrece resistencia que dificulta su penetración. Para llegar a esta fase transcurren de cinco a ocho meses, según el ciclo vegetativo de las variedades (Tapia y Fries, 2007).

De acuerdo a la FAO (2011) generalmente existen tres formas de cosechar:

2.14.1.1. Arrancado tradicional

El trabajo consiste en arrancar las plantas seleccionando las panojas maduras de cada hoyo o surco, luego se procede a sacudir o golpear la parte de las raíces sobre las rodillas con el objeto de disminuir la presencia de terrones y piedrecillas. La desventaja de este método es que no deja la raíz en el suelo como materia orgánica, además contribuye a la erosión del suelo, bajando la fertilidad del mismo y favorece la mezcla del grano con la tierra e incrementa la existencia de impurezas en la trilla.

2.14.1.2. Corte manual con hoz

Consiste en cortar la planta entre 10 a 15 cm del suelo, dejando el rastrojo en el mismo suelo, lo cual ayuda a la conservación del suelo. La desventaja de este método es que no se puede practicar en suelo muy arenoso y en plantas grandes existe dificultad del corte por el grosor del tallo.

2.14.1.3. Corte semi-mecanizado

Consiste en cortar las plantas con una segadora con sierra mecánica y su aplicación se facilita cuando las plantas están distribuidas en hoyos o surcos. La ventaja de este método es que el avance de corte es rápido y se deja tallo y raíces en el suelo para la incorporación como materia orgánica.

2.14.2. Post-cosecha

Esta actividad comprende las labores de secado o emparve, trilla, venteo y almacenamiento, las cuales permiten la obtención del grano (FAO, 2011).

2.14.2.1. Secado o emparve

Consiste en acomodar las plantas en montones inmediatamente después del corte (FAO, 2011), para evitar que se malogre la cosecha por inclemencias climáticas, como lluvias o nevadas, que manchan el grano. Las plantas se mantienen en montones hasta que los granos tengan la humedad conveniente para el golpeo o trilla. Este lapso es aproximadamente de 7 a 15 días (Tapia y Fries, 2007). Existen tres formas de emparve o secado: Arcos, Taucas, y Chucus (FAO, 2011).

Arcos

Esta forma de emparve se realiza cruzando los montones de plantas en forma de x (equis) y disponiendo las panojas hacia arriba. El secado es facilitado porque existe mayor circulación de aire y las panojas están suficientemente expuestas al sol para su secado. El trabajo es un poco demoroso pero se obtiene un buen secado en menos de tres semanas.

Taucas

Consiste en formar montones o parvas de plantas, con las panojas ordenadas a un solo lado y sobre algún material que puede ser carpa o nylon. La longitud puede ser entre 10 a 15 m y una altura de 1 m, en esta modalidad puede tardar el secado un poco más, sin embargo por su concentración en un lugar facilita la labor de trilla. La desventaja de este método es que no existe uniformidad en el secado, además está expuesto a lluvia y viento.

Chucus

Son montones de plantas de quinoa, que están esparcidos en toda la parcela en forma más o menos de un cono. Los montones con las plantas se paran en forma circular y con las panojas hacia la parte superior para dar más estabilidad al chucu, se suele amarrar en la parte central con una soga. Este método facilita un secado más rápido.

2.14.2.2. Trilla

Esta labor consiste en la separación de los granos de la panoja. Existen varias formas de trilla: manual, semimecanizada, mecanizada y trilla directa (FAO, 2011).

Trilla manual

Se efectúa sacando las panojas secas de la parva; la cual se extiende sobre mantas preparadas apropiadamente para este fin. En algunos lugares, se apisona un terreno plano, formando eras, con arcilla bien apisonada, a manera de una losa liza y consistente. Luego, se procede a efectuar el golpeo de las panojas colocadas en el suelo, en forma ordenada; generalmente, panoja con panoja, cuyos golpes rítmicos permitirán desprender el grano de la inflorescencia (Flores, *et.al.*, 2010).

Trilla semi-mecanizada

En el Altiplano Sur se ha adoptado el uso de equipo motorizado (tractores, camiones, camionetas, etc.) para efectuar este método de trilla. Se extiende una carpa para colocar las plantas secas en forma paralela y longitudinal en dirección a las ruedas del motorizado. Las panojas deben quedar al interior de ambas filas para que los motorizados en varias pasadas logren separar los granos (FAO, 2011).

Trilla mecanizada

Se utilizan algunas trilladoras estacionarias, las cuales funcionan con la toma de fuerza de un tractor o con motor propio. Actualmente se emplean trilladoras de marca Triton o Turner que se han acondicionado y adaptado para la quinoa. Se está usando además la trilladora Herradina. Los resultados se pueden considerar satisfactorios. La trilladora Triton ha tenido rendimientos de 600 kg de grano trillado por hora. La utilización de la trilladora estacionaria resulta económica a partir de cinco hectáreas. Cuando se utilizan las trilladoras para evitar pérdida de grano, la quinoa debe estar bien seca y la máquina perfectamente regulada. En caso contrario, se obtiene grano sucio o se elimina el grano juntamente con la broza o jipi (cobertura de granos y tallos secundarios de la panoja) (Tapia y Fries, 2007).

2.14.2.3. Venteo

Esta labor consiste en la separación de residuos vegetales del grano comercial (FAO, 2011). En caso de trillarse por golpeo es conveniente ventear posteriormente, para eliminar los perigonios, hojas y tallos pequeños que quedan con el grano. Generalmente se efectúa en horas de la tarde para aprovechar el viento, de tal manera que los granos queden libres de paja y listos para su almacenamiento (Tapia y Fries, 2007).

También se utiliza un equipo de ventilación el cual tiene un regulador de intensidad de flujo de aire que permite separar el grano de quinoa de los residuos vegetales (FAO, 2011).

2.14.2.4. Secado

Es conveniente secar los granos al sol hasta obtener la madurez comercial, ya que si contienen mucha humedad se produce fermentación y amarillamiento, desmejorando la calidad. La humedad no debe ser mayor a 12 por ciento (Tapia y Fries, 2007).

En pruebas realizadas, con granos para consumo, se ha encontrado que la exposición al sol en tendales de cemento, mantas o carpas por 6 a 8 horas es suficiente para bajar los contenidos de humedad a niveles de 12 a 14%; siempre que la capa de grano no sea superior a 5 cm. y se realicen uno o dos movimientos o cambios de posición de las capas de grano en los tendales. Cuando la cosecha se va a destinar para semilla, no es conveniente realizar el secado por exposición directa al sol, para evitar deterioro del poder germinativo. El embrión del grano de quinoa casi no tiene protección como en otros granos y puede sufrir lesiones irreversibles, ya sea por exposición a los rayos solares, o por contacto con superficies calientes. Para evitar estos inconvenientes, se recomienda secar la semilla de quinoa a la sombra. El secado por métodos convencionales, es decir secadoras artificiales, con aire caliente forzado, se justifica cuando el volumen de cosecha a secar es grande (Flores, *et.al.*, 2010).

2.14.2.3. Clasificación y almacenamiento

La clasificación de grano debería ser una práctica habitual del agricultor, pues permite alcanzar mejores precios y oportunidades para los granos de primera

calidad, o permite disponer semilla de calidad para garantizar el éxito de futuras siembras (Flores, *et.al.*, 2010).

Para mantener la calidad del producto el almacenamiento se debe efectuar en cuartos o ambientes limpios, secos y ventilados. Se recomienda que para el embolsado del grano se utilice costales, bolsas de polipropileno nuevas o en buen estado. Las bolsas llenas deben estar apiladas en forma adecuada sobre una tarima de madera (FAO, 2011).

2.15. Usos y propiedades

La quinoa a pesar de no pertenecer a la familia de las gramíneas, se clasifica como un pseudocereal por su alto contenido de almidón y tiene relevancia por su contenido y calidad proteínica (Cerezal *et. al.*, 2007). Las proteínas que contiene son ricas en aminoácidos tales como lisina, treonina y metionina los cuales son deficientes en los cereales; también se caracteriza por su amplio contenido de minerales y vitaminas (Stikic *et.al.*, 2012), tales como: calcio, fósforo, hierro y vitamina C entre otros (Medrano y Torrico, 2009).

Por lo anteriormente mencionado, es reconocida como uno de los alimentos de origen vegetal con mayor valor nutricional, superando a muchos alimentos de origen animal superando a la carne, huevo y leche en 14 y 18 % (Medrano y Torrico, 2009).

Este grano andino según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) y la OMS (Organización Mundial de la Salud), es considerado como alimento único por su altísimo valor nutricional (Huaman *et. al.*, 2014).

Las ensaladas, sopas, panes, pastas y galletas son las principales formas de consumo de quinoa (Ahmad y Malik, 2002). Recientemente, la quinoa ha llamado la atención a las personas que padecen la enfermedad celíaca (alergia al gluten),

ya que la quinoa es libre de gluten, a diferencia de cereales como el trigo, centeno y cebada (Tuisima y Fernández, 2014).

La quinoa tiene diversos usos (Bhargava y Srivastava, 2013). Las hojas son consideradas como una de las mejores fuentes de proteína y por lo tanto tiene potencial como sustituto de proteína para alimento y forraje. Hay evidencias donde la planta entera de quinoa se ha utilizado como forraje verde para vacas, ovejas, cerdos, caballos y aves (Ahmad y Malik, 2002). Sin embargo, hasta la fecha, hay poca información disponible acerca del valor nutritivo de la planta completa (Tuisima y Fernández, 2014).

Sin embargo, en el lado negativo, el grano de quinoa contiene saponinas, estas pueden dar un sabor amargo a los alimentos y tiene implicaciones importantes con respecto a la nutrición y procesamiento de granos (Belton, 2002).

La quinoa también tiene uso en la industria farmacéutica (Bhargava y Srivastava, 2013), se utiliza para la producción de almidón, proteína, colorantes y saponina (Ahmad y Malik, 2002); tiene un alto contenido fenólico con alta actividad antioxidante, la cual incluye actividad de barrido de radicales libres, poder reductor, quelación de metal, protección de lípidos contra la oxidación, inhibición de enzimas LOX, lo cual confirma el gran potencial nutraceutico de la quinoa, el cual no sólo es relevante para inhibir la proliferación de cáncer, sino también a los procesos inflamatorios. Además, contienen compuestos polifenólicos como la quercitina, kaempferol, genisteína y flavonoides como el epigallocatequina galato (EGCG) (Huaman *et. al.*, 2014).

Según la medicina tradicional, todas las partes de la quinoa, con instrucciones específicas, se pueden utilizar contra varias enfermedades como anginas, ántrax, cistitis, herpes, etc. (Tuisima y Fernández, 2014).

2.16. Composición nutritiva

Los beneficios de la quinoa se deben a su alto valor nutricional. Su grano es una fuente rica de una amplia gama de minerales, vitaminas, aceites, antioxidantes naturales y proteínas de alta calidad que contienen cantidades abundantes de aminoácidos (Tuisima y Fernández, 2014).

Su composición proximal, en general, presenta de 10 a 18% de proteína cruda, de 4 a 8% de grasa cruda, de 54 a 64% de carbohidratos, de 2 a 5% de cenizas y de 2 a 5% de fibra cruda. Su balance de aminoácidos es mejor que en el trigo y el maíz, porque la lisina, principal aminoácido limitante, se muestra en cantidades considerables (Rodríguez-Sandoval *et. al.*, 2012). Sin embargo, su composición depende de los diferentes genotipos, condiciones de crecimiento y su efecto sobre la proporción proteína-grasa en el perispermo (Bavec y Bavec, 2007).

La calidad de la semilla es notablemente buena, con contenido de proteína que va desde 15 a 17,41% sobre una base de peso seco (Tuisima y Fernández, 2014). Con un contenido de proteína ligeramente más alto (5% aproximadamente), que en la mayoría de los cereales (Bavec y Bavec, 2007).

El contenido de carbohidratos contenidos en el grano de quinoa varía entre un 59% y 68% de almidón y un 5% de azúcares, por lo que lo convierte en una fuente ideal de energía que es liberada lentamente en el cuerpo debido a su alto contenido de fibra (Tuisima y Fernández, 2014).

El contenido de aceites varía de 1.8 a 9.5%, con un promedio de 5 a 7.2%, el cual es mayor que en maíz. El aceite de quinoa es rico en ácidos grasos esenciales (Barghava *et. al.*, 2013), específicamente ácido oleico (24,8%), ácido linoleico (52,3%), y contenido mineral (8,7 %) (Rosero *et. al.*, 2013). Tiene una alta concentración de antioxidantes tales como α -Tocoferol y γ -Tocoferol. La actividad

antioxidante de la quinoa puede ser de particular interés para investigadores médicos, ya que se necesita más información (Barghava *et. al.*, 2013).

La cantidad total de ácidos fenólicos varía desde 16,8 hasta 59,7 mg/100 g, y la proporción de ácidos fenólicos solubles varía de 7% a 61%; la cual es baja en comparación con los cereales comunes como el trigo y el centeno, pero es similar a los niveles que se han encontrado en avena, cebada, maíz y arroz (Tuisima y Fernández, 2014).

El contenido de ceniza en la quinoa (3.4%) es más alta que en el arroz (0.5%), trigo (1.8%) y otros cereales tradicionales.

El grano de quinoa contiene gran cantidad de minerales como Ca, Fe, Zn, C y Mn. El calcio (874 mg/Kg) y hierro (81 mg/Kg) contenidos en la semilla son significativamente más altos que en los cereales más utilizados. Los minerales como P, K y Mg se localizan en el embrión, mientras que el Ca y P en el pericarpio. Los abundantes minerales que contiene hacen que el grano sea de gran valor para niños y adultos, ya que los beneficia con el Ca para los huesos y el hierro para las funciones de la sangre (Barghava *et. al.*, 2013).

Existen reportes acerca del contenido vitamínico del grano de quinoa; donde se menciona contiene tiamina (0.4 mg/100g), ácido fólico (78.1mg/100g), vitamina C (16.4mg/100g), riboflavina (0.39mg/100g) y caroteno (0.39mg/100g); siendo la quinoa más rica en riboflavina, vitamina E y caroteno, que el trigo, arroz y cebada. En una porción de 100 g la quinoa aporta 0.20 mg de vitamina B₆, 0.61 mg de ácido pantoténico, 23.5 µg de ácido fólico y 7.1 µg de biotina. Estudios recientes han informado que la quinoa es rica en vitamina A, B₂ y E (Barghava *et. al.*, 2013).

Cuadro 1. Contenido de vitaminas en el grano de quinoa (mg/100g de materia seca)

Vitaminas	Rango
Vitamina A (carotenos)	0.12-0.53
Vitamina E	4.60-5.90
Tiamina	0.50-0.60
Riboflavina	0.20-0.46
Niacina	0.16-1.60
Ácido ascórbico	0-8.50

Fuente: FAO, 2011

El grano de quinoa contiene algunos compuestos anti-nutritivos tales como saponinas, fitatos, taninos, y los inhibidores de la proteasa. Los fitatos forman complejos con los minerales y son responsables de la baja utilización de fósforo (P) y la quelación de minerales divalentes, lo que disminuye la biodisponibilidad de muchos minerales esenciales. Sin embargo, la aparición de enzimas endógenas como fitasa juega un papel clave en el proceso bioquímico del P, siendo muy eficaz en la catálisis de ácido fítico, desfosforilación y liberación de calcio, hierro, zinc y otros metales (Rosero *et. al.*, 2013).

2.16.1. Contenido de saponinas

La quinoa contiene un componente no deseado en el pericarpio de su semilla, hablando desde un punto de vista nutricional; este componente es conocido como saponina. Las saponinas son un detergente soluble en agua y se encuentra dentro de las plantas en 15 formas moleculares, aproximadamente. La saponina retirada de los granos representa sustancias orgánicas naturales utilizadas en jabones, detergentes, shampoos, cosméticos, etc. Por lo tanto, estos componentes pueden evitar la contaminación del agua (Bavec y Bavec, 2007).

El primer paso en el procesamiento de granos como alimento, debe ser el lavado ya que algunas saponinas son conocidas por dañar la membrana intestinal, reducir

la ingesta de alimentos (Bavec y Bavec, 2007) y producir un sabor amargo, esta última característica se puede eliminar con un buen procesamiento del grano (lavado eficiente) (Stikic *et.al.*, 2012). Sin embargo las saponinas, reducen la cantidad de colesterol en la sangre de personas y aves (Bavec y Bavec., 2007).

Algunas saponinas aisladas, que se encuentran en muchas plantas, pueden ser utilizadas como insecticidas naturales que son inofensivas para los mamíferos (Bavec y Bavec, 2007).

Existen reportes acerca del uso de las saponinas contenidas en la quinoa contra algunas plagas agrícolas, particularmente, contra hongos, la fracción total de saponina de quinoa inhibe ligeramente el crecimiento de *Candida albicans* y recientemente se ha informado que la actividad biológica de saponinas de quinoa se puede aumentar si se tratan con sustancias alcalinas (Tuisina, 2014).

2.17. Producción de quinoa

2.17.1. Producción de quinoa en la Región Andina

La mayoría de los productores de quinoa son minifundistas, cuya condición les obliga a buscar otras fuentes de ingreso para poder subsistir, ya que aquellos provenientes de la agricultura no son suficientes para satisfacer sus mínimas necesidades (Peralta y Mazón, 2014).

La mayor producción de quinoa proviene de Bolivia y Perú, los principales proveedores. Chile y Ecuador también son productores tradicionales, aunque en menor escala (FAO, 2013).

Hasta el 2009, la exportación de este cultivo era aproximadamente de 15 000 ton y de esta cantidad el 95.3% era proveniente de Bolivia, 2.7% de Perú y el 2% de Ecuador (Tuisima y Fernández, 2014). A nivel mundial, la demanda de quinoa por su alto valor nutricional alcanza a 70000 t año⁻¹. Esta demanda de quinoa es

sostenida por más de 51 países, donde el 90% se produce en la región Andina (Gabriel *et. al.*, 2012).

En la actualidad, Bolivia cuenta con más de 47, 534 ha cultivadas y alrededor de 21, 900 ton cosechadas, de las cuales el 49% es consumida por las familias productoras, el 35% se vende en los mercados locales y el resto (3500 t) es para los mercados externos, constituyéndose así como el primer productor y exportador de quinoa en el mundo (Gabriel *et. al.*, 2012).

En Bolivia se cultivan variedades más rústicas y de un tamaño de grano atractivo que responden a la demanda del mercado, sin embargo con bajos rendimientos que en promedio no superan los 600 kg/ha. El Ecuador por su parte muestra niveles distintos de producción de la quinoa, de acuerdo a las estadísticas de la FAO y en los años analizados, la producción es variable y está alrededor de 1 ton/ha (FAO, 2011).

Recientemente este cultivo ha adquirido especial interés como un cultivo de exportación para generar recursos en regiones necesitadas donde usualmente la quinoa es cultivada (Bois *et. al.*, 2006).

2.17.2. Producción de quinoa en el mundo

En años recientes, el cultivo de quinoa se ha expandido desde Sudamérica a Estados Unidos y, en menor medida, a Europa (Dinamarca, Inglaterra, Alemania, Italia, Francia y España) y África (Kenia y Mali) (FAO, 2013).

Detrás de Perú y Bolivia los mayores productores de quinoa a nivel mundial son: Estados Unidos, Ecuador y Canadá con alrededor del 10% de los volúmenes globales de producción. Los Estados Unidos producen anualmente 3,000 ton que representan el 6% de la producción mundial. La producción en Canadá es más variable y figura entre 30 y 1,000 ton. La superficie reportada en ambos países

alcanza las 2,300 ha. En Europa se tiene una producción de 210 ton. Recientemente la Cooperativa Agrícola del valle de la Loire (CAPL) en Francia ha reportado una superficie de 200 ha de quinoa con rendimiento de 1,080 kg/ha, como fruto de 20 años de trabajo. La idea de este proyecto es llegar a garantizar el consumo de quinoa en este país, para lo cual continuarán poniendo a punto aspectos productivos para llegar a su objetivo (FAO, 2011)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del sitio experimental

3.1.1. Localización geográfica

La Comarca Lagunera se localiza geográficamente en los paralelos 24° 30' y 27° latitud norte, y en los meridianos 102° y 104° 40" longitud oeste, con 1150 msnm y un clima seco, caluroso, con temperatura media anual de 20 a 22°C, precipitación escasa, precipitación media anual de 300 mm, con régimen de lluvia en los meses de septiembre, octubre y noviembre, los vientos dominantes son alisios en dirección Sur, con velocidades desde 27 a 44 km/h (INEGI, 2008).

3.2 Descripción del experimento

Se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna ubicada en 25° 33' 26" latitud norte, 103° 22' 20" longitud oeste, Periférico Raúl López Sánchez km 2 y Carretera a Santa Fe S/N, Col. Valle Verde, C.P. 27059, Torreón, Coah. El experimento se realizó en el ciclo otoño – invierno (2014-2015). En una superficie de 180 m².

3.2.1. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones.

Las parcelas se conformaron de tres hileras a una distancia de .75 m y 16 m de longitud, lo cual representa las unidades experimentales, donde la parcela útil fue la hilera central de cada unidad.

3.2.2. Tratamientos

En el presente estudio se utilizaron cinco variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para su evaluación. Inicialmente se sembraron las variedades que se muestran en el cuadro 1, sin embargo, la variedad Temuco no germinó y se sustió por la variedad Bio-bio, posteriormente.

Cuadro 2. Variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluadas en condiciones de campo en la región lagunera. UAAAN–UL. 2015

Variedades	
V1	Campesino
V2	Kaslala
V3	Temuco
V4	Read head
V5	Colorado

3.2.2.1. Variedad Campesino

Requiere de suelo bien drenado y fértil. Prefiere climas fríos y riego moderado. Se recomienda sembrar a una profundidad aproximada de 0.6 cm y un espaciamiento de 30 cm entre planta y planta, cuando se tenga temperatura de 15° C, ya que podría no germinar con alta temperatura.

Crece cerca de 1.90 a 2 m, con panojas de color rosa, rojo o verde. El grano es de color claro, de mayor tamaño que otras variedades, excepto de la variedad Apellewa. Tiene alto porcentaje de germinación, es una variedad con buen equilibrio entre tamaño de semilla, sabor, rendimiento y biomasa.

Días a germinación: 3-4 DDS

Días a cosecha: 108-120 DDS

3.2.2.2. Variedad Kaslala

Se recomienda sembrar con temperatura de 18 a 23 ° C para favorecer la germinación, a una profundidad de 0.6 cm y un espaciamiento entre planta y planta de 30 cm. Requiere de suelo bien drenado y fértil. Prefiere climas fríos y riego moderado.

Es una planta grande, altamente productiva y de calidad, llega a medir de 2 a 2.10 m. Tanto la planta como el grano tienen una gran variación de color; el grano puede ser de color rojo oscuro, negro, café oscuro, amarillo o blanco, y las plantas de varios tonos de rojo, naranja y verde.

Días a germinación: 3-4 DDS

Días a cosecha: 115-120 DDS

3.2.2.3. Variedad Bio-bio

Requiere de suelo bien drenado y fértil. Prefiere climas fríos y riego moderado. Se recomienda sembrar en temporadas con temperatura entre 18 a 23° C, a una profundidad de 0.6 cm y 30 cm entre planta y planta.

Es una excelente variedad para productores principiantes. Es una rara, hermosa y productiva variedad. Las panojas son de color fucsia o rosa. La planta llega a medir de 1.20 a 1.50 m, tiene altos rendimientos de grano, con semillas pequeñas de color claro y sabor dulce.

Días a germinación: 3-4 DDS

3.2.2.4. Variedad Red head

Requiere de suelo bien drenado y fértil. Prefiere climas fríos y riego moderado. La temperatura entre los 18 y los 23 ° C favorecen la germinación de la semilla, se recomienda sembrar a una profundidad de 0.6 cm y 30 cm entre planta y planta.

Esta variedad ha sido seleccionada para soportar lluvia durante la madurez de la panoja y por desarrollarse mejor con humedad y noches cálidas, a diferencia de otras variedades. Es una variedad grande y hermosa, con panojas resistentes de color rojizo, las plantas pueden alcanzar alturas entre 1.60 a 1.80 m

Días a germinación: 3-4 DDS

Días a cosecha: 103-118 DDS

3.2.2.5. Variedad Colorado

Requiere de suelo bien drenado y fértil. Prefiere climas fríos y riego moderado. La temperatura entre los 18 y los 23 ° C favorecen la germinación de la semilla, se recomienda sembrar a una profundidad de 0.6 cm y 30 cm entre planta y planta.

Es una variedad confiable y fácil de cultivar. La planta puede llegar a medir de 1.50 a 1.80 m, las panojas son multicolor y de granos color oro, los cuales tienen buen sabor.

Días a germinación: 3-4 DDS

Días a cosecha: 100-115 DDS.

3.2.3. Croquis de unidad experimental

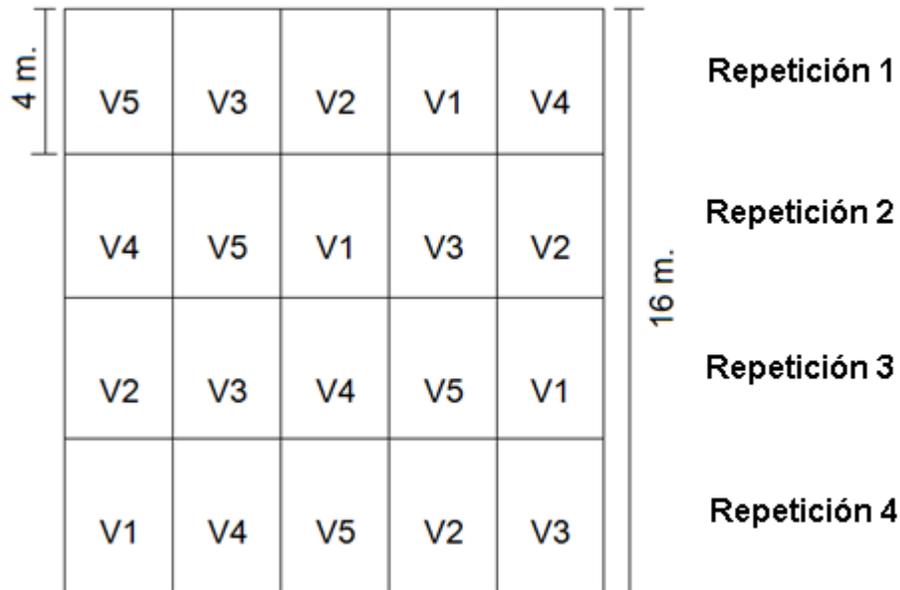


Figura 3. Distribución de tratamientos y repeticiones del experimento.

3.3. Establecimiento del experimento

3.3.1. Preparación del terreno

El día 15 octubre del 2014 se iniciaron labores para lograr una adecuada preparación del terreno, comenzando con un barbecho a una profundidad de 30 cm, seguido de dos pasos de rastra y finalizando con una semi-nivelación. Posteriormente, se trazaron los surcos, y se trazaron las unidades experimentales.

3.3.2. Siembra

Se llevó a cabo el día 4 de noviembre del 2014 y se realizó de forma manual en terreno plano, a una distancia de 0.75 m entre hileras y 0.30 m entre plantas, a una profundidad de 2 cm aproximadamente, colocando 2 semillas por

punto. Al momento de la siembra, se colocó en el fondo peat moss, y posteriormente la semilla se cubrió con el mismo sustrato.

A los 15 DDS se realizó un aclareo dejando una planta por punto.

El 22 de noviembre del 2014, se resembró para sustituir la variedad Temuco (V3) con la variedad Bio-bio.

3.4. Manejo del cultivo

3.4.1. Labores de cultivo

Con ayuda de azadón y rastrillo se realizó el aporque el día 4 de enero del 2015, con la finalidad de dar mayor soporte a la plantas, permitir la aireación del suelo y contribuir a conservar la humedad cerca del sistema radicular de las plantas.

Con la misma finalidad, el 24 de enero del 2015, se roturó la superficie del suelo con ayuda de una herramienta de pico, y posteriormente se aporcó con azadón.

3.4.2. Riego

Por medio de un sistema de riego por goteo se realizó el suministro de agua al cultivo, utilizando cintilla de riego calibre 6000 con separación entre emisores de 30 cm, con un gasto por emisor de 0.935 lph a 8 PSI. El riego se realizó de acuerdo al Cuadro 3, con un total de 8 riegos durante el ciclo, sumándole a estos las precipitaciones durante ese período. Teniendo así, una lámina de riego de 253 mm.

Para determinar la precipitación efectiva se emplearon las fórmulas propuestas por Brouwer y Heibloem (1986), siendo este el método para el cálculo de precipitación fiable. Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

Para precipitación mensual menor o igual a 70 mm $Pe = 0.6 * p - 10$

Para precipitación mensual mayor o igual a 70 mm $Pe = 0.8 * p - 24$

Cuadro 3. Calendario de riego aplicado durante el ciclo de cultivo, a las cinco variedades de quinoa en la región lagunera. UAAAN – UL. 2015.

Fecha	DDS	Tiempo de riego (hrs)
24/11/2014	20	1
26/11/2014	22	3
02/12/2014	28	3
10/12/2014	36	2
22/12/2014	48	2
23/01/2015	80	3
04/03/2015	120	15
07/03/2015	123	6

*DDS= días después de la siembra.

3.4.3. Fertilización

Los nutrientes necesarios se aportaron a través del sistema de riego, complementándolo con aplicaciones foliares. Las aplicaciones se basaron en la recomendación 80-80-0 (Mujica, 1977).

La aplicación foliar se realizó el día 15 de diciembre del 2014 (41 DDS) y 8 de febrero del 2015 (96 DDS), utilizando el fertilizante arrancador forte 15-10-5 en una dosis de 2 L/ha en 100 L de agua/ha.

En fertirriego se aplicó urea (46-0-0) y ácido ortofósforico (0-61-0). Los días 10 y 22 de diciembre del 2014 y el 23 de enero del 2015.

3.4.4. Control de maleza

Existió presencia de maleza, tal como: rodadora (*Salsola collina*), hierba amargosa (*Parthenium hysterophorus L.*), zacate chino (*Cynodon Dactylon*), trompillo (*Ipomea spp.*), zacate Johnson (*Sorghum halepense*), y torito (*Tribulus terrestris*).

Como medida de control se empleó el deshierbe manual, el cual se realizó el día 4 de enero (61 DDS) y el 20 de febrero del 2015 (108 DDS), empleando azadón.

3.4.5. Control de plagas y enfermedades

Se presentó infestación de pulgón verde (*Myzus persicae*); por lo cual se realizaron dos aplicaciones el día 15 de diciembre del 2014 (41 DDS) y 8 de febrero del 2015 (96 DDS), el insecticida aplicado fue Quiantor 400 (el cual tiene como ingrediente activo dimetoato) a una dosis de 950 ml/ha en 100 L de agua.

Se detectaron altas poblaciones de insectos benéficos tales como catarinitas (*Coccinella septempunctata*) y crisopas (*Chrysopa perla*), los cuales contribuyeron al control biológico de plagas por lo cual no fue necesario realizar más aplicaciones.

A los 105 DDS (17 de febrero del 2014), se detectó la presencia de mildiu (*Peronospora variabilis*), y el mismo día se aplicó metalaxil a una dosis de 3.5 Kg/ha. De igual manera, se realizó una segunda aplicación el día 21 de febrero del 2014 (109 DDS).

3.4.6. Cosecha

La cosecha se realizó cuando el grano presentó un estado lechoso-masoso, se llevó a cabo de forma manual, a partir del día 7 de marzo del 2015 (123 DDS). Con la ayuda de tijeras de poda se cosechó cada planta individualmente y se almacenó en bolsas de papel, previamente etiquetadas con el nombre de la variedad y repetición.

3.5. Variables agronómicas evaluadas

3.5.1. Días a emergencia (DDS)

Se determinó contando los días de la siembra hasta que el 50% de plántulas emergidas.

3.5.2. Días a partir del 50% de floración (DDS)

Conteo de los días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela útil se encontraron en etapa de floración.

3.5.3. Días a partir del 50% de madurez fisiológica (DDS)

Se determinó contando los días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela útil se encontró cuando el grano presentó un estado lechoso-masoso.

3.5.4. Altura de planta (cm)

La medición de la altura de planta se realizó desde los 70 días después de la siembra; considerando esta variable desde la base del cuello de la planta hasta

el ápice de la misma, este valor fue evaluado cada 7 días, tomando 10 plantas representativas por unidad experimental.

3.5.5. Diámetro de tallo (mm)

Se evaluó el diámetro de la parte media del tallo principal, con la ayuda de un calibrador vernier desde los 78 días después de la siembra, el dato se tomó cada 7 días, evaluando 10 plantas por unidad experimental.

3.5.6. Diámetro de panoja principal (cm)

Se midió el diámetro de panoja con la ayuda de un calibrador vernier, el dato se tomó de la parte media de la panoja en la etapa de madurez fisiológica, tomando en cuenta un metro lineal de la parcela útil por unidad experimental.

3.5.7. Longitud de panoja principal (cm)

La longitud de panoja fue evaluada en la etapa de madurez fisiológica, midiendo desde la base hasta el ápice de la panoja con la ayuda de una cinta métrica, se tomó en cuenta un metro lineal de la parcela útil por unidad experimental, el cual es equivalente a 4 plantas.

3.5.8. Peso total de panoja (gr)

Con la ayuda de una balanza analítica, se pesó la panoja principal, panojas secundarias y terciarias por cada planta.

3.5.9. Peso de grano por planta (gr)

Para determinar el peso de semilla, primero se desprendió el grano de la panoja y posteriormente utilizando cribas se limpió la semilla para eliminar impurezas. Al terminar, con la ayuda de una balanza analítica se pesó el grano por planta.

3.5.10. Porcentaje de materia seca (%)

Para la determinación de la materia seca, por unidad experimental se cortó una planta al ras del suelo, incluyendo toda la parte aérea de la planta. Posteriormente, se colocó cada planta de manera individual en bolsas de papel canela y se rotuló con el nombre de la unidad experimental y fecha.

Las bolsas fueron perforadas con aberturas de aproximadamente un centímetro de diámetro, se pesó cada bolsa individualmente para obtener el peso de materia verde (MV) y enseguida se colocaron en la estufa a una temperatura de 75 °C hasta alcanzar peso constante.

Diariamente, las bolsas se pesaron hasta que ya no hubo pérdida de humedad y mantuvieron un peso estable, y así se obtuvo el peso de materia seca (MS).

Al tener el peso de materia verde y materia seca, se calculó el porcentaje de materia seca, de la siguiente manera:

$$(MS/MV)*100$$

3.5.11. Relación grano/materia seca (%)

Para determinar la relación grano/ materia seca, al momento de sacar las muestras de la estufa, se procedió a desprender el grano de las panojas y con la ayuda de cribas se limpió. Cuando se obtuvo el grano sin impurezas, se pesó cada muestra en una balanza analítica.

Al tener el peso, se hizo una relación entre el peso de materia seca (PMS) de la planta completa y el peso seco del grano (PSG) de la misma planta, de la siguiente manera:

$$(PSG*100)/PMS$$

3.5.12. Rendimiento (ton/ha)

Para calcular el rendimiento de grano se tomó en cuenta los gramos producidos en un metro lineal de cada parcela experimental, el cual representa .75 m². Convirtiendo dicha cantidad a ton/ha.

3.6. Análisis estadístico de la información

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó utilizando el programa SAS versión 9.2 (SAS, 2009) y la comparación de medias se efectuó por Tukey ($p \leq 0.05$).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Días a emergencia, días a partir del 50% de floración y días a partir del 50% de madurez fisiológica (DDS)

En el cuadro 4 se muestra como la variedad Bio-bio fue la más tardía en cuanto a emergencia, con 11 DDS, a diferencia de las demás variedades las cuales tuvieron emergencia similar entre sí, a los cinco DDS.

La variedad Kaslala fue la primera que presentó un 50% de floración junto con la Bio-bio, a los 82 DDS, seguida de la variedad Red head, con 86 DDS, y por último, se encuentran la variedad Colorado y Campesino, con 90 y 91 DDS, respectivamente.

La variedad más precoz, en cuanto a madurez fisiológica, fue la Bio-bio a los 124 DDS, seguida de las variedades Kaslala, Red head, y Colorado, a los 132 DDS en promedio. Siendo la variedad más tardía Campesino, con 142 DDS.

Cuadro 4. Días de siembra a emergencia de plantas, 50% de floración y 50% de madurez fisiológica, respectivamente (DDS) de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.

variedad	emergencia	50% de floración	50% de madurez fisiológica
Campesino	5	91	142
Kaslala	5	82	132
Bio-bio	11	82	124
Red head	5	86	134
Colorado	5	90	131

4.2. Altura y diámetro de planta (cm)

El análisis de varianza indica diferencia estadística significativa entre variedades para altura de planta, siendo la más sobresaliente la Bio-bio con 83.74 cm, seguida de la variedad Campesino 83.46 cm y Colorado 82.27 cm,

mostrándose estadísticamente similares entre sí. La variedad Kaslala y Red head presentaron menor altura, con 74.58 y 73.55 cm, respectivamente. Geren (2015) en estudios realizados en Turquía, evaluó los efectos de la aplicación de diferentes niveles de nitrógeno en la variedad Q-52, donde registró altura en plantas desde 43.8 m hasta plantas de 101.1 m.

De igual manera, para diámetro de tallo, el cuadro 5 muestra diferencia significativa entre variedades, siendo la de mayor diámetro la variedad Bio-bio con 15.59 mm, seguida de las variedades Campesino y Colorado, con un valor de 14.81 y 14.6 mm, respectivamente. Las variedades Kaslala (13.85 mm) y Red head (13.5 mm) presentaron un menor diámetro y se muestran estadísticamente similares entre sí. En Irán, Azarpour *et. al.*, (2014) evaluaron diferentes niveles de fertilización nitrogenada en quinoa, y reportaron diámetros de tallo en un rango de 6.52 a 9.68 mm, siendo estos menores a los obtenidos en el presente estudio.

Cuadro 5. Altura y diámetro de tallo de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.

Variedad	altura (cm)		diámetro (mm)	
Campesino	83.46	a	14.81	b
Kaslala	74.58	b	13.85	c
Bio-bio	83.74	b	15.59	a
Red head	73.55	b	13.5	c
Colorado	82.27	b	14.6	b

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales, ($p \leq 0.05$)

4.3. Diámetro y longitud de panoja principal (cm)

En el cuadro 6, se presenta el diámetro y la longitud de panoja, al realizar el análisis estadístico para dichas variables, se encontró diferencia significativa entre variedades.

El mayor diámetro de panoja, fue presentado por la variedad Bio-bio (8.25 cm) y la variedad Campesino (8.05 cm.), las cuales sobresalieron con mayor diámetro y se mostraron similares entre sí. En tercer lugar la variedad Colorado con 5.82 mm, seguida de las variedades Kaslala (4.78 cm) y Red head (4.47 cm), las cuales son similares entre sí.

En longitud de panoja, de igual manera que en la variable anterior, la variedad Bio-bio mostró la mayor longitud de panoja con 45.75 cm, seguida por la variedad Campesino con 32.75 cm y por la variedad Colorado con 27.25 cm de longitud. Por último, las variedades Kaslala y Red head, con 20.31 y 21.18 cm, respectivamente, las cuales son estadísticamente similares entre sí.

Cuadro 6. Diámetro y longitud de panoja en etapa de madurez fisiológica de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.

Variedad	diámetro (cm)		longitud (cm)	
Campesino	8.05	a	32.75	b
Kaslala	4.78	c	20.31	d
Bio-bio	8.25	a	45.75	a
Red head	4.47	c	21.18	d
Colorado	5.82	b	27.25	c

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales, ($p \leq 0.05$)

4.4. Peso total de panojas (gr)

En peso de panoja se encontró diferencia significativa entre variedades (Cuadro 7). La variedad con mayor peso de panoja fue la Campesino con 115.18 gr, seguida de la variedad Colorado con 84.88 gr y la variedad Kaslala (79.34 gr) que son estadísticamente iguales entre sí, pero diferente a la Campesino. La variedad Kaslala, Bio-bio (71.44 gr) y Red head (72.92 gr) presentan similitud entre sí.

Cuadro 7. Peso total de panojas por planta de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.

Variedad	peso (gr)	
Campesino	115.18	a
Kaslala	79.34	bc
Bio-bio	71.44	c
Red head	72.92	c
Colorado	84.88	b

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales, ($p \leq 0.05$)

4.5. Peso de semilla por planta (gr)

El análisis estadístico muestra diferencia significativa entre variedades (Cuadro 8). La variedad de mayor peso de semilla: fue la Campesino con 69.03 gr, siendo la Bio-bio, la segunda variedad con mayor peso, con 54.91 gr. Las variedades Colorado (47.73 gr), Kaslala (44.72 gr) y Red head (42.66 gr), fueron estadísticamente similar. Azarpour *et. al.*, (2014) obtuvieron resultados diferentes en su estudio, reportando como máximo peso de semilla por planta 30.24 gr y como mínimo 9.95 gr.

Cuadro 8. Peso de semilla de cinco variedades de quinoa evaluadas en la Comarca Lagunera. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.

Variedad	peso (gr)	
Campesino	69.03	a
Kaslala	44.72	c
Bio-bio	54.91	b
Red head	42.66	c
Colorado	47.73	c

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales, ($p \leq 0.05$)

4.6. Porcentaje de materia seca (%) y relación grano/materia seca (%)

En cuanto a producción de materia seca y relación entre relación grano/MS no se encontró diferencia significativa entre variedades. Encontrando porcentaje de MS entre 27.59 y 32.91 % y relación grano/MS entre 25.29 y 31.72 %.

Cuadro 9. Producción de materia seca y relación grano/materia seca de cinco variedades de quinoa. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.

Variedad	materia seca (%)		relación grano/MS (%)	
Campesino	31.37	a	26.41	a
Kaslala	32.91	a	31.72	a
Bio-bio	27.59	a	25.42	a
Red head	31.83	a	25.29	a
Colorado	29.11	a	30.19	a

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales, ($p \leq 0.05$)

4.7. Rendimiento

En rendimiento de grano expresado en toneladas por hectárea, se encontró diferencia estadística significativa, siendo la variedad Campesino la que presentó mayor producción de grano, con 3.68 ton/ha, seguida de la variedad Bio-bio con rendimiento por hectárea de 2.92 ton/ha, la cual es estadísticamente similar a la variedad Colorado (2.54 ton/ha), pero diferente a la variedad Kaslala (2.38 ton/ha) y variedad Red head (2.27 ton/ha).

La quinoa se probó con éxito en condiciones agro-climáticas típicas del sudeste de Europa, dando un rendimiento de semilla de 1.721 t/ha con notable calidad, siendo este un rendimiento menor al que se reporta en este experimento (Stikic *et. al.*, 2012).

Este contraste de rendimientos, puede ser causado por el distinto manejo agronómico y las diferentes condiciones agroclimáticas de cada región donde se

realizaron los experimentos, esto aunado a la gran capacidad de adaptación que tiene la quinoa.

Cuadro 10. Rendimiento de grano de cinco variedades de quinoa producidas en condiciones de la Región Lagunera. UAAAN-UL. Ciclo 2014-2015.

Variedad	Rendimiento (ton/ha)	
Campesino	3.68	a
Kaslala	2.385	c
Bio-bio	2.92	b
Red head	2.27	c
Colorado	2.54	bc

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales, ($p \leq 0.05$)

V. CONCLUSIONES

En las condiciones que se realizó el experimento, los resultados obtenidos permiten concluir que:

La variedad Campesino, presentó el mayor rendimiento con 3.68 ton/ha.

Las variedades evaluadas presentaron un rendimiento mayor al obtenido en las regiones de origen de la quinoa.

La quinoa mostró una buena adaptación y sobresaliente rendimiento de grano, en donde el promedio de cinco variedades fue 2.7 ton/ha.

En esta región con escasez de agua y condiciones extremas de temperatura la quinoa representa un cultivo alternativo para los productores de la región.

La quinoa se adapta a las condiciones de la Comarca Lagunera siendo factible su producción.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con estudios enfocados a la producción del cultivo de quinoa, en sus diferentes aspectos para complementar su paquete tecnológico, ya que representa una alternativa ante la problemática de escasez de agua en la región y contribuiría a la economía de los productores de la región.

VII. LITERATURA CITADA

- Ahmad, R. and Malik, A. (2002). Tasks for vegetation science: Prospects for saline agriculture. Kluwer Academic Publishers.
- Azarpour, E., Reza, H. and Moraditochae, M. (2014). Effects of Ascorbic Acid Foliar Spraying and Nitrogen Fertilizer Management in Spring Cultivation of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) in North of Iran. Biological Forum – An International Journal, 6 (2): 254-260.
- Bavec, F. and Bavec, M. (2007). Organic production and use of alternative crops. United States: CRC.
- Bazile, D. *et al.* (Editores). (2014). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago de Chile: FAO y Montpellier, Francia: CIRAD, 724.
- Bendevis, M., Sun, Y., Rosenvista, E., Shabalab, S., Liua, F. and Jacobsen, S. (2014). Photoperiodic effects on short-pulse¹⁴C assimilation and overall carbon and nitrogen allocation patterns in contrasting quinoa cultivars. Elsevier Journal. Environmental and Experimental Botany, 104, 9-15.
- Bhargava, A. and Srivastava, S. (2013). Quinoa: Botany, production and uses. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI.
- Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA. (2013). Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Bioversity International, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria Forestal y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la

Alimentación, Roma, Italia; La Paz, Bolivia; Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Roma, Italia.

Bois, J., Winkel, T., Lhomme, J. and Raffaillac, J. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. Elsevier: European Journal of Agronomy, 25, 299–308.

Brouwer and Heibloem. (1986). Método para la precipitación fiable. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/X5560E/X5560E00.HTM>. Consulta: Noviembre, 2014.

Carciochi, R., Manrique, G. and Dimitrov, K. (2014). Changes in phenolic composition and antioxidant activity during germination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). International Food Research Journal 21(2): 767-773.

Cerezal, P., Carrasco, A., Pinto, K., Romero, N. y Arcos, R. (2007). Suplemento alimenticio de alto contenido proteico para niños de 2 - 5 años. Interciencia, 32 (12): 857-864.

Condori, C. (2008). Evaluación participativa del riego deficitario y de fertilización orgánica sobre el desarrollo y rendimiento de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano sur. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía.

Costa, J., Cosio, W., Cardenas, M., Yábar, E. and Gianoli, E. (2009). Preference of quinoa moth: *eurysacca melanocampta* meyrick (lepidoptera: gelechiidae) for two varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in olfactometry assays. Chilean Journal of Agriculture Research, 69 (1): 71-78.

- Danielsen, S., and Ames, T. (2004). Mildew (*Peronospora farinosa*) of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Andean region: Practical manual for the study of the disease and pathogen. International Potato Center, pp. 32.
- Danielsen, S., Jacobsen, S., Echegaray, J. and Ames, T. (2000). Impact of Downy Mildew on the Yield of Quinoa. Program Report: Andean Roots and Tubers and other Crops. Lima, Perú: CIP, pp. 397-401.
- Delgado, A. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa Willd*) en el municipio de Iles, Nariño. *Agronomía Colombiana*, 27 (2): 159-167.
- FAO. (2011). La Quinoa: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.pdf>. Consulta: Enero, 2015.
- FAO. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Disponible: <http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf> Consulta: Mayo, 2015.
- FAO. (2013). Food Outlook: Biannual report on global food markets. Available: <http://www.fao.org/docrep/018/al999e/al999e.pdf>. Accessed: January, 2015.
- Flores, M., Chilquillo, M., Cusiatado, S., Pujaico, S., Alanya, C., Chávez, C., Sarmiento, P. y Risco, M. (2010). Tecnología productiva de la quinua. *Solid Opd*, pp. 20-23.

- Fuentes, F., Maughan, P. y Jellen, E. (2009). Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista geográfica de Valparaíso*, 42, 20-33.
- Gabriel, J., Nayra, L., Vargas, A., Magne, J., Angulo, A. La Torre, J. y Bonifacio, A. (2012). Quinoa del valle (*Chenopodium quinoa* Willd.): fuente valiosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospora farinosa* Willd.) *Journal of the Selva Andina Research Society*, 3 (2).
- Gandarillas, A., Saravia, R., Plata, G., Quispe, R. y Ortiz, R. (2014). Principales plagas y enfermedades de la quinoa. Capítulo 2.6.
- Gandarillas, H. y Tapia, M. (1979). La quinoa y la kañiwa, cultivos andinos. Bogotá: IICA, pp. 227.
- García, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana. Tercera edición. México, D. F.: Offset Larios.
- García, M., Raes, D. and Jacobsen, S. (2003). Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Elsevier: Agricultural Water Management*, 60, 119–134.
- Garrido, M. (2013). Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. *Idesia*, 31 (2).
- Geers, S., Raes, D., Taboada, C., Miranda, R., Cusicanqui, J., Mhizha, T., and Vacher, J. (2009). Modeling the potential for closing quinoa yield gaps under varying water availability in the Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management*, 96, 1652–1658.

- Geren, H. (2015). Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 20 (1): 59-64.
- Huaman, F., Toscano, E., Acosta, O., Rojas, D., Inocente, M., Garrido, D. y Guevara-Fujita, M. (2014). Estudio genotóxico de una bebida experimental de quinua, kiwicha y kañiwa. *Revista Peruana de Biología*, 21 (3): 251-258.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística). (2008). Atlas nacional interactivo de México. En línea. Estado de Coahuila. Disponible: <http://www.inegi.org.mx>. Consulta: 23 de marzo del 2015.
- Jacobsen, S. (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Food Reviews International*, 19 (1): 167-177.
- Jacobsen, S. y Sherwood, S. (2002). Cultivo de granos andinos en Ecuador: informe sobre los rubros quinua chocho y amaranto. Quito: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), pp. 90.
- Jacobsen, S., Monteros, C., Corcuera, L., Bravo, L., Christiansen, J. and Mujica, A. (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. Elsevier: *European Journal Agronomy*, 22, 131-139.
- Jacobsen, S., Monteros, C., Corcuera, L.I Bravo, L. Christiansen, J. and Mujica, A. (2007). Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Elsevier: *European Journal Agronomy*, 27, 471-475.

- Kole, C. (Ed). (2007). Genome mapping and molecular breeding in plants: Pulses, sugar and tuber crops. Springer. Chapter 9, pp. 306.
- Medrano, A. y Torrico, J. (2009). Consecuencias del incremento de la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano sur de Bolivia. *Journal de Ciencia y Tecnología Agraria*, 1 (4): 116-122.
- Mujica, A. (1977). Tecnología del cultivo de la quinua. Fondo Simón Bolívar. Ministerio de alimentación. Zona Agraria XII. Puno, Perú: IICA. UNTA.
- Peralta, E. y Mazón, N. (2014). La Quinua en el Ecuador. FAO Santiago de Chile: FAO y Montpellier, Francia: CIRAD, Capítulo 5.3, pp. 462-476.
- Rodríguez, L. and Isla, M. (2009): Comparative analysis of genetic and morphologic diversity among quinoa accessions (*Chenopodium quinoa* Willd.) of the South of Chile and highland accessions. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 1(5): 210-216.
- Rodríguez-sandoval, E., Lascano, A. y Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinua y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Rev. U.D.C.A Act and Div. Cient*, 15 (1): 199-207.
- Rosero, O., Marounek, M., Brenová, N. and Lukešova, D. (2013) .Phytase activity and comparison of chemical composition, phytic acid P content of four varieties of quinoa grain (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Acta Agronómica*, 62 (1): 13-20.
- Statistical Analysis System (SAS). 2009. SAS Software version 9.2. Sas Institute, Inc. Cary, NC, USA.

- Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S. and Milovanovic, M. (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science*, 55, 132-138.
- Suracheth. P. (2014). Response of quinoa to emergence test and row spacing in Chiang Mai–Lumphun Valley lowland area. *Khon kaen agr*, 42 (2).
- Tapia, M. y Fries, A. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Lima: FAO y ANPE.
- Tuisima, L., and Fernández, E. (2014). An Andean Ancient Crop, *Chenopodium quinoa* Willd. *Agricultura tropica et subtropica*, 47 (4): 142-146.
- Vargas, M. (Ed). (2013). *Congreso Científico de la Quinoa (Memorias)*. La Paz, Bolivia, pp. 682.
- Yuda, H., Maradon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. and Shabala, S. 2010. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of Experimental Botany*, 62 (1): 185-193.
- Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S. and Schwember, A. 2014. Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. *Mol Breeding Journal*, 34 (1).