

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**Determinación de la Lámina de Agua en el Rendimiento del cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Porvenir, Trujillo, La Libertad**

**T E S I S**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**Presentado por el Bachiller:**

**ARTURO JOSÉ HUMBERTO CASTRO CRUZADO**

**Asesor:**

**Ing. José Lizandro Silva Mego**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
*Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962*  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**  
**SECRETARIA ACADÉMICA**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

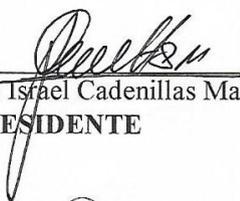
En Cajamarca, a los **veinte y uno** días del mes de **Diciembre** del año dos mil dieciocho, se reunieron en el ambiente 2A-201 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° **530-2018-FCA-UNC**, de fecha 14 de noviembre del 2018, con el objetivo de evaluar la sustentación de la **TESIS** Titulado: “**DETERMINACIÓN DE LA LÁMINA DE AGUA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) EN EL PORVENIR, TRUJILLO, LA LIBERTAD**”, la misma que fue sustentada por el Bachiller en **AGRONOMÍA, CASTRO CRUZADO ARTURO JOSÉ HUMBERTO**, para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las nueve horas y treinta minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición de la **TESIS**, formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado; el Presidente del Jurado anunció la **aprobación por unanimidad** con el calificativo de **diez y seis (16)** con fines de Titulación correspondiente.

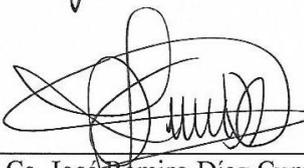
Por lo tanto, el graduado queda expedito para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

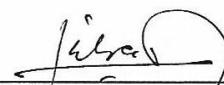
A las diez horas y cero minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 21 de diciembre de 2018.

  
Ing. M.Cs. Attilio Ismael Cadenillas Martínez  
**PRESIDENTE**

  
Ing. M.Cs. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas  
**SECRETARIO**

  
Ing. M.Cs. José Ramiro Díaz Cumpén  
**VOCAL**

  
Ing. José Lizandro Silva Mego  
**ASESOR**

## DEDICATORIA

*A Dios y a la Virgen María por haberme guiado por el buen camino, por cuidarme siempre, por darme salud, y oportunidad de vivir un día más y tratar de ser mejor cada día.*

*Con mucho cariño, a mis padres, Jorge Humberto Castro Gómez y Marita Eileen Cruzado Saldaña ejemplo de sacrificio, dedicación, paciencia, amor y comprensión. Además por gran apoyo, confianza y cariño que recibo cada día de ellos, por su eterna paciencia, sus siempre tan sinceros y acertados comentarios y consejos, que son tan valiosos para mí, y la energía tan especial que recibo de ellos.*

*A mis hermanos: David, Jorge, Roberto y Teresita, por su apoyo incondicional y que son esenciales para mí vida.*

*A Bederly por estar a mi lado en cada proceso de este trabajo, por sus ánimos hacia mí en todo momento*

## **AGRADECIMIENTO**

*Esta tesis se ha llevado a cabo gracias al trabajo, esfuerzo y colaboración de varias personas, a las que debo mi más sincera gratitud. Deseo manifestar un especial agradecimiento:*

*Al Ing. José Lisandro Silva Mego, Catedrático de la Universidad Nacional de Cajamarca, en calidad de Asesor para realizar la presente investigación, y su invaluable apoyo para la culminación del mismo.*

*A la Sub Gerencia de Promoción Agraria de la Agencia Agraria La Libertad -Trujillo, en especial al M.V. Luis Arquímedes Florián Lezcano, Responsable del “Módulo de Desarrollo Agropecuario Sostenible, para Contrarrestar el Cambio Climático”, por el apoyo logístico para realizar la tesis del trabajo de investigación.*

## INDICE

	Pág.
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN: .....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Generalidades Morfológicas.....	5
2.2. Origen y distribución.....	6
2.3. Importancia de la quinua: .....	7
2.4. Generalidades sobre el cultivo de quinua.....	9
2.5. Rendimientos del cultivo de quinua .....	12
2.6. Requerimientos del cultivo.....	13
2.7. Requerimiento hídrico de la quinua .....	18
MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación .....	22
3.2. Materiales y Equipo .....	23
3.3. Metodología.....	23
3.4. Diseño Experimental .....	26
3.5. Instalación del cultivo .....	28
3.6. Láminas de agua seleccionadas para el estudio del trabajo de investigación.....	29
3.6. Evaluaciones realizadas durante el experimento .....	31
3.7. Fase de gabinete.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	33
4.1. Análisis de Varianza y de regresión para el rendimiento.....	33
4.2. Análisis de Varianza y de regresión para la altura de planta.....	37
4.3. Altura de planta (m) y en las diferentes etapas fenológicas.....	41

<b>4.4.Comparación de la Altura de planta en las diferentes etapas fenológicas y con diferentes láminas de agua aplicadas (8, 11, 14, 17 y 20mm).</b> .....	51
<b>4.5.Evaluación de la madurez fisiológica</b> .....	52
<b>CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN</b> .....	53
<b>5.1.CONCLUSIÓN.</b> .....	53
<b>5.2.RECOMENDACIONES</b> .....	53
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	54
<b>ANEXOS</b> .....	58

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de determinar la lámina de riego que influye en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo condiciones de costa, en las parcelas de cultivo de la Agencia Agraria de la Libertad comprensión del distrito del Porvenir en la provincia de Trujillo del departamento la Libertad. Para esta investigación se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cinco tratamientos de láminas de agua: 8, 11, 14, 17 y 20mm y tres repeticiones. Las láminas de agua se aplicaron de acuerdo al cálculo de la evapotranspiración durante el periodo de estudio, y su aplicación se realizó a las unidades experimentales durante todo el periodo vegetativo del cultivo. Los resultados del análisis de varianza indicaron que el tratamiento 5 con una lámina de agua de 20mm, influye significativamente en el rendimiento y la altura de planta de quinua.

**Palabras claves:** Cultivo de quinua, lámina de agua, rendimiento.

## ABSTRACT

The present research work was carried out with the purpose of determining the irrigation sheet that influences the yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under coastal conditions, in the farming plots of the Agrarian Agency of La Libertad, understanding of the district of Porvenir in the province of Trujillo, department of La Libertad. For this research the Design of Completely Random Blocks (DBCA) was used with five treatments of sheets of water: 8, 11, 14, 17 and 20mm and three repetitions. The sheets of water were applied according to the calculation of the evapotranspiration during the study period, and its application was made to the experimental units throughout the vegetative period of the crop. The results of the analysis of variance indicated that treatment 5 with a water sheet of 20mm, significantly influences the yield and height of the quinoa plant.

**Key words:** Quinoa cultivation, sheet of water, yield.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) es un grano nativo altamente nutritivo, que se cultiva en forma tradicional en las zonas altas y áridas del altiplano Peruano desde épocas incaicas; es uno de los pocos vegetales que posee aminoácidos esenciales, minerales, aceites y vitaminas lo que hace de la quinoa un alimento nutritivo (Repo *et al.* 2003).

Gracias al alto valor nutritivo, la quinoa es un producto agrícola con valor estratégico importante para la seguridad alimentaria de la humanidad (PROINPA 2011), y ha sido seleccionada por la FAO como uno de los cultivos destinados para combatir el hambre y la desnutrición en el mundo (Jacobsen *et al.* 1999).

El cultivo de quinoa se adapta a una gran diversidad de pisos agroecológicos, crece en suelos secos y salinos a una altitud que va desde los 0 y 4000 msnm. Puede desarrollarse con humedades relativas del 40% hasta 88%, y soportar temperaturas desde -4°C hasta 38°C. Así mismo es una planta eficiente en el uso de agua, es tolerante y resistente a la falta de humedad en el suelo, por lo que se considera a la quinoa como una planta resistente a las adversidades climatológicas (Jacobsen. 2003a).

Las pérdidas de agua por evaporación, transpiración y percolación profunda, es un factor que limita el desarrollo de los cultivos. Los cultivos de la costa, depende de las lluvias de las partes altas de la regiones, que cada vez son menos frecuentes y la disponibilidad de agua cada vez son menores; por consiguiente, el control de humedad del suelo, la dotación oportuna y el volumen adecuado de agua aplicado es la clave del éxito de la agricultura bajo riego (Soto. 1997).

En el futuro, la escasez de agua será un serio impedimento para la producción de alimentos, ya que actualmente una gran parte del agua del mundo es malgastada sin control en regadíos ineficaces, por lo que es necesario que el agua se use de modo eficiente para la obtención de cosechas con buenos rendimientos.

Cuando el agua como insumo indispensable para la producción agrícola existe en cantidades limitadas, y su disponibilidad es cada vez menor, solo puede incrementarse a costos cada vez mayores, lo que hace necesario estudiar detalladamente la influencia de dicho insumo en los rendimientos de los cultivos, en tal sentido la finalidad del presente trabajo está orientado a determinar la mejor lámina de agua, para la optimización del uso del recurso hídrico, en el Porvenir, Trujillo, La Libertad.

## **1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La creciente demanda interna e internacional de la quinua ha despertado el interés por su cultivo en la región de la costa, donde el empleo de la tecnología está dirigida a mejorar la producción. Sin embargo la falta de agua en la costa, sumada a la baja eficiencia y las malas prácticas de riego, hace que sea de vital importancia conocer los requerimientos hídricos óptimos que este cultivo requiere para su desarrollo, teniendo en cuenta estos aspectos se plantea el siguiente problema:

¿Cuál es la lámina de agua que influye en el rendimiento del cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Porvenir – La libertad?

## **1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

¿El cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es indiferente o genera buenos rendimientos en cualquier dosis o lámina de agua aplicada durante su periodo vegetativo?

## **1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN:**

Determinar la lámina de agua que influye en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en las parcelas de cultivo de la Agencia Agraria La Libertad comprensión del distrito El Porvenir en la provincia de Trujillo.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

El Perú se caracteriza por ser un país con un gran potencial agrícola, gracias a la diversidad de climas y suelos que posee. Estas características logran que nuestro país obtenga ventajas comparativas en varios productos agroindustriales.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow), es el cultivo andino que en la actualidad presenta buenas potencialidades de rendimiento para la agroexportación que otros cereales, por dos razones: la primera es que en sus granos posee un alto nivel de proteínas, es un excelente sustituto de otros alimentos como la carne. La segunda porque la quinua presenta un precio más atractivo en los mercados regionales y nacionales del Perú en comparación a otros cereales producidos en la región como indica la FAO (1995).

Bajo este panorama, el cultivo de quinua adquiere una importancia cada vez mayor, por un lado, por sus valores nutricionales, y por otro lado, por su gran capacidad de adaptación hasta los 4.500 msnm y en pH de 6 a 8,5; resiste a temperaturas extremas, tolera suelos salinos y se desarrolla con lluvias relativamente bajas (Vega. 2010).

Asimismo, la Quinua por su alto valor nutritivo, adaptación a diferentes pisos agroecológicos y suelos, ha generado gran interés entre los agricultores, empresas agroindustriales, instituciones públicas y privadas, nacionales e internacionales. En el Perú es producido por pequeños agricultores en una gran diversidad de las zonas agroclimáticas y pisos ecológicos con sistemas tradicionales de producción, procesamiento, almacenamiento y distribución. Los rendimientos y producción no sólo son bajos sino variables entre zonas agroecológicas, años de producción y distribución estacional (Tapia *et al.* 2000).

El agroecosistema de producción de quinua en el Perú presentó varios cambios en los últimos años. La habilitación de nuevas parcelas para la producción de quinua generó un cambio espacial y temporal del cultivo; así, pudiese haber un patrón general que correlaciona esta expansión con un decremento en la fertilidad del suelo. Esto ocasiona rendimientos bajos, intensificación del cultivo e introducción

de prácticas agrícolas inadecuadas, llegando así a la reducción de la sostenibilidad de este sistema de producción (Estrada. 2014).

## **2.1. Generalidades Morfológicas**

En lo que se refiere a la morfología, la quinua es una especie que pertenece a la Familia Amaranthaceae y al género *Chenopodium*. Las plantas de esta especie son dicotiledónea, anual, cuya altura varía desde 0,5 hasta 2,5 metros, pero se han encontrado cultivares que han alcanzado hasta 3,5 metros de altura; sus raíces son pivotantes y fasciculadas; su tallo puede ser recto o ramificado de color variable y puede medir de 60 centímetros a 2 metros; presenta tres tipos de hojas (romboidales, triangulares y lanceoladas) de acuerdo a la posición de éstas en los tallos (Fontúrbel. 2003).

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

El fruto es un aquenio; cubierto por el perigonio, el cual se desprende con facilidad al frotarlo cuando el grano está seco. A su vez, la semilla está envuelta por un epispermo, el cual está formado por cuatro capas: una externa, la cual determina el color de la semilla, de superficie rugosa, quebradiza y seca que se desprende fácilmente; la segunda capa difiere en color de la primera y se observa sólo cuando la primera es traslúcida; la tercera capa es delgada, opaca, de color amarillo; la cuarta es traslúcida y está formada por una sola hilera de células que cubre el embrión. Las saponinas se ubican en la primera membrana, su contenido y adherencia en los granos es muy variable. El grano de quinua almacena los almidones en el perisperma, a diferencia de los cereales que lo hacen en el endospermo (Repo *et al.* 2003).

## 2.2. Origen y distribución

La quinua es originaria de la zona andina, su cultivo se extiende por todo el altiplano Peruano-Boliviano-Chileno, valles interandinos y otras zonas. Está distribuida desde Colombia (Pasto) hasta el norte de Argentina (Jujuy y Salta) y Chile (Antofagasta), y se ha encontrado un grupo de quinuas que se cultivan a nivel del mar en la Región de Concepción (Lescano 1994 citado por PROINPA 2011).

Se considera como un pseudocereal, su consumo es ancestral (3000 - 5000 años A.C.), y constituye históricamente uno de los principales alimentos en la dieta de los pobladores andinos. Sin embargo, con la introducción del trigo, la quinua fue desplazada hacia tierras más altas y desde entonces ha disminuido su producción y consumo (Mujica et. al. 2001).

Los granos de quinua se considera como alimenticio domesticado, protegido y conservado por los pueblos indígenas andinos de la Región Andina de América del Sur (Repo 2014). Su principal centro de origen y de conservación es el Altiplano alrededor del lago Titicaca del Perú y Bolivia, donde existe la mayor diversidad biológica de este cultivo sobre los 3800 msnm (Tapia y Fries. 2014).

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

- 1) Quinuas del valle:** Propias de los valles andinos de 2000 a 3600 msnm, se cultivan mayormente en la parte central y norte del Perú. Son plantas de gran desarrollo, cuya altura varía de 2 a 2,5 m de altura, algunas llegan a medir hasta 3,5 m como las observadas en Urubamba (Perú) y Cochabamba (Bolivia). La mayoría muy ramificadas con períodos vegetativos mayores a los 220 días, rendimientos no muy altos, con panojas de tipo amarantiforme muy laxa y semillas pequeñas.
- 2) Quinuas del altiplano:** Crecen en el área circundante al lago Titicaca, entre los 3600 a 3800 msnm, pero pueden crecer a altitudes mayores. En esta área se encuentra la mayor variabilidad de caracteres y el

mayor número de variedades mejoradas. Son plantas de 1 a 1,8 m con tendencia a un solo tallo, panoja terminal glomerulada densa y de semillas más pequeñas que las quinuas del valle, variables en su tolerancia al Mildiú y al ataque de insectos, son resistentes a las heladas. Generalmente con alto contenido de saponina. Este tipo de quinuas también se hallan en las pampas altas. Algunas líneas son precoces (130 – 140 días) y otras son tardías de 210 días. Pueden ser quinuas blancas alrededor del lago Titicaca y de colores en la región agroecológica Suni.

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

**4) Quinuas del nivel del mar:** Son aquellas que se cultivan a nivel de la costa peruana en especial en localidades de la región La Libertad, son plantas de tamaño mediano (2 m de altura), se caracterizan por presentar granos de color amarillo a rosados y amargos, y porque se adaptan a fotoperiodos más largos. En general, no son ramificadas. Estas quinuas están más adaptadas a climas húmedos y con temperaturas más regulares y sobre todo a latitudes de los 40°S. Los ecotipos más sobresalientes son: blanca Salcedo, amarilla de Marangani, etc.

### **2.3. Importancia de la quinua:**

#### **1) Por su valor nutritivo**

La quinua posee un excepcional equilibrio de proteínas, grasas y carbohidratos (fundamentalmente almidón). Entre los aminoácidos presentes en sus proteínas destacan la lisina (importante para el desarrollo del cerebro) y la arginina e histidina,

básicos para el desarrollo humano durante la infancia, es rica en minerales como hierro, calcio y fósforo y vitaminas, mientras que es pobre en grasas. Las proteínas en el grano de quinua contiene de 14 a 20%, grasa 5.7 a 11.3% y fibra 2.7 a 4.2%, lo cual es mayor al del trigo de 8.6 % de proteína, grasa 1.5 %, y fibra 1.99%. Por otro lado para uno de los aspectos importantes es el contenido nutricional de la hoja de quinua que se compara a la espinaca (Collazos 1975).

## **2) Valor comercial nacional e internacional:**

La producción de quinua se encuentra distribuida en 14 regiones del País, principalmente en el ámbito de las regiones de Sierra y Costa de esta distribución el 78% de las superficies y volúmenes de producción se encuentra concentrado en la Región Puno con un total de superficie registrada para el 2012 de 27 445 ha y 30 179 toneladas de producción. El rendimiento a nivel nacional es muy variado y está estrechamente relacionado al nivel tecnológico utilizado, el ámbito de producción y las condiciones climatológicas que hay en las zonas de producción, y también la variedad que se elija cultivar (MINAGRI 2012).

El precio en chacra a nivel departamental en diciembre del año 2012, experimentaron un crecimiento del 6.2% con respecto al año 2011, siendo el precio promedio nacional alrededor de S/. 3.88 por kilo. El departamento de Tacna mantiene el precio más alto pagado al productor con un aproximado de S/.4.85, seguido por los departamentos de Ancash (S/.4.74), Moquegua (S/.4.57), La Libertad (S/.4.44), Huánuco (S/. 4.12), Junín (S/. 4.10) y Puno (S/.4.01) por kilo, Cajamarca (S/.3.19). Estas son los departamentos con mejores precios en chacra a nivel nacional (MINAG 2012).

Las exportaciones peruanas han aumentado sostenidamente; entre enero y octubre del 2010. Las exportaciones de quinua crecieron 85,2% hasta US\$ 10,6 millones, gracias a las mayores ventas hacia Australia (483,9% de crecimiento), EEUU (160,7%), Canadá (120,7%) y Alemania (61,1%). El Perú incursionó en nuevos mercados como Panamá y se intensificó los envíos hacia Francia. El Perú compite con Bolivia y Ecuador, estos tres principales países producen 69,920 toneladas anuales representando 55.6% de producción en el Perú. Los demás países no reportan producciones altas por tener área cultivada mínima que representa el 2.04% de 84,323 ha cultivadas en el mundo (MINCETUR 2010).

### **3) Por su adaptabilidad:**

La amplia adaptabilidad del cultivo y su amplia variabilidad genética le permite adaptarse a diversos ambientes ecológicos (valles interandinos, altiplano, yungas, salares, nivel del mar, etcétera). Es capaz de crecer en las más duras condiciones, soportando temperaturas desde los -8 hasta los 38 °C; se puede sembrar desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm y es resistente a la sequía y los suelos pobres. Por todo lo anterior la quinua, es una de las pocas especies que se desarrolla sin muchos inconvenientes en las condiciones extremas de clima y suelos. La gran adaptación a las variaciones climáticas y su eficiente uso de agua convierten a la quinua en una excelente alternativa de cultivo frente al cambio climático que está alterando el calendario agrícola y provocado temperaturas cada vez más extremas (Vega. 2010).

## **2.4. Generalidades sobre el cultivo de quinua.**

### **Fenología**

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

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

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

En general, el ciclo de crecimiento de la quinua, varía entre 80 y 240 días debido a la amplia variación entre cultivares (FAO *et al.* 2013). En los países andinos

varía de 150 a 240 días y en Brasil, de 80 a 150 días (Spehar y Santos 2005). La fenología es muy flexible en respuesta al estrés por agua, con diferencias en el tiempo a la maduración de hasta 30 días para el mismo cultivar (FAO *et al.* 2013).

La floración comienza entre los 60 y 120 días y dura aproximadamente 20 días. La senescencia comienza aproximadamente un mes antes de la madurez fisiológica y avanza relativamente rápido. Estos valores son dados para cultivares que crecen a gran altitud y podrían estar sesgados porque las condiciones de crecimiento (temperatura, fertilidad, suministro de agua) no son óptimas (Delgado *et al.* 2009).

Mujica (2006), determinó que la fenología de la quinua atraviesa por las siguientes fases emergencia, presencia de hojas cotiledóneas, presencia hojas verdaderas, ramificación, inicio de panojamiento y panojamiento, floración, grano lechoso y pastoso, madurez fisiológica; importantes y claramente distinguibles.

- 1) Emergencia:** Se presenta cuando los cotiledones emergen del suelo a manera de una cabeza de fósforo y es distinguible solo cuando uno se pone al nivel del suelo, en esta etapa es muy susceptible de ser consumido por las aves por su succulencia y exposición de la semilla encima del talluelo, ello ocurre de los 5-6 días después de la siembra, en condiciones adecuadas de humedad.
  
- 2) Presencia de hojas cotiledóneas:** Se observa cuando los cotiledones emergidos se separan y muestran las dos hojas cotiledóneas extendidas de forma lanceolada angosta, pudiendo observarse en el surco las plántulas en forma de hilera nítida, en muchos casos se puede distinguir la coloración que tendrá la futura planta sobre todo las pigmentadas de color rojo o púrpura, esto ocurre entre los 7-10 días después de la siembra.
  
- 3) Presencia hojas verdaderas:** Es cuando, fuera de las dos hojas cotiledóneas, aparecen dos hojas verdaderas extendidas que ya tienen forma romboidal y con nervaduras claramente distinguibles y se encuentran en botón foliar el siguiente par de hojas, ocurre de los 15-20 días después de la siembra, mostrando un crecimiento rápido del sistema radicular.

- 4) **Ramificación:** Se diferencian claramente 8 hojas verdaderas extendidas y las hojas axilares extendidas hasta la tercera fila de hojas en el tallo, las hojas cotiledóneas se caen y dejan cicatrices claramente notorias en el tallo, también se observa la presencia de la inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto la panoja, ocurre de los 45 a 50 días después de la siembra.
- 5) **Inicio de panojamiento:** La inflorescencia va emergiendo del ápice de la planta, observándose alrededor aglomeraciones de hojas pequeñas con bastantes cristales de oxalato de calcio, las cuales van cubriendo a la panoja en sus tres cuartas partes. Ello ocurre de los 55 a 60 días después de la siembra; así mismo se puede ver amarillamiento del primer par de hojas verdaderas (hojas que dejaron de ser fotosintéticamente activas) y se produce una fuerte elongación del tallo, así como engrosamiento.
- 6) **Panojamiento:** La inflorescencia sobresale con mucha nitidez por encima de las hojas superiores, notándose los glomérulos de la base de la panoja, los botones florales individualizados sobre todo los apicales que corresponderán a las flores pistiladas. Esta etapa ocurre de los 65 a 70 días después de la siembra; a partir de esta etapa se puede consumir las panojas tiernas como verdura.
- 7) **Floración:** Cuando las flores hermafroditas apicales de los glomérulos se encuentran abiertos, mostrando los estambres separados de color amarillo, ocurre de los 75 a 100 días, esto después de la siembra, esta fase es muy sensible a las heladas, pudiendo resistir solo hasta  $-2^{\circ}\text{C}$ , esta fase debe observarse al medio día, ya que en horas de la mañana y al atardecer las flores se encuentran cerradas, por ser heliófilas. Adicionalmente, la planta elimina en mayor cantidad las hojas inferiores que son menos activas fotosintéticamente y existe abundancia de polen en los estambres que tienen una coloración amarilla.
- 8) **Grano lechoso y pastoso:** El grano lechoso se presenta entre los 100 a 130 días después de la siembra, se caracteriza por la presencia de un líquido lechoso. El grano pastoso se presenta entre los 130 a 160 días, y los frutos

de caracterizan por presentar una consistencia pastosa de color blanco. En esta fase el déficit de humedad afecta fuertemente a la producción.

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

## **2.5. Rendimientos del cultivo de quinua**

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

El rendimiento potencial de grano es de 11 t/ha. Sin embargo la producción más alta obtenida, en promedio, en condiciones óptimas de suelo, humedad, temperatura y en forma comercial está alrededor de 6 t/ha. En la práctica, en condiciones adecuadas de prácticas agrícolas, fertilización y humedad, se obtienen rendimientos de 3,5 t/ha (Mujica *et al.* 2001).

En seco, en el altiplano, la producción no excede los 850 kg/ha, sin embargo se han obtenido rendimientos en el rango de 600 a 2500 kg/ha. Mientras que en los valles interandinos el rendimiento promedio es de 1500 kg/ha y el rango va desde 700 a 2800 kg/ha. En general, el rendimiento promedio nacional se encuentra entre los 800 y 1000 kg/ha (Tapia y Fries 2014).

Los rendimientos varían de acuerdo a las variedades, puesto que existen unas con mayor capacidad genética de producción que otras. También varían de acuerdo a la fertilización o abonamiento proporcionado. La quinua responde favorablemente a una fertilización sobre todo nitrogenada y fosfórica. Además, las labores culturales y los controles fitosanitarios deben ser proporcionados oportunamente durante el ciclo del cultivo de quinua. En general las variedades

nativas son de rendimiento moderado, resistentes a los factores abióticos adversos, pero específicas para un determinado uso y de mayor calidad nutritiva (Mujica *et al.* 2001).

En lo que respecta a la producción de materia seca después de la cosecha alcanza en promedio a 16 t/ha (incluido grano, tallos y broza), pudiéndose obtener en promedio 7.2 t/ha de tallos, 4.7 t/ha de broza (hojas, partes de inflorescencia, perigonios y pedicelos) y 4.1 t/ha de grano (Mujica *et al.* 2001).

## **2.6. Requerimientos del cultivo.**

- 1) **Suelo:** El cultivo de quinua prospera en suelos francos, poco arenosos, arenosos o franco arcillosos; semiprofundos, con alto contenido de materia orgánica, con pendientes moderadas; en estos suelos se obtienen los mejores rendimientos, además los suelos deben tener buen drenaje porque la quinua es muy susceptible al exceso de humedad, sobre todo en los primeros estados (Mujica *et al.* 2001).
  
- 2) **pH y salinidad:** El pH ideal para la quinua son los cercanos a la neutralidad, sin embargo se obtienen producciones buenas en suelos alcalinos de hasta 9 de pH, en los salares de Bolivia y Perú, como también en condiciones de suelos ácidos hasta 4.5 de pH, en la zona de Michiquillay en Cajamarca, Perú. Respecto a la salinidad, algunas investigaciones han demostrado que la quinua puede germinar en concentraciones salinas extremas, como en los salares Bolivianos, y que cuando se encuentra en estas condiciones extremas de concentración salina el período de germinación se puede retrasar hasta en 25 días (Mujica *et al.* 2001).

Es conveniente recalcar que existen genotipos adecuados para cada una de las condiciones extremas de salinidad o alcalinidad, por ello se recomienda utilizar el genotipo más adecuado para cada condición de pH, y salinidad en el suelo. Esto también se debe a la amplia variabilidad genética de esta planta (Mujica *et al.* 2001).

- 3) Clima:** La quinua se adapta a variados climas como el desértico, caluroso y seco en la costa hasta el frío y seco de las grandes altiplanicies, pasando por los valles interandinos templados y lluviosos, llegando hasta la ceja de selva con mayor humedad relativa, a la puna y zonas andinas de grandes altitudes. Por ello es necesario conocer aquellos genotipos que se adaptan a las condiciones climáticas adversas. En general, este cultivo puede soportar más de 35°C, pero no desarrolla adecuadamente, también puede tolerar climas fríos, de hasta -1°C en cualquier etapa de su desarrollo, excepto durante la floración, debido a problemas de esterilidad del polen a bajas temperaturas (Mújica *et al.* 2001).
- 4) Temperatura:** Aún no hay umbrales definidos de temperaturas óptimas para el desarrollo de la quinua, sin embargo los investigadores sostienen que la temperatura media adecuada para la quinua está alrededor de 15 – 20°C, sin embargo se ha observado que con temperaturas medias de 10° C, el cultivo se desarrolla perfectamente; lo mismo, ocurre con temperaturas medias y altas de hasta 25°C, prosperando adecuadamente. Las variedades de valles están adaptadas a temperaturas que fluctúan entre 10 y 18°C y no son resistentes a las heladas (Jacobsen *et al.* 2004).

Los ecotipos de valle pueden presentar hasta 56 por ciento de pérdidas en el rendimiento debido a incidencias de temperaturas de -4°C en la etapa de antesis, mientras que los ecotipos del altiplano presentan pérdidas de 27 por ciento bajo las mismas condiciones en la fase de antesis. Al respecto se ha determinado que esta planta posee mecanismos de escape y tolerancias a bajas temperaturas (Jacobsen *et al.* 2004).

La quinua puede soportar hasta menos 5 °C en la fase de ramificación, dependiendo del ecotipo y de la duración de la temperatura mínima. Su resistencia ontogénica al frío y a la sequía es muy variable. Existen ecotipos que resisten menos 8°C, como las de los salares Bolivianos, y sobreviven 20 días (temperatura mensual promedio). La fase más tolerante es la ramificación y las más susceptibles son la floración y llenado de grano (Tapia *et al.* 2000).

La floración es muy sensible, pudiendo resistir solo hasta 1° C, con temperaturas menores los rendimientos son afectados negativamente. Respecto a las temperaturas extremas altas, se ha observado que temperaturas mayores a 38°C producen aborto de flores y muerte de estigmas y estambres, imposibilitando la formación de polen, impidiendo así la formación de grano (Mujica *et al.* 2001).

**5) Humedad relativa:** Crece sin mayores inconvenientes desde el 40 % de HR en el altiplano hasta 100 % de HR en la costa. Esta alta humedad relativa se presenta en los meses de mayor desarrollo de la planta (enero y febrero), lo que facilita que las enfermedades fungosas como el mildiu, progresen con mayor rapidez, por ello en zonas con alta humedad relativa se debe sembrar variedades resistentes al mildiu (Tapia *et al.* 2000).

**6) Necesidades de agua, precipitación y riegos:** La quinua prospera con diferentes niveles de precipitación, ésta depende de la zona agroecológica y del genotipo al que pertenece la planta. Varía desde el rango de 200 y 250 mm en los salares de Bolivia (Tapia *et al.* 2000), llegando a producir 1500 kg/ha. (Aguilar y Jacobsen 2003)

En los andes ecuatorianos crece con precipitaciones desde 600 a 880 mm, en el Valle de Mantaro de 400 a 500 mm, en la zona del Lago Titicaca de 500 a 800 mm y en Puno de 250 a 500 mm (Canahua *et al.* 2001 citado por Quillatupa, 2009). Conforme se desplaza hacia el sur del Altiplano boliviano y el norte chileno, la precipitación va disminuyendo hasta niveles de 50 a 100 mm, condiciones bajo las cuales también se produce quinua y el Altiplano Sur de Bolivia es considerado la principal área geográfica donde se produce el cultivo (PROINAP 2011).

Aunque muestra alta resistencia a períodos de sequía, requiere suficiente humedad en la fase inicial del cultivo (Tapia *et al.* 2000), generalmente, la quinua es favorecida con lluvias durante las fases de crecimiento y desarrollo, mientras que durante la maduración y cosecha requiere de condiciones de sequedad (Mujica *et al.* 2001).

Las fases fenológicas en las cuales la precipitación es más importante son la germinación, la formación del botón floral, la floración y el llenado inicial del grano (Jacobsen *et al.* 2010).

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

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

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

Geerts (2008a), desarrollaron una estrategia de riego en varias localidades del Altiplano Boliviano. Consistió en aplicar riego en las etapas fenológicas susceptibles a la sequía (establecimiento del cultivo, floración y llenado inicial del grano) y permitir el estrés hídrico durante las etapas tolerantes a la sequía. Es llamado riego deficitario (ID) y permite aumentar en gran

medida la productividad del agua en el cultivo de quinua, estabilizando la producción en vez de maximizarla e incrementando al máximo la productividad del agua, ya sea de lluvia o de riego. Se comparó la productividad de la quinua bajo riego deficitario, bajo secano y bajo irrigación completa (IC), obteniéndose resultados buenos y estables con el primero. Se obtuvo hasta 1600 kg/ha en las regiones semiáridas, con un buen tamaño de grano. Los resultados indicaron que la producción de quinua en los tres altiplanos (norte, central y sur) se pueden estabilizar en 4 años de 5, a un mínimo de 2200, 1600 y 1500 kg/ha respectivamente. En cultivo de secano, la producción confiable en 4 años de 5 solo alcanza a 1100, 500 y 200 kg/ha. Finalmente, concluyeron que con una cantidad limitada de agua de riego (ID) el rendimiento de quinua podría ser estabilizado al 60 y 70 por ciento de su potencial.

El riego deficitario ya se practica para la reintroducción de quinua en regiones áridas de Chile (FAO *et al.* 2013). Por otro lado, actualmente la quinua es cultivada rara vez bajo riego durante todo el ciclo del cultivo (IC), porque, según las investigaciones realizadas en el altiplano Boliviano, sólo se obtiene resultados ligeramente mejores que los obtenidos con quinua cultivada bajo ID (Geerts *et al.* 2008b). Además no hay suficiente agua disponible para la irrigación completa (IC) (FAO *et al.* 2013).

- 7) Radiación:** La quinua soporta radiaciones extremas en las zonas altas de los andes; sin embargo estas altas radiaciones permiten compensar las horas de calor necesarias para cumplir con su periodo vegetativo y productivo. En la zona de mayor producción de quinua del Perú, el promedio anual de la radiación global (RG) que recibe la superficie del suelo, asciende a 462 cal/cm<sup>2</sup>/día, y en la costa de Arequipa alcanza a 510 cal/cm<sup>2</sup>/día. Mientras en el altiplano central de Bolivia (Oruro), la radiación alcanza a 489 cal/cm<sup>2</sup>/día y en la Paz es de 433 cal/cm<sup>2</sup>/día, sin embargo el promedio de radiación neta (RN) recibida por la superficie del suelo o de la vegetación, llamada también radiación resultante alcanza en Puno 176 y en Arequipa 175, mientras que en Oruro 154 y en la Paz, Bolivia 164, solamente debido a la nubosidad y la radiación reflejada por el suelo (Mujica *et al.* 2001).

## 2.7. Requerimiento hídrico de la quinua

Las necesidades de agua de los cultivos se estiman según la evapotranspiración real del cultivo. Para la quinua se encontró que la evapotranspiración máxima en el Altiplano central de Bolivia es de 3.64 mm/día como promedio, los valores cambian de acuerdo al desarrollo fenológico del cultivo, siendo más altos durante la floración e inicio del grano lechoso con 4.54 y 4.71 mm/día, respectivamente, y la evapotranspiración máxima es de 408 mm en los 134 días del periodo vegetativo, los requerimientos anteriores parecen cambiar dependiendo de la localidad y variedad (Choquecallata *et al.* 1991).

Los mismos autores señalan que, con sólo 190 mm de lluvia durante el periodo de crecimiento se obtienen rendimientos de hasta 1500 kg/ha. Estas afirmaciones ayudan a explicar por qué la quinua es un cultivo de áreas y años de baja precipitación; sin embargo, los argumentos para definir la cantidad mínima de agua requerida para la producción rentable de quinua son todavía inconsistentes, para los requerimientos de agua de riego para el cultivo de quinua. Hidalgo (1971) indica que la dosis máxima de agua para aplicar a una hectárea puede calcularse de la siguiente manera:

$$Lam = \left( \frac{Cc - Pm}{100} \right) x D ap x Pr$$

**Donde:**

- Lam:** Lamina de riego (mm)
- CC:** Capacidad de campo (%)
- Pm:** Punto de marchitez permanente (%)
- D ap:** Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)
- Pr:** Profundidad radicular (mm)

**Frecuencia de riego:**

Pillsbury (1968) indica que es el tiempo que deberá transcurrir para que un cultivo reduzca la humedad del suelo en la rizosfera hasta un nivel previamente determinado. Suponiendo que no se recogen lluvias, el intervalo de riego en días es

simplemente el volumen neto de agua aplicado en el riego dividido por el coeficiente de evapotranspiración expresado en las mismas unidades del volumen por día ( $V_n/ETP$ ).

Si se aplica una cantidad de agua equivalente a una altura pluviométrica de 50mm y si el coeficiente de evapotranspiración fue de 5mm por día (50/5) el intervalo de riego sería de 10 días. Así mismo Pillsbury (1968), sostiene que la cantidad de agua usada en el riego debería ser exactamente igual a la cantidad de agua evaporada y a la transpiración del cultivo.

Varios aspectos prácticos de la irrigación de cultivos hacen de esto una meta difícil de alcanzar. Este riego ideal se logra a la perfección por goteo, menos por aspersión y por surcos y mucho menos en riego por inundación. El uso eficiente del agua puede obtenerse mediante riego por aspersión o por goteo, pero los costos de energía por estas operaciones también se incrementan en zonas donde se extrae agua del subsuelo por bombeo.

Para Willet y Anten (2000), definen que la demanda de agua de una parcela con determinadas plantas, dado por las siguientes formulas.

**Lámina Neta:**

$$L_n = ETP \times K_c$$

**Donde:**

**L<sub>n</sub>:** Lámina neta (mm/día)

**ETP:** Evapotranspiración potencial (mm/día)

**K<sub>c</sub>:** Coeficiente de cultivo promedio de las plantas

El módulo de la parcela se calcula a través de la relación siguiente:

$$M_n = \frac{L_n \times 10000}{86400} \text{ (l/s/ha)}$$

**Donde:**

**Mn:** Módulo neto en l/s/ha

**Ln:** Lámina neta

Para determinar el modulo bruto se tiene en consideración la eficiencia total del sistema:

$$Ms = \frac{Mn \times 100}{Ef}$$

**Donde:**

**Ms:** Modulo del sistema bruto (l/s/ha)

**Mn:** Modulo de parcela neta (l/s/ha)

**Ef:** Eficiencia del sistema (%)

**Intervalo o frecuencia de riego (IR)**

$$IR = \frac{Lámina\ de\ riego}{ETP}$$

**Donde:**

**IR:** Intervalo o frecuencia de riego (días)

**ETP:** Evapotranspiración potencial (mm/día)

Cuando el método de riego es por inundación o aspersión se debe tener en cuenta la lámina de riego y la infiltración, para tal fin se indica que para la aplicación de una cantidad determinada de agua al suelo es necesario conocer su velocidad de infiltración la cual viene hacer la relación entre la lámina de agua infiltrada al suelo y el tiempo que demora en infiltrar dicha lamina; la cual varía de acuerdo a la clase textural del suelo, en la Tabla 1, se presentan los valores de infiltración de los suelos de acuerdo a su velocidad de infiltración básica (Soto 1997).

**Tabla 1.** Velocidad de infiltración (mm/hora) según clase textural.

<b>Textura del suelo</b>	<b>Velocidad de infiltración (mm/hora)</b>
Arena	50
Franco	25
Limoso	12.5
Franco Arcillo Limoso	8
Arcilloso	2

Fuente: Soto (1997).

La necesidad hídrica de un cultivo, se define como la cantidad de agua necesaria para reponer las pérdidas de agua producida por el proceso de la evapotranspiración. En otras palabras es la cantidad de agua que necesita el cultivo para crecer y desarrollarse en una manera óptima. (Purizaca y Andonaire 1990)

El máximo contenido de agua en el suelo bajo condiciones de drenaje libre es conocido como capacidad de campo (CC), esto se produce después de una lluvia o riego abundante. A medida que disminuye la cantidad de agua en el suelo, aumenta la tensión con que es retenida, llegando un momento que las plantas no pueden extraer lo suficiente de agua y el cultivo se marchita irreversiblemente, a esto se denomina punto de marchitez permanente (PMP) (Castañón 2000).



## **3.2. Materiales y Equipo**

### **3.2.1. Material Experimental**

- Semilla de Quinoa Var. Salcedo (INIA).

### **3.2.2. Material de campo**

#### **❖ Fertilizantes**

- Urea (46% de nitrógeno)

#### **❖ Equipo de trabajo**

- Balanza de campo
- Regla graduada
- Wincha (m)
- Hoces
- Bolsas polietileno
- Bolsas del papel
- Libreta de campo
- Lápiz
- Computador
- Lapiceros

## **3.3. Metodología**

Antes de realizar la instalación del trabajo experimental, se hizo la recopilación de la información climática del lugar donde se realizó el estudio, básicamente la temperatura y la precipitación de los meses de septiembre a diciembre de 2016 y enero de 2017, con dicha información se hizo la programación de las dosis o láminas de riego del cultivo de quinua.

Con fines de fertilización se hizo un análisis del suelo de campo experimental en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Foliar de la Universidad Nacional de Trujillo, con la finalidad de saber los valores de nitrógeno, fósforo y potasio del suelo en el que se instaló el trabajo experimental.

En cuanto a la fase experimental del trabajo de investigación; se realizó la siembra de las parcelas de cultivo de la Agencia Agraria de La Libertad, el 26 de septiembre de 2016, previa preparación del terreno y delineación de unidades experimentales, según lo especificado en el croquis del campo experimental (Fig. 1).

En cuanto a las labores culturales, se realizaron abonamientos, deshierbos, aporques, control fitosanitario, se realizaron de acuerdo al periodo vegetativo y con tecnología básica, similar a lo utilizado por los agricultores de la zona.

Los riegos se hicieron de acuerdo al cálculo de la frecuencia de riego, y el tipo de riego utilizado fue por gravedad, ya que es la forma más utilizado por los agricultores que se dedican a la producción de quinua en las zonas costeras.

La variedad de quinua seleccionada para la siembra de las parcelas fue la Variedad Salcedo INIA, debido a que es una variedad muy difundida en las zonas productoras de quinua de región La Libertad; así mismo es una variedad que presenta características morfológicas adecuadas para la zona en estudio, ya que es una variedad de periodo vegetativo corto (120 a 150 días); presenta rendimientos que van desde los 800 a 3500 kg/ha, y sobre todo por su rusticidad y tolerancia a enfermedades clave como el Mildiu (*Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii*) y a insectos como Ticona o Ticuchis (*Feltia experta*); (*Spodoptera* sp.); los cuales son problemas sanitarios presentes en la zona donde se realizó el estudio (Mujica *et al.* 2001).

Para a toma de decisión de los tratamientos, se ha tenido en cuenta la evapotranspiración potencial (ETP), obtenida según el modelo de Blaney Cridle, la cual se detalla a continuación:

$$ETP = p(0.46 t + 8.13)$$

Así mismo se determinó la frecuencia de riego teniendo en cuenta valores como la temperatura promedio de los meses en los que se instaló el trabajo tesis.

**Tabla 1.** Evapotranspiración y frecuencia de riego.

Mes	Temperatura promedio	Valores $p$	ETP (mm/día)	Frecuencia de riego (Días)
Septiembre	20.9	0.27	4.7	1.8
Octubre	21.2	0.28	5	2.2
Noviembre	22.3	0.28	5.1	2.7
Diciembre	23.5	0.29	5.5	3.2
Enero	24.8	0.29	5.7	3.5

Así por ejemplo para el mes de septiembre la ETP sería calculada de la siguiente manera:

$$ETP = p(0.46 t + 8.13)$$

$$ETP = 0.27(0.46 \times 20.9 + 8.13)$$

$$ETP = 4.7 \text{ mm/día}$$

Cálculo que determina que durante un día la planta tendrá una evapotranspiración de 4.7mm/día, y para solventar esa pérdida de agua se calcula la frecuencia de riego con la ayuda del cálculo de esta ETP.

Para calcular la frecuencia de riego se ha tenido en cuenta la textura del suelo, la evapotranspiración potencial (ETP) y la profundidad de las raíces del cultivo; cuyos datos varían de acuerdo al crecimiento y periodo vegetativo, por ejemplo, para calcular la frecuencia de riego para la etapa de emergencia y crecimiento inicial, se calcula lámina de riego con la siguiente fórmula:

$$Lam = \left( \frac{Cc - Pm}{100} \right) \times D \text{ ap} \times Pr$$

**Donde:**

**Lam:** Lamina de riego (mm)

**CC:** Capacidad de campo (%) - 20% para el área en estudio.

**Pm:** Punto de marchitez permanente (%) - 10% para el área en estudio.

**D ap:** Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) - 1.4 g/cm<sup>3</sup> suelos franco arenosos/arenosos

**Pr:** Profundidad radicular (mm) – 60 mm etapa de crecimiento inicial.

Entonces:

$$\text{Lamina de riego} = \left( \frac{20 - 10}{100} \right) \times 1.4 \text{ g/cm}^3 \times 60 \text{ mm}$$

$$\text{Lamina de riego} = 8.4 \text{ mm}$$

Una vez calculada la lámina de riego, esta será empleada para el cálculo de la frecuencia de riego en días, y este dato se consigue aplicando la siguiente fórmula.

$$FR = \frac{\text{Lam (mm)}}{\text{ETP (mm/día)}}$$

**Donde:**

**FR:** Frecuencia de riegos (día)

**Lam:** Lamina de riego (mm)

**ETP:** Evapotranspiración potencial (mm/día)

Entonces:

$$FR = \frac{8.4 \text{ (mm)}}{4.7 \text{ (mm/día)}}$$

$$FR = 1.8 \text{ días}$$

Para el cálculo posterior de la frecuencia de riego de los siguientes meses en estudio, se tomó en cuenta una aproximación de la profundidad de raíces según el estado vegetativo del cultivo, como también los valores de evapotranspiración para los siguientes meses, lo cual tiene un valor promedio de 5mm/día (ver tabla 1).

### **3.4. Diseño Experimental**

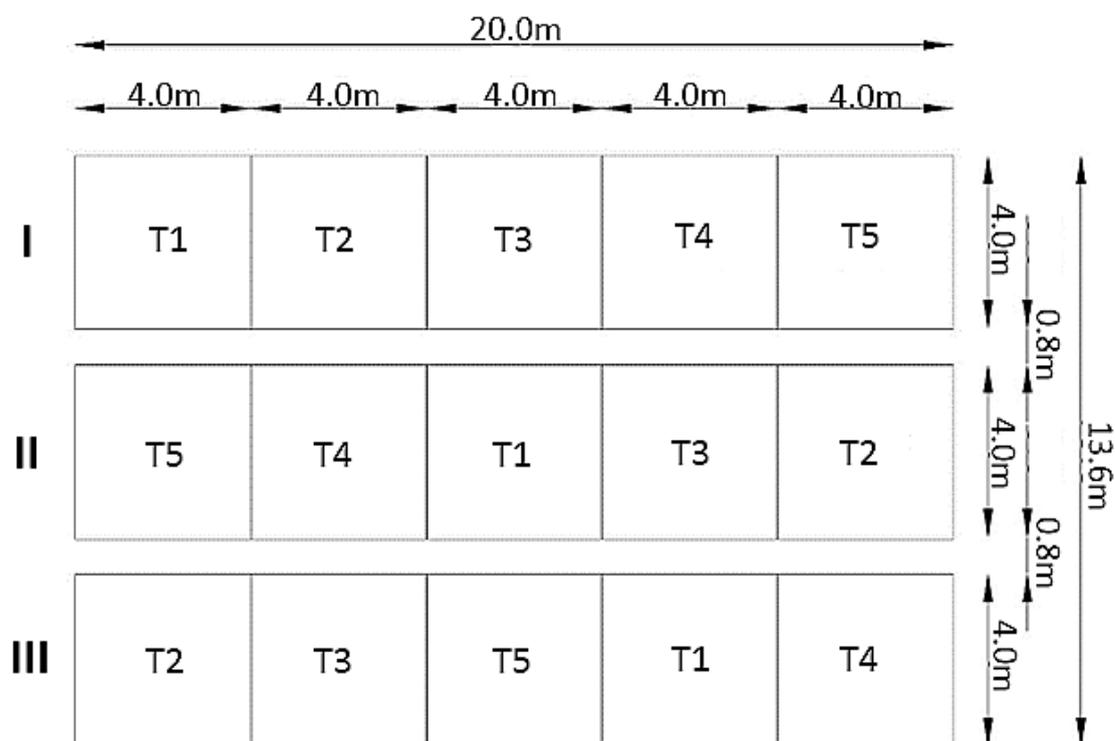
El diseño experimental usado fue de Bloques Completamente Randomizado (BCR), con cinco tratamientos (láminas de agua de 8, 11, 14, 17 y 20 mm respectivamente) y tres repeticiones (Tabla 4). Cada tratamiento estuvo conformado por 3 surcos de 40 plantas cada uno, con un total de 120 plantas por tratamiento. La siembra de las semillas se hizo bajo el sistema de chorro continuo, a una distancia de 1.00 m entre surcos. El área total del campo experimental fue de 272.00 m<sup>2</sup>, siendo el área de cada tratamiento de 16m<sup>2</sup> (ver tabla 2).

**Tabla 2.** Características del campo experimental.

	Bloque	Parcela experimental	Surco
Número	3	5	3
Largo (m)	20	4	4
Ancho (m)	4	4	1
Área (m <sup>2</sup> )	80	16	4

Para la conducción del experimento y el arreglo al azar de las parcelas, se hizo una distribución en el campo de cultivo de tal forma que no haya interrelación entre tratamientos, por medio del randomizaje de cada unidad experimental, así como también la disposición de accesos para la toma de muestras.

Los tratamientos en estudio se indican en la figura 1 (tratamientos y repeticiones o bloques I, II y III):



**Figura 1.** Croquis del campo experimental.

### **3.5. Instalación del cultivo**

#### **1) Preparación del suelo**

La preparación del suelo, permitió habilitar el establecimiento, enraizamiento y desarrollo del cultivo de quinua. Así mismo, mejoró la distribución de la lámina de agua que será aplicada por cada tratamiento.

El terreno fue preparado con tractor agrícola, una vez mullido y nivelado se procedió al surcado a 1.00 m (tabla 2), luego a la demarcación de bloques y parcelas. La preparación se realizó los días 22 y 23 de septiembre del 2016.

#### **2) Siembra**

Se utilizó la semilla de quinua a una densidad de 10kg/ha, la cual se adquirió del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), de categoría certificada, con un poder germinativo de 100% según la prueba de germinación. La siembra se hizo a chorro continuo, y a una profundidad aproximada de 1.5 a 2cm en el suelo, con el fin de que la semilla una vez sembrada no salga a flote después de la aplicación del riego, además para evitar quemaduras por el sol. Posteriormente se hizo el tapado de la semilla manualmente asegurándonos que no haya semilla que quede expuesta. La siembra se llevó a cabo el 26 de setiembre del 2016, según el croquis de la Figura 1.

Para cada tratamiento se hizo tres surcos con una distancia de 1.00 m entre ellos, con un largo de 4 metros y la semilla se sembró a chorro continuo. Los surcos sembrados al borde de cada tratamiento se separaron por 2 m, para evitar así la mezcla de láminas de agua de un tratamiento a otro.

#### **3) Fertilización**

El tipo de fertilización elegida para el experimento fue del tipo químico, utilizando como fertilizante nitrogenado a la Urea (46% nitrógeno), ya que fue el macro elemento que presentó déficit de acuerdo al análisis del suelo (tabla 14, pág. 57); el tipo de fertilización se eligió de acuerdo al material con el que contaba a disposición la Agencia Agraria de La Libertad. El campo de cultivo donde se realizó el experimento según el análisis de suelo, contaba con un buen porcentaje de materia orgánica, ya que había sido anteriormente abonado para la siembra de

hortalizas, y solo se requería ajustar el nivel de nitrógeno en el suelo. La dosis de fertilización aplicada fue 156 Nitrógeno (N) - 138 Fosforo (fosfato diamónico  $P_2O_5$ ) - 125 Potasio (Cloruro de potasio KCl), la cual fue recomendada por la Gerencia Regional de Agricultura.

#### **4) Labores culturales que se realizaron al cultivo**

##### **a) Deshierbo:**

Se realizaron dos deshierbos, el primero cuando la plántula tenía entre 15 a 20 cm a los 30 días después de la emergencia, y el segundo antes de la floración a los 90 días después de la siembra, para evitar competencia por nutrientes, luz, agua, etc., con plantas indeseables.

##### **b) Raleo:**

Estas labores se realizaron con el fin de generar un equilibrio en la densidad de la quinua y eliminar aquellas plantas débiles, pequeñas y de mal porte. Se dejó 10 plantas por metro lineal, 40 plantas por surco, haciendo un total de 120 plantas por tratamiento.

##### **c) Aporque:**

El aporque se realizó antes del panojamiento, esta labor permitió que la planta tenga un mejor anclaje al suelo previniendo caídas o acames del cultivo, permitiendo una buena aireación, fertilidad, facilitar para evaluación de problemas fitosanitarios.

##### **d) Control fitosanitario:**

En esta fase se optó por un control químico, ya que alrededor del campo experimental existían diversos tipos de cultivos, que se comportaron como centro de atracción para los insectos. El control de plagas se hizo cada 15 días aplicando Cipermetrina.

### **3.6. Láminas de agua seleccionadas para el estudio del trabajo de investigación**

Las dosis o láminas de riego seleccionadas para el presente trabajo de investigación, se realizaron teniendo en cuenta la ETP, calculada para la zona en estudio y tipo de suelo es Franco Arenoso.

Teniendo en cuenta que las láminas de riego son de 8, 11, 14, 17 y 20mm de agua respectivamente, estas según el campo experimental en este caso para cada unidad experimental (parcela), se llevó a cuantificar cada lamina de riego en litros, para luego ser suministradas a cada tratamiento en el campo experimental, a cada tratamiento.

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$V = Ah \times 1000$$

Donde:

**V=** Volumen en litros de agua.

**A=** Área de tratamiento en  $m^2 = 16 m^2$

**h=** Altura de la lámina de agua en m = 0.008, 0.014, 0.017, y 0.02 m respectivamente)

Por ejemplo, para el cálculo de a lámina de agua de 8mm:

- Cálculo de la altura de la lámina de agua:

$$h (m) = \text{lámmina (mm)} \div 1000$$

$$h (m) = 8 \text{ mm} \div 1000$$

$$h = 0.008 \text{ m}$$

- Cálculo del Volumen de agua (l) para cada tratamiento:

$$V = Ah \times 1000$$

$$V = (16 \text{ m}^2 \times 0.008 \text{ m}) \times 1000$$

$$V = 128 \text{ l}$$

Siendo el volumen de agua calculado en base a la formula anterior, el que se registra en la Tabla 3.

**Tabla 3** .Tratamientos en estudio, láminas de agua en mm.

<b>Clave del tratamiento</b>	<b>Lámina de riego (mm)</b>	<b>Volumen litro (l) por tratamiento</b>
<b>T1</b>	8	128
<b>T2</b>	11	176
<b>T3</b>	14	224
<b>T4</b>	17	272
<b>T5</b>	20	320

### 3.6. Evaluaciones realizadas durante el experimento

Las evaluaciones se realizaron de acuerdo al periodo vegetativo del cultivo. Se tomaron las alturas de la plantas en cada etapa fenológica (Tabla 4), desde la emergencia hasta el día de cosecha.

Al final del periodo vegetativo del cultivo se evaluaron la altura de planta, altura de panoja y producción en peso de grano (kg), para el cultivo de la quinua.

**Tabla 4.** Evaluaciones de la altura de planta en cada etapa fenológica en función de las diferentes láminas de agua aplicada 8, 11, 14, 17 y 20mm, respectivamente.

<b>Etapas fenológicas</b>	<b>Evaluaciones de altura (m) después de la siembra</b>
Emergencia	2 a 3 días dds
Dos hojas verdaderas	8 a 13 días dds
Ramificación	35 a 42 días dds
Floración	42 a 51 dds
Madurez fisiológica	130 a 140 días dds

### **3.7. Fase de gabinete**

#### **3.7.1. Análisis estadístico de los datos.**

Los datos recolectados de campo fueron ordenado y tabulados para ser procesados. En primer lugar, se realizó el Análisis de Varianza y en los casos en donde se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (láminas de agua de 8, 11, 14, 17 y 20mm respectivamente), se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey al 5%.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente capítulo se presentan los resultados de las evaluaciones hechas en la conducción del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) realizado en el distrito el Porvenir, comprensión de la Provincia de Trujillo del Departamento la Libertad.

Asimismo se ha realizado el análisis estadístico según el diseño de bloque completos randomizados (DBCR) de los 5 tratamientos que son las láminas de riego y tres repeticiones que se indica en el cuadro (tabla 5). Los análisis están enfocados al rendimiento de quinua con respecto a los 5 tratamientos.

**Tabla 5.** Rendimiento de quinua (t/ha), según tratamiento en estudio.

Bloques	LAMINAS DE AGUA					Total Bloque
	8	11	14	17	20	
I	0.347	0.729	1.192	1.517	1.821	5.606
II	0.455	0.724	1.090	1.400	1.618	5.287
III	0.338	0.647	1.113	1.560	1.800	5.458
Total	1.14	2.1	3.395	4.477	5.239	16.351
Prom	0.38	0.7	1.131667	1.492333	1.746333	5.450333

Según la tabla 5, expresa que el tratamiento con la lámina de agua de 20mm obtiene el mejor rendimiento promedio (1.74 t/ha), con respecto a los a los tratamiento de 8, 11, 14 y 17mm respectivamente.

#### 4.1. Análisis de Varianza y de regresión para el rendimiento.

##### 4.1.1. Análisis de Varianza (ANVA) para el rendimiento.

Al hacer el análisis de varianza de los rendimientos obtenidos de cada tratamiento en estudio, contrastado con las diferentes láminas de agua; en La Tabla 6, se observa que existe alta significación estadística entre ellos, puesto que la F

calculada supera ampliamente a las F tabulares para los niveles de 5% y 1% de probabilidades, respectivamente, lo cual indica que existen diferencias significativas en el rendimiento de quinua debido a los efectos de los tratamientos en estudio.

Para los bloques no se encontró significación estadística lo que demuestra que estos fueron homogéneos. El coeficiente de variación es de 7.52, es bajo lo cual se debe probablemente al material experimental (quinua), que ha incidido en el rendimiento para las condiciones en las que se desarrolló el presente trabajo de investigación, y también a otros posibles factores que afectaron el desarrollo de la planta.

**Tabla 6.** Análisis de Varianza (ANVA) para el rendimiento.

Fuentes de variación	Grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	F calculado	F tabular	
					0.05	0.01
Bloque	2	1.03	0.51	0.88	4.46	8.65
Lamina	4	374.68	93.67	160.04**	3.84	7.01
Error	8	4.68	0.59			
Total	14	380.39				

\*\* **Altamente significativo**

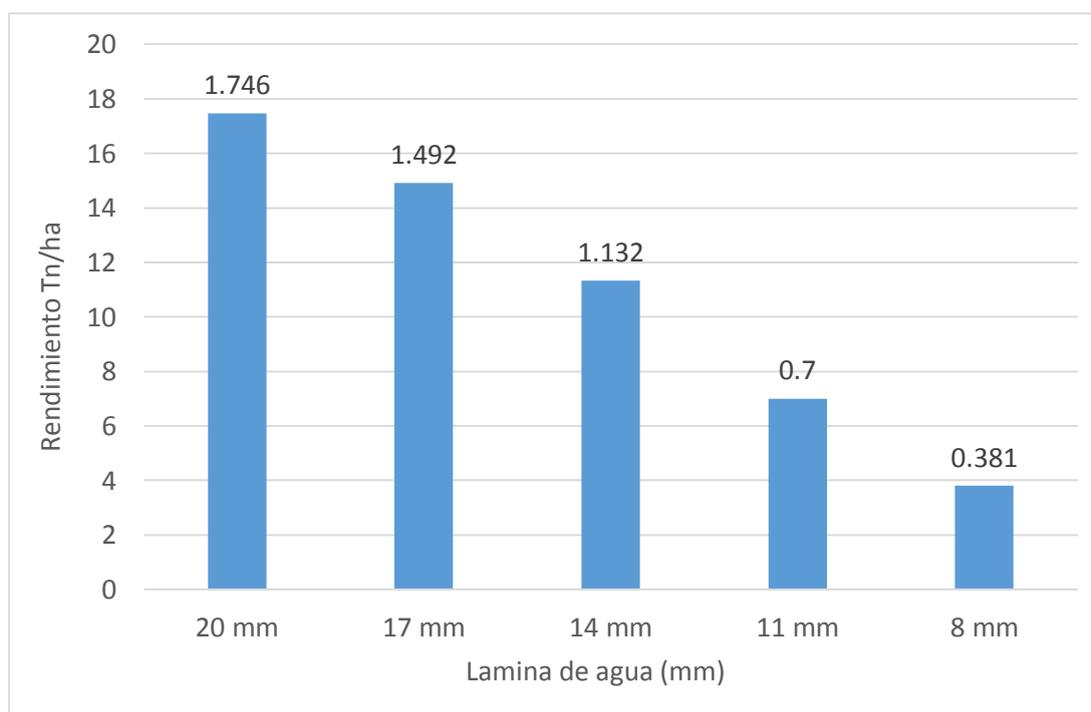
$$CV = 7.52\%$$

Al realizar la prueba de Tukey al 5% de probabilidad (Tabla 7 y Figura 2), se puede observar que la **lámina de 20mm** de agua del tratamiento T5 es estadísticamente superior a los tratamientos en un rendimiento promedio de 1.746 t/ha. Las láminas de agua de 17mm y 14 mm son estadísticamente iguales, con estas láminas se encontró 1.492 t/ha y 1.32 t/ha, respectivamente. La lámina de agua de 11 mm donde se logró 0.7 t/ha, estadísticamente es superior a la lámina de 8 mm donde se logró 0.381 t/ha, pero estadísticamente inferiores al resto de láminas aplicadas, es decir que con estas láminas se encontraron los rendimientos más bajos en el experimento.

**Tabla 7.** Prueba de significación de Tukey al 5% de probabilidad para la variable rendimiento.

Tratamientos	lamina	Medias	Significación al 5%
T5	20	1.746	A
T4	17	1.492	B
T3	14	1.132	B
T2	11	0.7	C
T1	8	0.381	D

Al promediar los tratamientos en estudio (8, 11, 14, 17 y 20 mm, respectivamente) se confirma las diferencias entre estos, por lo que ya podemos ir afirmando que el agua juega un factor importante en los rendimientos de la quinua, bajo condiciones costeras.

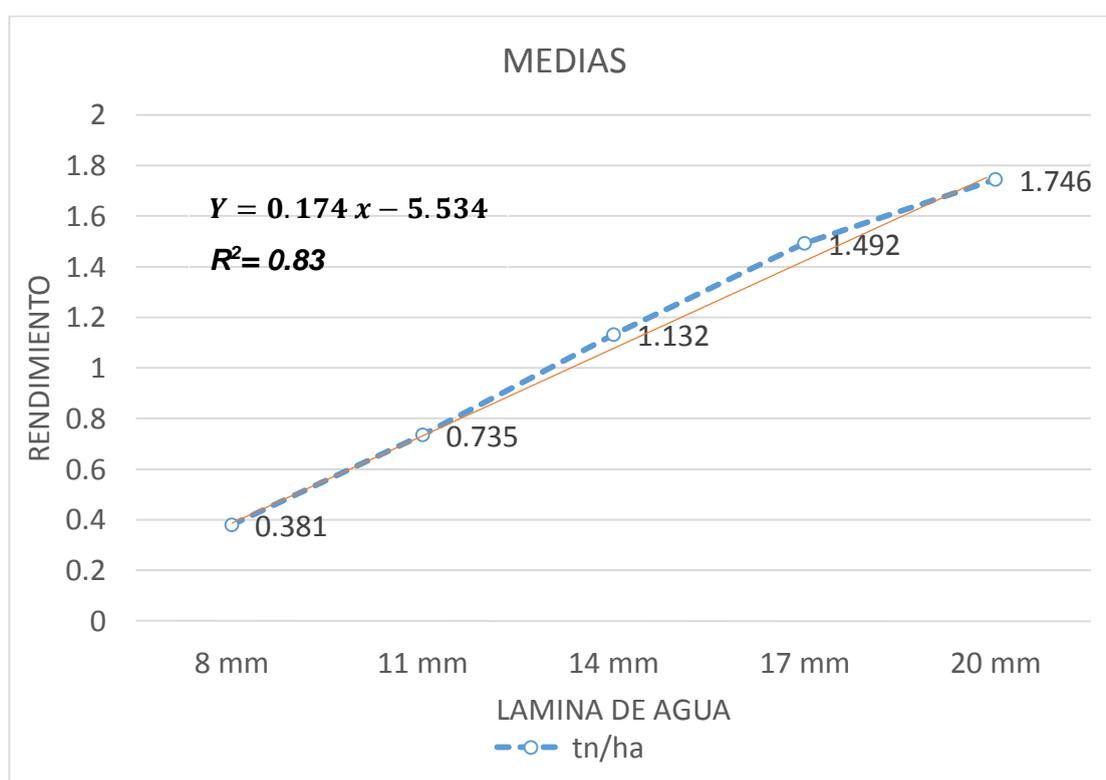


**Figura 2.** Promedio del rendimiento de quinua según los tratamientos en estudio; láminas: 8, 11, 14, 17 y 20 mm respectivamente

#### 4.1.2. Análisis de regresión y correlación lineal para el rendimiento (Y) versus la lámina de agua aplicada en mm (X).

Al correlacionar los rendimientos promedios (figura 3), con los valores de la lámina de agua (Figura 2), se obtuvo el coeficiente de correlación lineal muy alto equivalente a  $r=0.83$ , es decir es decir el grado de asociación entre lamina de riego (X) y rendimiento de quinua (Y), bajo las condiciones en las que se realizó el experimento tuvo una interacción en forma positiva y alta; lo cual se puede inferir que el volumen o láminas de riego que se incrementen en la parcela, los rendimientos tienden también a incrementarse (Fig. 3)

El coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.83$ ), indica que la lámina de agua interviene en un 83% en el rendimiento, y que el 17% restante se deben a otros factores. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión lineal es:  $Y = 1.174 x - 5.534$



**Figura 3.** Recta de regresión lineal para el rendimiento (Y) versus la lámina de agua aplicada en mm (X).

$$Y = 0.174 x - 5.534$$

**Siendo:**                    **Y** = Rendimiento del cultivo de quinua  
                                  **X** = Variante Dosis o lámina de agua de riego

### **Interpretación:**

La fórmula de regresión  $Y=0.174 x-5.534$ ; es un formula de carácter lineal la cual permite determinar en cuanto aumenta el rendimiento en función de la lámina de riego, una vez obtenida se puede calcular la correlación que este caso se interpreta por  $R^2= 0.83$ , que viene a ser la correlación entre el rendimiento y la lámina de agua, y se interpreta de forma siguiente:

**$R^2= 0.83$ :** menciona que el 83% del rendimiento es influenciado por la lámina de agua aplicada, dejando un 17% para otras variables al azar, que pueden ser calidad de semilla, pureza, poder germinativo, etc.

Por lo tanto el coeficiente de correlación entre el rendimiento y la lámina de agua, indica una asociación alta, es decir, el aumento del rendimiento tiene una fuerte asociación con respecto a la aplicación de la lámina de agua aplicada por tratamiento (8, 11, 14, 17 y 20 mm respectivamente).

## **4.2. Análisis de Varianza y de regresión para la altura de planta.**

### **4.2.1. Análisis de Varianza (ANVA) para la altura de planta.**

En La Tabla 8, se observa que existe alta significación estadística para los tratamientos en estudio (láminas de agua), puesto que la F calculada supera a las F tabulares a los niveles 5% y 1% de probabilidades, respectivamente, lo cual indica que existe diferencias significativas en las alturas de plantas provocadas por las diferentes láminas de agua aplicada.

Para los bloques no se encontró significación estadística lo que demuestra que estos fueron homogéneos. El coeficiente de variación ( $CV = 1.77\%$ ) indica la variabilidad del material experimental (quinua) para la variable evaluada (altura de planta). Esta variabilidad posiblemente se atribuya al estado fisiológico de las semillas (viabilidad y al estado latencia) asociados a otros posibles factores que afectaron el desarrollo de la planta.

**Tabla 8.** Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable altura de planta.

Fuentes de variación	Grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	F calculado	F tabular	
					0.05	0.01
Bloque	2	0.00028	0.00014	0.21	4.46	8.65
Lamina	4	0.24	0.06	87.25**	3.84	7.01
Error	8	0.01	0.00068			
Total	14	0.24				

\*\* Altamente significativo

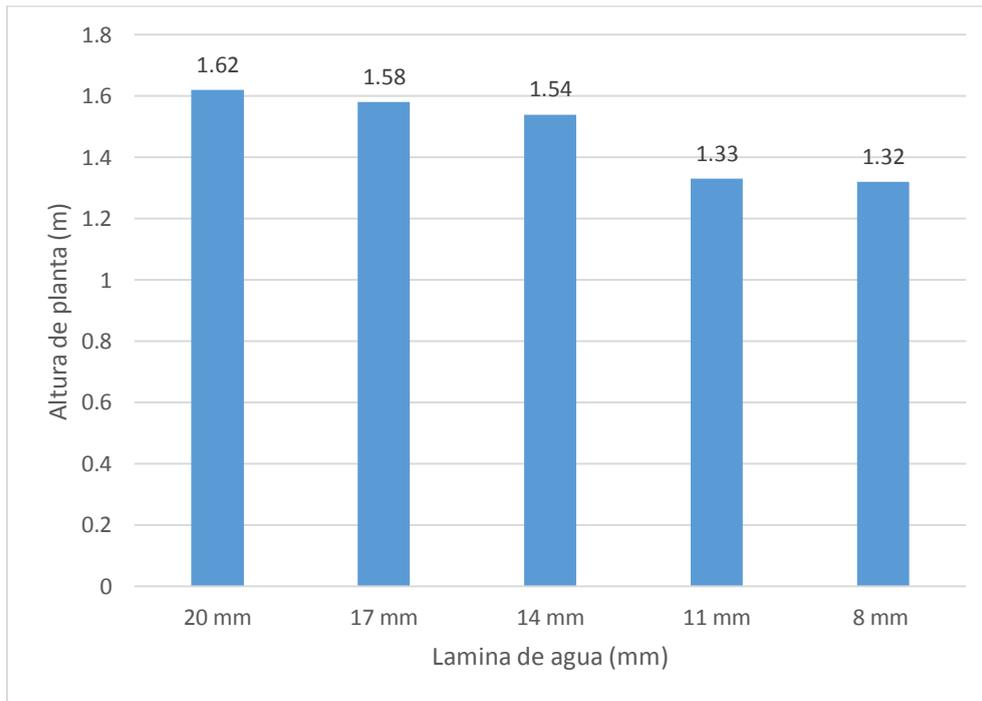
CV = 1.7%

La prueba de Tukey al 5% de probabilidad (Tabla 9 y Figura 4), indica que la lámina de 20mm de agua es estadísticamente superior al resto, con la cual se encontró la mayor altura de planta (1.62 m). Las láminas de agua de 17mm y 14mm son estadísticamente iguales, con estas laminas se encontró 1.58 y 1.54 m de altura respectivamente. Las láminas de agua de 11 y 8 mm son estadísticamente iguales e inferiores al resto de láminas aplicadas, es decir que con estas láminas se encontraron las alturas de plantas más pequeñas.

**Tabla 9.** Prueba de significación de Tukey al 5% de probabilidades para la variable altura de planta.

lámina de agua (mm)	Promedio de altura de planta (m)	Significación al 5%
20	1.62	A
17	1.58	B
14	1.54	B
11	1.33	C
8	1.32	C

Así mismo el promedio de altura, de los tratamientos 14, 17 y 20mm de agua, para esta variable, muestra que la diferencia no es muy específica a diferencia de los tratamientos con de 8 y 11 mm de agua, los cuales presentan tamaños más pequeños con respecto a los tratamientos anteriormente mencionados.

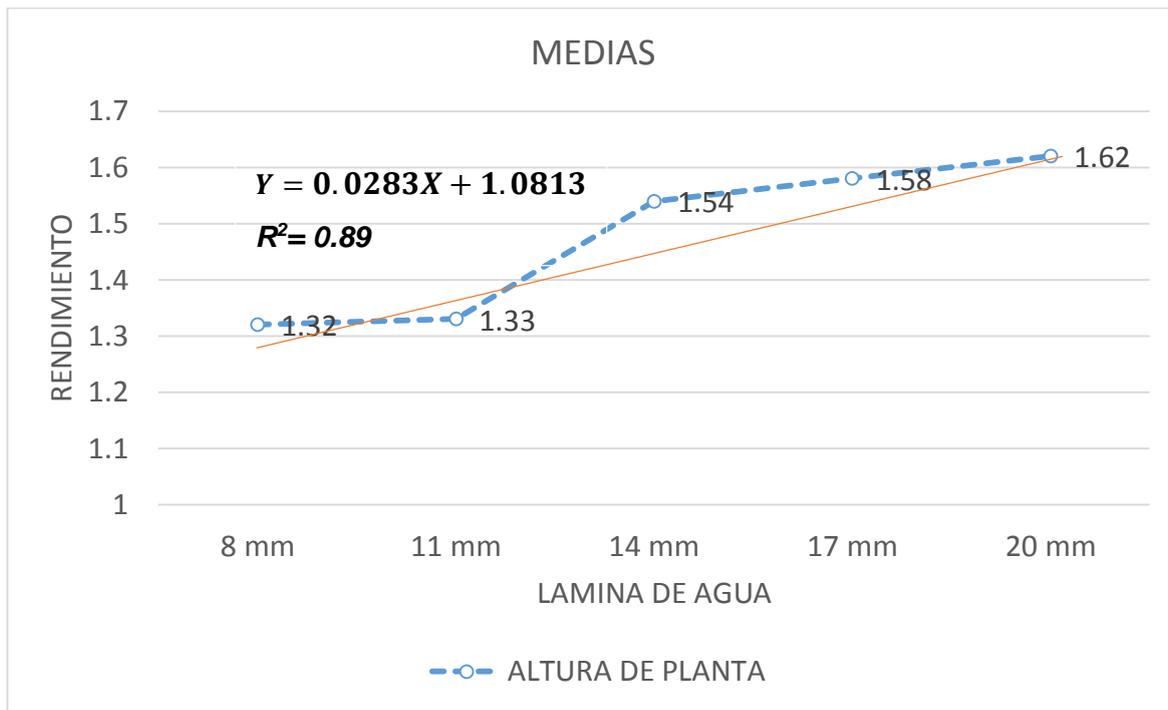


**Figura 4.** Promedio de altura de planta provocado por las diferentes láminas de agua aplicadas (8mm, 11mm, 14mm, 17mm y 20 mm).

#### **4.2.2. Análisis de regresión y correlación lineal para la altura de planta (Y) versus la lámina de agua aplicada en mm (X).**

El coeficiente de correlación lineal calculado ( $r = 0.94$ ), indica que existe asociación positiva relativamente alta entre la variable independiente (lámina de agua) X y la variable dependiente (altura de planta) Y, es decir, que entre variables hay una correlación directamente proporcional; es decir un aumento en la lámina de agua habrá también un aumento en la altura de planta, bajo las condiciones en la que se llevó a cabo el experimento.

El coeficiente de determinación  $r^2 = 0.89$ , se puede inferir que el 89% de los casos está relacionado con las disponibilidades hídricas para la altura de planta, y que el 11% restante se deben a otros factores. El modelo resultante es la ecuación lineal obtenida del análisis de regresión es:



**Figura 5.** Recta de regresión lineal para la altura de planta en metros (Y) versus la lámina de agua aplicada en mm (X).

$$Y = 0.0283X + 1.0813$$

**Siendo:** Y = Altura de planta de quinua

X = Dosis o lámina de agua de riego

**Interpretación:**

La fórmula de regresión  $Y=0.0283x + 5.534$ ; es una caracterización lineal, porque permite determinar en cuanto aumenta la variable Y (altura de planta), en función al contacto con la variable X “(lámina de riego), una vez obtenida se puede calcular la correlación que este caso se interpreta por  $R^2= 0.89$ , que viene a ser la correlación entre la altura de planta y la lámina de agua, y se interpreta de forma siguiente:

$R^2= 0.89 \rightarrow$  El 89% de la altura que la planta obtenga, es influenciado directamente por la lámina de agua aplicada, dejando un 11% para otras variables al azar, que pueden ser, fertilidad del suelo, tipo de suelo, condiciones climáticas, etc.

Por lo tanto el coeficiente de correlación entre la altura de planta y la lámina de agua, indica una asociación alta, es decir, el aumento del tamaño de la planta, tiene una fuerte asociación con respecto a la aplicación de la lámina de agua aplicada por tratamiento (8, 11, 14, 17 y 20 mm respectivamente).

### **4.3. Altura de planta (m) y en las diferentes etapas fenológicas.**

Con respecto a las evaluaciones de altura de planta, se realizaron de acuerdo a su ciclo vegetativo del cultivo, con periodos variados en días, y se tomó en cuenta a partir de la emergencia hasta el día de cosecha. Se evaluaron los indicadores de altura de planta y producción en peso de grano, para el cultivo de la quinua.

#### **4.3.1. Evaluación de evaluación de rendimiento y la altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con una lámina de agua de 8mm.**

En cuanto al primer tratamiento puesto a prueba (8mm); tuvo una etapa de germinación igual a los demás tratamientos (11, 14, 17 y 20 mm respectivamente), la evaluación de alturas para esta lamina comienza con la etapa de pre-emergencia, la cual ocurre entre el 3° y 4° día después de la siembra.

Según Mujica, A. 2006; la germinación de la semilla de quinua se obtiene con dosis desde 5 a 12mm de agua, ya que los embriones emergen rápidamente por su alta susceptibilidad a la humedad; ya que el proceso fisiológico dentro de la semilla se activa rápidamente. Gómez *et al.* 2016; mencionan que las semillas de quinua en condiciones adecuadas de humedad, oxígeno y temperatura pueden germinar muy rápidamente.

El agua es esencial para la iniciación del proceso y el mantenimiento de un metabolismo apropiado. Las temperaturas del suelo son igualmente importantes para la iniciación del proceso. La primera estructura en emerger es la radícula la cual se alarga hacia abajo dentro del suelo y da inicio a la formación del sistema radicular.

Por otro lado el agua en las etapas iniciales es muy necesaria para el crecimiento inicial de la planta de quinua; para el primer tratamiento (8mm) tanto la etapa de emergencia, como la etapa de formación de las primeras hojas verdaderas son prácticamente similares a los demás tratamientos (11, 14, 17 y 20mm).

Cuando las plántulas presentaron el primer par de hojas verdaderas (dos hojas verdaderas) la altura promedio fue 0.043 m, esta evaluación se realizó entre los 8 a los 13 días después de la siembra.

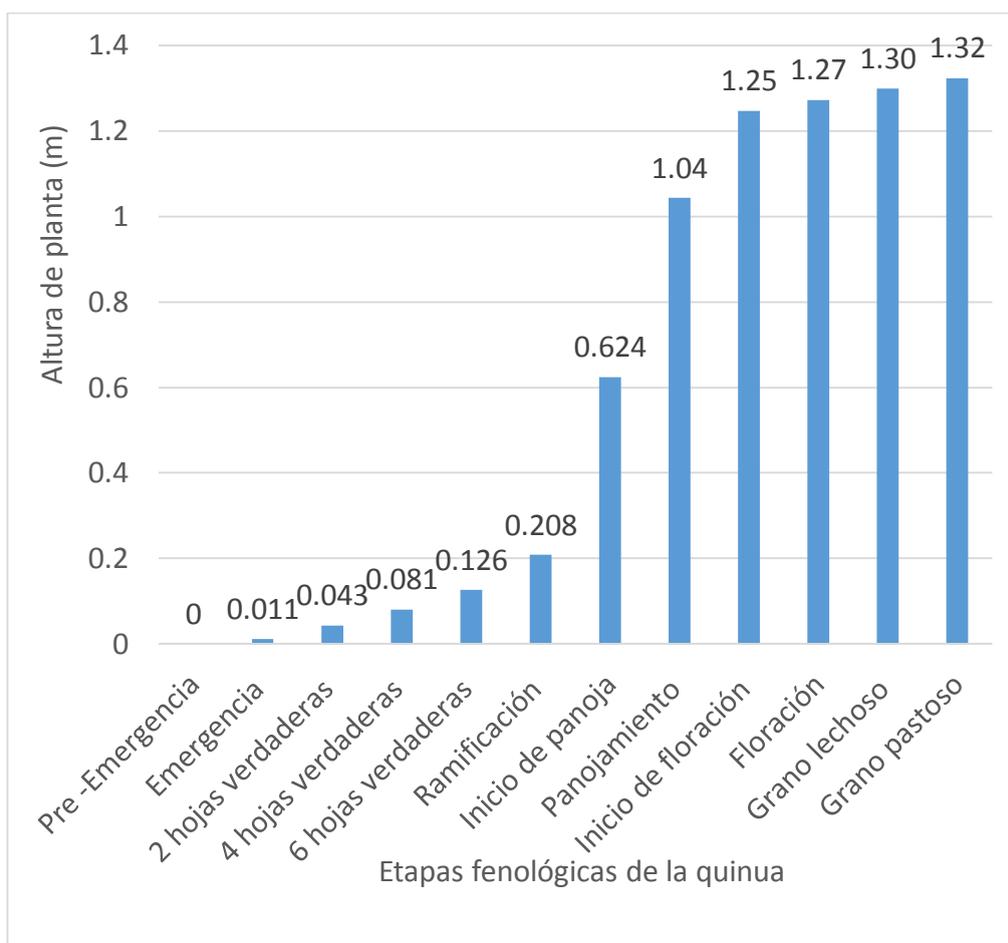
Así mismo cuando la planta presentó el tercer par de hojas verdaderas, la altura de la plantas fue en promedio 0.13m, las evaluación se realizaron entre 27 a los 33 días después de la siembra.

Durante los primeros estadios de crecimiento de la planta, el tamaño de estas es similar a los otros tratamientos, la etapa crucial donde se empieza a notar que las unidades experimentales donde se aplica la lámina de 8mm, empiezan a tener dificultades en cuanto a crecimiento, y porte de la planta es la etapa de la ramificación donde la altura de la planta fue en promedio de 0.208 m. Esta evaluación se realizó entre los 35 a los 42 días después de la siembra y las medidas se tomaron desde la base de la planta hasta el ápice; la cual a comparación con las otras laminas en prueba, esta presentaba los tamaños más pequeños.

Cabe resaltar que las etapas fisiológicas del cultivo no presentaban retrasos, eran similares a los de otros tratamientos, y la diferencia en días era corta, así mismo las etapas de floración en este tratamiento se diferenciaban de las otras, ya que la cantidad de flores y la altura de la inflorescencia era más corta a diferencia de las otras laminas en estudio.

En la etapa de formación de grano, llenado de grano lechoso las plantas llegaron a medir 1.30 m en promedio, esta evaluación se realizó entre los 84 a los 95 días después de la siembra. En la etapa de grano pastoso las plantas alcanzaron hasta 1.32m de altura, esta evaluación se realizó entre los 100 a los 125 días después de la siembra.

En la Figura 6, se muestra la altura de la planta en las diferentes etapas fenológica del cultivo de quinua en función de la lámina de agua aplicada (8mm).



**Figura 6.** Altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con una lámina de agua de 8mm.

#### **4.3.2. Evaluación de la altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con una lámina de agua de 11mm.**

Para el segundo tratamiento o lámina de agua (11mm), la etapa de pre-emergencia no se encontró diferencias con los otros tratamientos en estudio, los resultados de la altura de planta por efectos de la lámina de agua aplicada, contribuía al desarrollo de los diferentes procesos de germinación (hidratación, germinación y crecimiento) que se dan en la semilla. Tanto la germinación y la emergencia de la plántula de quinua fue regular y similar a los demás tratamientos (8, 14, 17, 20mm respectivamente), en promedio llegaron a medir 0.01m de altura desde el nivel del cuello de la plántula hasta los cotiledones. Se inicia con la aparición, entre las dos hojas cotiledóneas, de la primera y segunda hoja verdadera; las cuales crecen y se expanden en direcciones opuestas, simétricas y perpendiculares a los cotiledones que aún permanecen verdes. Se observan los primordios de la tercera

y cuarta hojas en el ápice de crecimiento; antes de que las dos primeras hojas se hayan expandido totalmente, una vez formada la quinta hoja verdadera se observa la formación de yemas en las axilas de las primeras hojas.

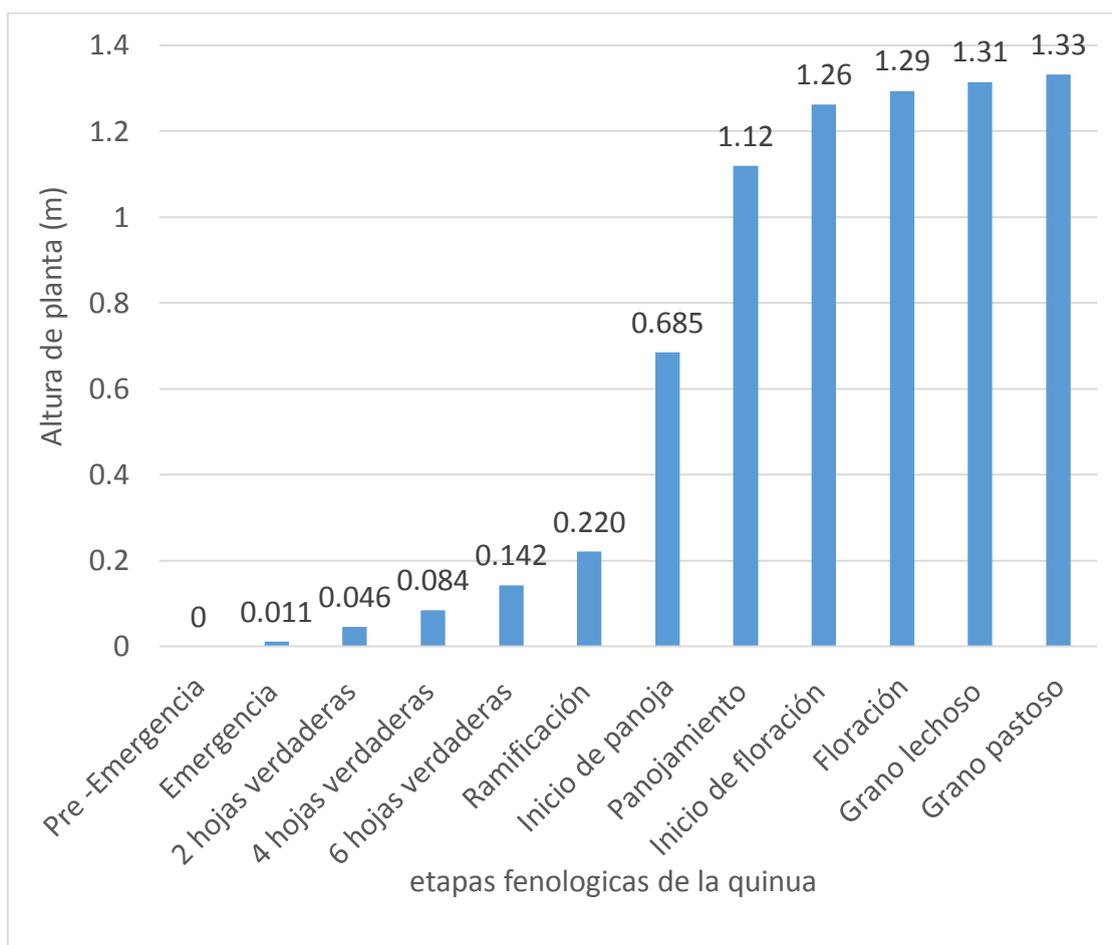
En la etapa de la ramificación la altura de la planta fue en promedio de 0.22 m. Esta evaluación se realizó entre los 35 a los 42 días después de la siembra y las medias se tomaron desde la base de la planta hasta el ápice; así mismo el contraste de alturas en esta etapa es similar al primer tratamiento (8 mm), los cuales presentan diferencias en crecimiento con respecto a los tratamientos 3, 4 y 5 respectivamente.

La formación de panojas en este segundo tratamiento es deficiente a comparación de los otros tratamientos donde las láminas de agua son mayores (14,17 y 20mm); ya que según Mujica, A. 2006; la conformación de la panoja tiene estrecha relación con el suministro de agua, ya que en esta etapa es donde se conforma la panoja, comienza la formación de las inflorescencias y se asegura el rendimiento de la quinua, siendo una etapa crucial para la obtención de buenas cosechas. En esta etapa la altura de la planta en el inicio del panojamiento fue en promedio de 0.685 m. esta evaluación se realizó entre los 43 a los 50 días después de la siembra. En el panojamiento la altura fue en promedio de 1.12 m., esta evaluación se realizó entre los 51 a los 60 días después de la siembra.

En la etapa del grano lechoso las plantas llegaron a medir 1.31 m en promedio, esta evaluación se realizó entre los 84 a los 95 días después de la siembra. En la etapa de grano pastoso las plantas alcanzaron hasta 1.33m de altura, esta evaluación se realizó entre los 100 a los 125 días después de la siembra.

La planta al finalizar su periodo vegetativo obtuvo una altura promedio de 1.33 m, muy por debajo de la altura promedio de la variedad Salcedo INIA, que va desde 1.45 a 1.70 m, alturas registradas en el altiplano, según lo que menciona el MINAGRI 2012.

En la Figura 7, se muestra la altura de la planta en las diferentes etapas fenológica del cultivo de quinua en función de la lámina de agua aplicada (11 mm).



**Figura 7.** Altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con una lámina de agua de 11mm.

#### **4.3.3. Evaluación de la altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con 14mm de agua.**

El tratamiento 3 (14mm de agua), presenta mejores resultados en cuanto a altura y rendimiento a comparación del tratamiento 1 y 2 (8 y 11mm de agua), ya que presenta tamaños similares a los tratamientos 4 y 5 (17 y 20mm de agua), En la Figura 8, se muestra la altura de la planta en las diferentes etapas fenológica del cultivo de quinua en función de la lámina de agua aplicada (14 mm); de donde se nota claramente que la variable altura y la aplicación de agua en el cultivo de quinua bajo las condiciones donde se realizó el estudio están asociadas directamente.

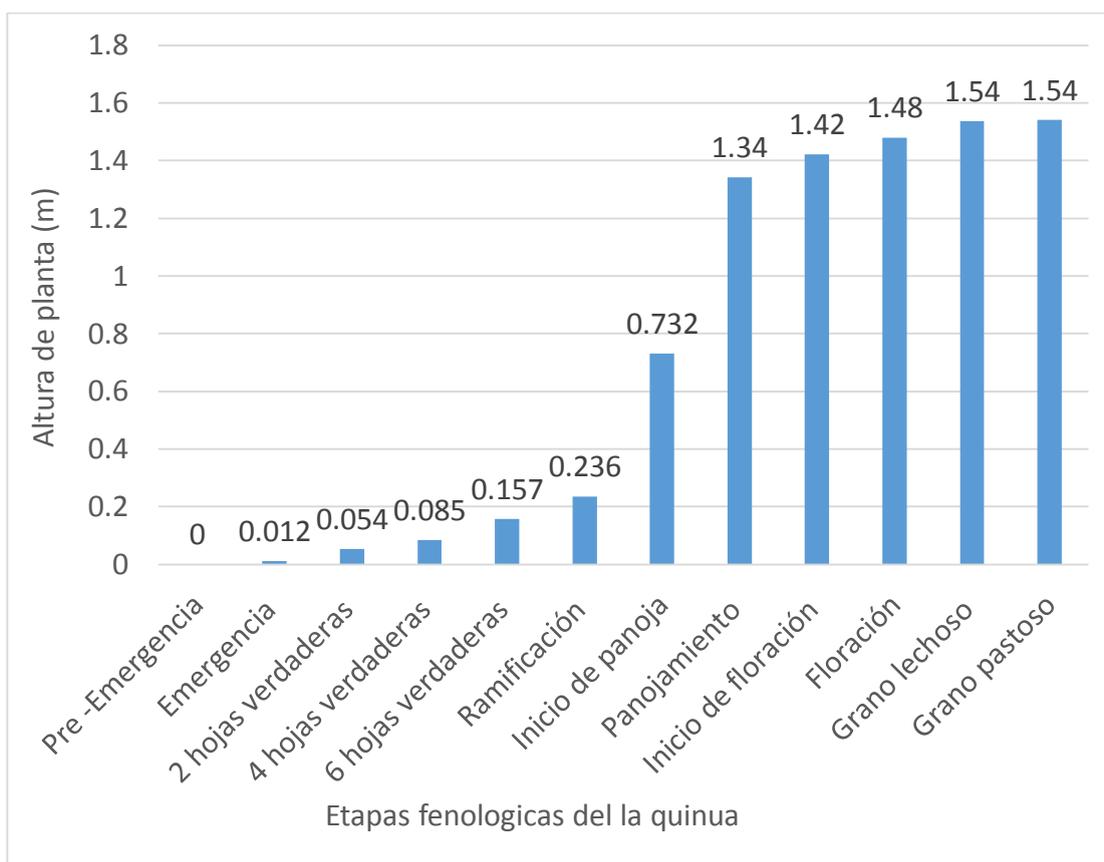
En este trataminto (14 mm), las etapas de crecimiento inicial, pasando por la ramificación y el inicio de panoja, son claramente diferentes a los dos primero tratamientos (8 y 11mm de agua). La emergencia de la plántula de quinua fue a los

3 días después del sembrado, en promedio llegaron a medir 0.012m de altura desde el nivel del cuello de la plántula hasta los cotiledones.

Una de las etapas que caracteriza los tratamientos que disponen más agua (aumento de la lámina de agua), es la ramificación. Según Gómez *et al.* 2016. se inicia con plantas con cinco pares de hojas verdaderas, por lo que se superpone con el desarrollo vegetativo y el desarrollo de botón floral. Las yemas formadas en las axilas de las primeras hojas se activan en forma secuencial; iniciándose con la yema axilar de la primera hoja y así sucesivamente. Se nota con mucha nitidez la presencia de cristales de oxalato de calcio en las hojas dando una apariencia cristalina que caracterizan a la variedad Salcedo INIA., en esta etapa la altura de la planta fue en promedio de 0.236 m. y esta evaluación se realizó entre los 35 a los 42 días después de la siembra y las medidas se tomaron desde la base de la planta hasta el ápice.

En la etapa del inicio de floración, este tratamiento presenta mejor conformación de panoja, mayor número de flores, lo que indica que la asociación de agua con la planta en esta etapa es crucial, en donde las planta llegaron a medir 1.42 m en promedio, esta evaluación se realizó entre los 58 a los 70 días después de la siembra.

Por otro lado la conformación de la planta llega en los estados de llenado de gano, en esta etapa las plantas llegaron a medir 1.54m en promedio. Las evaluaciones se tomaron desde la base de la planta hasta ápice de la inflorescencia, expresando así un desarrollo de planta favorable a comparación de los tratamientos que disponen de más cantidad de agua.



**Figura 8.** Altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con una lámina de agua de 14mm.

#### **4.3.4. Evaluación de la altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con una lámina de agua de 17mm.**

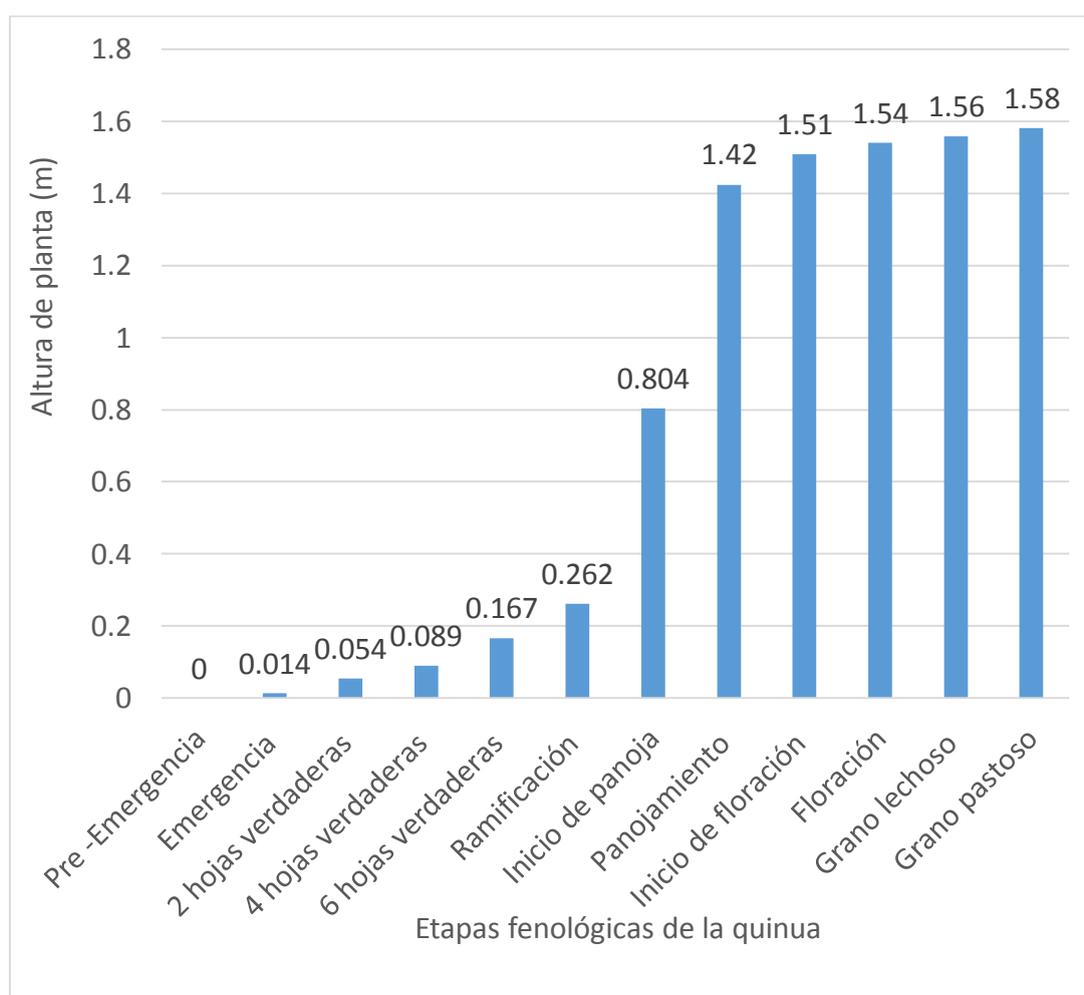
Para el cuarto tratamiento, ya se da a conocer que la aplicación de agua bajo las condiciones donde se instaló el experimento (parcelas de cultivo de la Agencia Agraria La Libertad), se expresa en un buen crecimiento y desarrollo de planta; en la Figura 9, se muestra la altura de la planta en las diferentes etapas fenológica del cultivo de quinua en función de la lámina de agua aplicada (17 mm). Tanto en etapas fenológicas de emergencia, desarrollo primario de plantas y ramificación, es muy parecido al tratamiento 5 (20mm), ya que la altura de las plantas fueron en promedio de 0.262 m.

En cuanto a la etapa de inicio de floración, esta fase fenológica se superpone con la fase de desarrollo vegetativo y con la fase de ramificación y es muy rápida. Es fácilmente reconocible por la aparición del primordio o botón floral en el ápice de la planta, se observa como una estructura compacta protegida por hojas y cubierta

por la pubescencia granular vesicular rica en oxalato de calcio. Se hace evidente, alrededor del estado de 5 pares de hojas. Se describe considerando el tamaño del primordio floral desde su aparición hasta la formación de una estructura piramidal que señala el inicio de la formación de la inflorescencia. Mujica, A. 2006

Así mismo en la etapa de panojamiento la altura fue en promedio de 1.42 m., lo cual propiciaba un buen desarrollo de panoja, y está ligada directamente con la formación de flores, donde las plantas alcanzaron hasta 1.54m de altura, esta evaluación se realizó entre los 73 a los 84 días después de la siembra cuando el cultivo presento el 50% de floración.

Para los estados fenológicos de formación de granos las plantas alcanzaron hasta 1.58m de altura, esta evaluación se realizó entre los 100 a los 125 días después de la siembra, mostrando así su buen potencial y un buen desarrollo de estas.



**Figura 9.** Altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con una lámina de agua de 17mm.

#### **4.3.5. Evaluación de la altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con una lámina de agua de 20mm.**

Según los resultados obtenidos, el tratamiento 5 (20mm de agua), es el mejor en cuanto a medida en altura de planta y rendimiento; esta lámina de agua muestra resultados superiores a los demás tratamientos puestos a prueba (8, 11, 14, 17 mm respectivamente), en cuanto a su aplicación al cultivo de quinua, así mismo la relación entre la altura y el aumento de agua está estrechamente relacionada.

En la Figura 10, se muestra la altura de la planta en las diferentes etapas fenológica del cultivo de quinua en función de la lámina de agua aplicada (20 mm). En la etapa de pre-emergencia no se encontró resultados de la altura de planta ya que la lámina de agua aplicada contribuía al desarrollo de los diferentes procesos de germinación (hidratación, germinación y crecimiento) que se dan en la semilla. La emergencia de la plántula de quinua fue a los 3 días después del sembrado, en promedio llegaron a medir 0.015m de altura desde el nivel del cuello de la plántula hasta los cotiledones.

Se inicia con la aparición, entre las dos hojas cotiledóneas, de la primera y segunda hoja verdadera; las cuales crecen y se expanden en direcciones opuestas, simétricas y perpendiculares a los cotiledones que aún permanecen verdes. Se observan los primordios de la tercera y cuarta hojas en el ápice de crecimiento; antes de que las dos primeras hojas se hayan expandido totalmente, una vez formada la quinta hoja verdadera se observa la formación de yemas en las axilas de las primeras hojas. Alrededor de esta etapa se observa el desprendimiento de las hojas cotiledóneas. Gómez *et al.* 2016.

Cuando las plántulas presentaron el primer par de hojas verdaderas (dos hojas verdaderas) la altura fue 0.059 m en promedio, esta evaluación se realizó entre los 8 a los 13 días después de la siembra. Cuando la planta presentó el segundo par de hojas verdaderas (cuatro hojas verdaderas) la altura fue de 0.093 m, esta evaluación se realizó entre los 19 a los 25 días después de la siembra. Cuando la planta presentó el tercer par de hojas verdaderas, la altura de la plantas fue en promedio 0.201m, las evaluaciones se realizaron entre 27 a los 33 días después de la siembra. Se tomaron las alturas desde la base de la planta hasta el ápice.

En la etapa de la ramificación la altura de la planta fue en promedio de 0.320 m. Esta evaluación se realizó entre los 35 a los 42 días después de la siembra.

La altura de la planta en el inicio del panojamiento fue en promedio de 0.829 m. esta evaluación se realizó entre los 43 a los 50 días después de la siembra. En el panojamiento la altura fue en promedio de 1.43 m., esta evaluación se realizó entre los 51 a los 60 días después de la siembra.

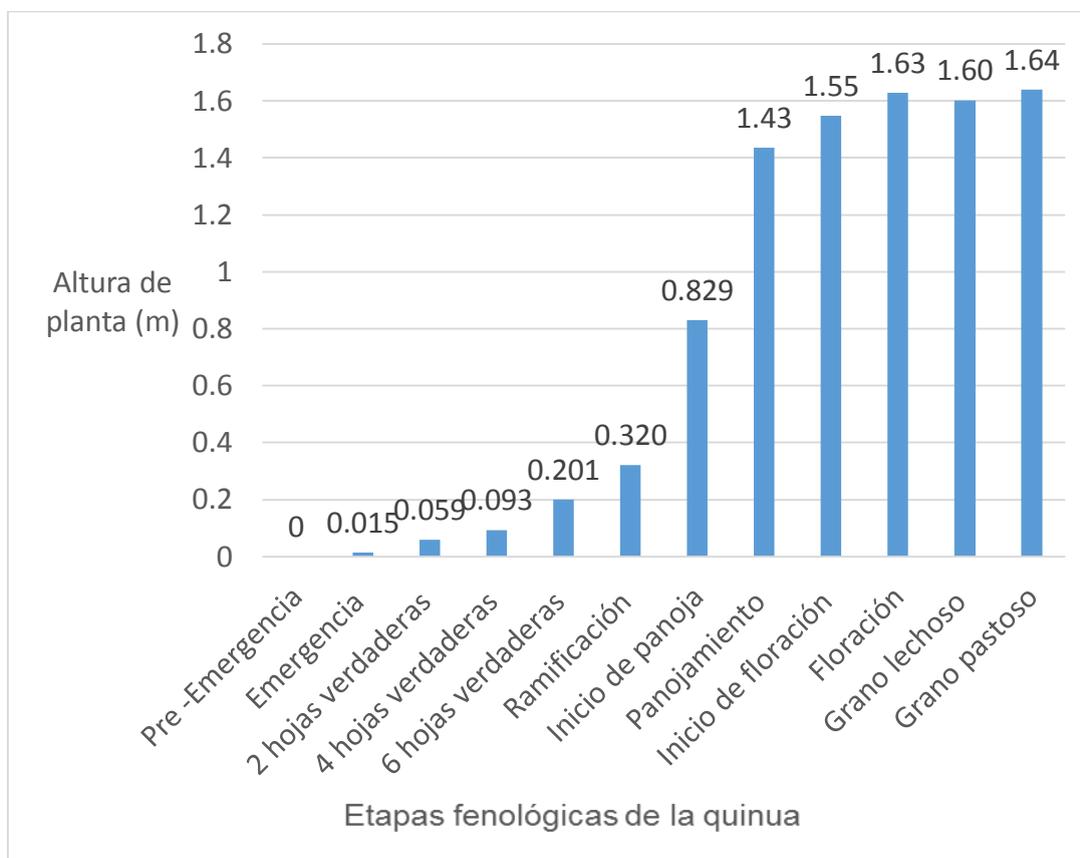
En la etapa del inicio de floración las planta llegaron a medir 1.55 m en promedio, esta evaluación se realizó entre los 58 a los 70 días después de la siembra. En etapa de floración estas plantas alcanzaron hasta 1.63m de altura, esta evaluación se realizó entre los 73 a los 84 días después de la siembra cuando el cultivo presento el 50% de floración.

En la etapa del grano lechoso las plantas llegaron a medir 1.60m en promedio, esta evaluación se realizó entre los 84 a los 95 días después de la siembra. En la etapa de grano pastoso las plantas alcanzaron hasta 1.64m de altura, esta evaluación se realizó entre los 100 a los 125 días después de la siembra. Las medidas se tomaron desde la base de la planta hasta ápice de la inflorescencia.

Esta fase se superpone con la del estado acuoso. Los granos formados y con un 100% de su tamaño empiezan a recibir fotostatos de las hojas, y las partes verdes de las inflorescencias y la sustancia acuosa son reemplazadas con una sustancia lechosa. El color del fruto se diferencia al del perigonio sepaloide o envolturas florales y al de los ejes de la inflorescencia. El perigonio sepaloide se va abriendo a medida que el grano va engrosando, notándose los cinco tépalos separados, con apariencia de una estrella y donde se puede distinguir el color del pericarpio. En este estado se aprecia que el tercio superior de hojas está verde, en plena actividad fotosintética y que los 2/3 inferiores están empezando a decolorarse o en proceso de senescencia. Gómez *et al.* 2016

Posteriormente los granos presentan un estado pastoso con una consistencia densa de color blanco con apariencia de masa con una humedad aproximada de 45%. En esta fase la planta alcanza la madurez fisiológica. Y por último se inicia un proceso de pérdida de humedad de los granos y la planta hasta alcanzar la madurez de cosecha. Los frutos secos con una humedad aproximada de 20% pueden partirse fácilmente con la uña (estado rayable con la uña) y los granos con

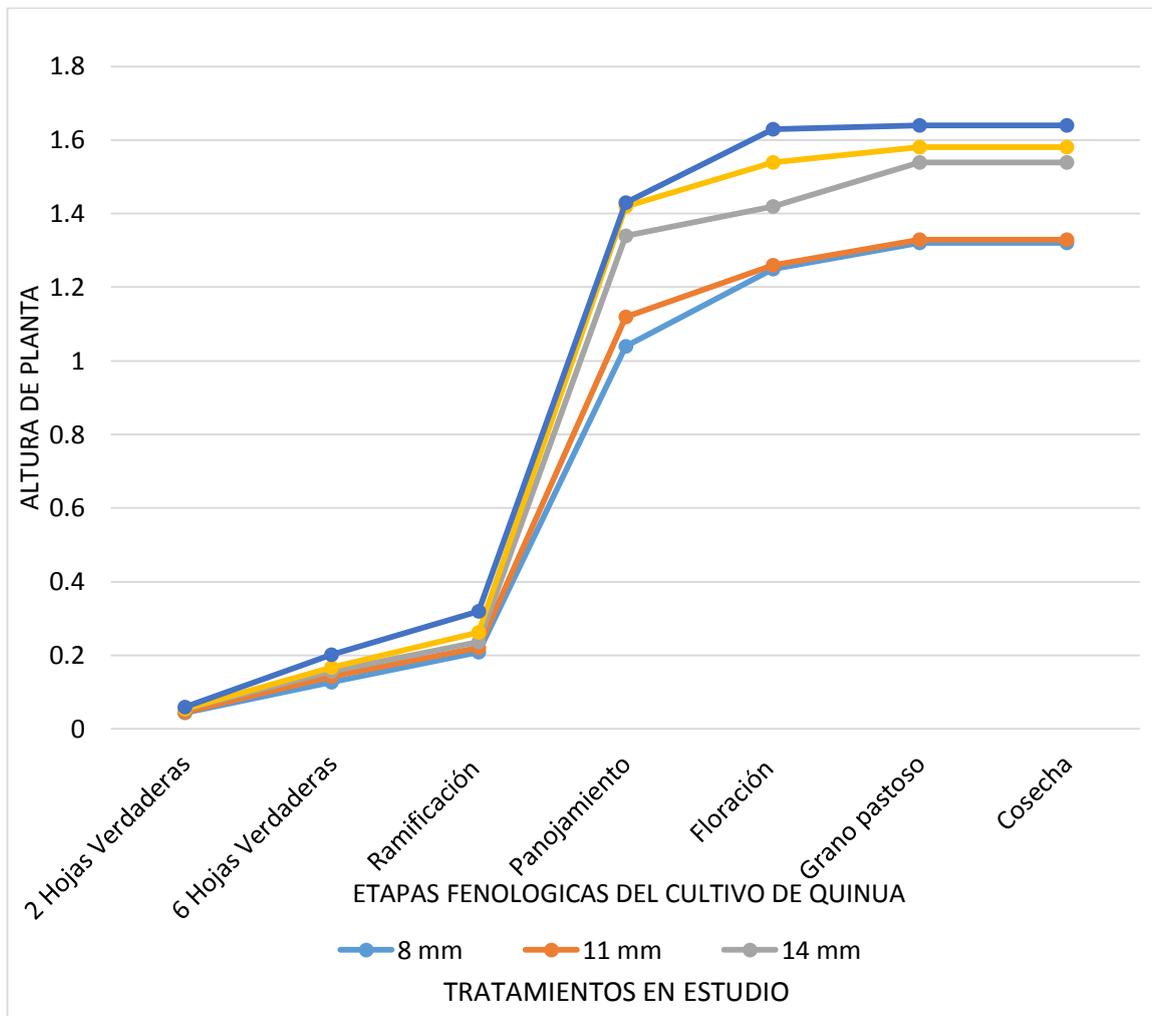
12- 14% de humedad requieren ser partidos con los dientes (estado frágil bajo el diente). Estos porcentajes de humedad en los granos de quinua son similares a los observados en los frutos de cereal. Gómez *et al.* 2016



**Figura 10.** Altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con una lámina de agua de 20mm.

#### **4.4. Comparación de la Altura de planta en las diferentes etapas fenológicas y con diferentes láminas de agua aplicadas (8, 11, 14, 17 y 20mm).**

La altura de plantas de quinua, empiezan a diferenciarse con mayor claridad a partir de la etapa de ramificación, inicio del panojamiento y panojamiento, inicio de la floración y floración, grano lechoso y finalmente el grano pastoso (Figura 11). En la etapa final de la planta (grano pastoso), se encontraron la mayores alturas. Con la aplicación de una lámina de agua de 8ml, se encontró en promedio 1.32m de altura de planta, con 11ml 1.33, con 14ml 1.54, con 17ml 1.58 y con 20ml 1.64m, se evidencias que la altura de planta tiene una relación directamente proporcional a la lámina de agua aplicada, es decir que a medida que aumenta la lámina de agua, aumente la altura de planta.



**Figura 11.** Altura de planta en las diferentes etapas fenológicas con diferentes láminas de agua de aplicadas (8mm, 11mm, 14mm, 17mm y 20mm).

#### 4.5. Evaluación de la madurez fisiológica

Esta evaluación se realizó, haciendo pruebas de presión con las uñas a los granos de quinua para determinar si no se encontraban en estado pastoso. La madurez fisiológica se presentó de los 130 a 140 días después de la siembra, el contenido de humedad del grano varió de 14 a 16%, asimismo en esta etapa ocurre amarillamiento completo de la planta y una gran defoliación.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN**

#### **5.1. CONCLUSIÓN**

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se puede concluir, que en la zona donde se hizo el ensayo; la cantidad de agua (lámina de agua), influye en el rendimiento (kg/ha) de la quinua, donde el tratamiento 5 con la lámina de 20mm, es superior a los demás tratamientos (8,11, 14 y 17 mm respectivamente), ya que con este tratamiento se obtuvo el mejor rendimiento con un promedio de 1.74 t/ha de quinua.

#### **5.2. RECOMENDACIONES**

- Dado a la importancia del cultivo, se recomienda repetir el trabajo de investigación comprobando en otras volúmenes o láminas de agua en la zona donde se realizó el experimento, con la finalidad de comprobar y identificar el comportamiento de este cultivo con dosis más elevadas de agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR Y JACOBSEN, S.-E. 2003. Cultivation of Quinoa on the Peruvian Altiplano. Food Reviews International. New York. Vol. 19, N°. 1 y 2. Páginas: 31 – 41.

Castañón, G. 2000. Ingeniería del Riego. Uso Racional del Agua. Edit. Paraninfo, Madrid – España. 198pp

CHOQUECALLATA, J., J.J. VACHER, T. FELLMANN, Y E. IMAÑA. 1991. Evapotranspiración máxima del cultivo de la Quinoa por Lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el Altiplano Boliviano. Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, La Paz, Bolivia, 63-67pp.

COLLAZOS, C. 1975 “La Composición de los Alimentos Peruanos” Instituto de Nutrición - Ministerio de Salud. 32pp.

DELGADO, A. I., PALACIOS, J. H. y Betancourt, C. 2009. Evaluación de 16 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). Agron. Colomb. Vol 27 no 2. Bogotá.

ESTRADA R, 2014. INIA, Dirección de Extensión Agraria, Subdirección de Proyección Tecnológica. “Tecnología De Producción De Quinoa Para El Mercado Interno Y Externo”. 35pp.

FAO. 1995. “Informe: Evaluación de calidad de granos en América Latina. Propuesta para uniformar el sistema de evaluación”. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.

FAO. 2013. La Quinoa: Cultivo Milenario para contribuir a la Seguridad Alimentaria Mundial. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 10pp.

FONTÚRBEL F. 2003. Problemática de la producción y comercialización de *Chenopodium quinoa* W. (*Chenopodiaceae*), debida a la presencia de las saponinas. 10 páginas.

GEERTS, S. 2008 A. estrategias de riego deficitario a través de modelos de producción de agua del cultivo: La investigación de campo de la quinua en el altiplano boliviano. Disertaciones EN Agricultura. Facultad de Bio - Ingenieros de la Universidad Católica de Lovaina. 211 Páginas.

GEERTS, S., D. RAES, M. GARCÍA, J. VACHER, R. MAMANI, J. MENDOZA, R. HUANCA, B. MORALES, R. MIRANDA, J CUSICANQUI Y C. TABOADA. 2008b. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Science Direct. European Journal of Agronomy. Vol. 28. Pp: 427 – 436.

GESINSKI, K. 2008. Evaluation of the development and yielding potential of *Chenopodium quinoa* Wild. Under the climate conditions of Europe. Part two: Yielding potential of *Chenopodium quinoa* under different conditions. Acta Agrobotánica. Polonia. Vol. 61. N° 1. Páginas: 185 – 189.

GÓMEZ, L. 2010. Cereales y Granos Nativos. Facultad de Agronomía. UNALM. Lima, Perú. 114 páginas

HIDALGO, G. 1971. Métodos modernos del Riego de Superficie. Primera Edición. Editorial S.A. Ediciones. Madrid – España. 163 pp.

JACOBSEN, S. Y VALDEZ, A. 1999. Primer taller internacional de quinua. Libro de Resúmenes. CIP. Lima, Perú. 126 páginas.

JACOBSEN, S-E. 2003A. The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.). CIP, Lima, Perú. Food Reviews International. New York. Vol. 19, N° 1 y 1. Páginas: 167 – 177.

JACOBSEN, S., MONTEROS, C., CHRISTIANSEN, J. L., BRAVO, L.A., CORCUERA, L. J. Y MUJICA, A. 2004. Plant response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) to frost at various phenological stages. European Journal of Agronomy. Vol. 22 (2005), Páginas: 131 – 139.

JACOBSEN, S.-E Y SORENSEN, M. 2010. Quinoa y su producción en Bolivia: de éxito económico a desastre ambiental. Desafíos de la globalización a los sistemas agroalimentarios en américa latina. Ministry of Foreign Affairs of Denmark. International Development Cooperation. DANIDA. Conferencia Internacional sobre América Latina NOLAN. La Paz – Bolivia. 125 páginas.

LUZ GÓMEZ PANDO, ENRIQUE AGUILAR CASTELLANOS. 2016. Guía del cultivo de quinua. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, con asociación con la Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú. Vol. 2. 20 – 42pp.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. 2012, QUINUA: Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva.14pp.

MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO. 2010. Estudio de Mercado para la Quínoa y la Kiwicha en Alemania. 12 pp.

MUJICA, A., JACOBSEN, S.-E., IZQUIERDO, J. Y MARATHEE, J. P. 2001. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. Capítulo II: Agronomía del Cultivo de la Quinoa. FAO. Santiago – Chile.

MUJICA, A. 2006. Descriptores para la caracterización del cultivo de quinua. Manual para caracterización in situ de cultivos nativos. INIEA. Lima, Perú. Páginas: 90 – 94.

PILLSBURY, A. 1968. El empleo de Riegos por Aspersión. Editorial Reverte. Verona – Italia. 188 pp.

PURIZACA, A. Y ANDONAIRE, H. 1990. Estudio de Perfectibilidad del Proyecto de Irrigación a Presión para el Desarrollo de la Unidad Agraria Milagro de San Antonio – Olmos. Tesis. Ing. Agrícola. Universidad “Pedro Ruiz Gallo” – Lambayeque. 152 pp.

PROINPA. Julio - 2011. La quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. FAO oficina regional para América Latina y el Caribe. 58 páginas. Disponible en [http://www.ibce.org.bo/publicaciones/docu\\_rec.asp](http://www.ibce.org.bo/publicaciones/docu_rec.asp) (Instituto boliviano de comercio exterior).

REPO – CARRASCO, R., ESPINOZA, C. Y JACOBSEN, S.-E. 2003. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) y Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International. New York. Vol. 19. N° 1 y 2. Páginas: 179 – 189.

QUILLATUPA, R. 2009. Caracterización de las fases fenológicas, determinación de unidades de calor y rendimiento de 16 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en condiciones de la molina. Lima – Perú. 158 páginas.

SOTO, H. 1997. Necesidades Hídricas de los Cultivos. ADEPRHI. 50pp.

SPEHAR, C. L. y Lorena de Barros Santos. R. 2005. Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. *Notas Científicas. Pesquisa. Agropecuaria brasileira*. Brasilia, Brasil. Vol. 40. N° 6. Páginas: 609 – 612.

TAPIA, M. E., SÁNCHEZ, I., MORÓN., C., AYALA, G., FRIES, A. M. Y BACIGALUPO, A. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. FAO. Segunda Edición. Santiago – Chile. 170 páginas.

TAPIA, M. Y FRIES, A. 2014. Guía de Campo de los cultivos Andinos. FAO - Roma, ANPE - Lima. Primera Edición. 209 páginas.

VEGA, G. 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*), an ancient Andean grain: a review. Publicado por Wiley Online Library. Society of Chemical Industry. 17pp

WILLET, H. Y ANTEN, M. 2000. “Diseño de pequeños Sistemas de Riego por Aspersión en Ladera” PRONAMACHS. Cajamarca – Perú. 70 p.

## ANEXOS

**Tabla 10.** Cronograma de instalación de cultivo.

Tesis: Determinación de la Lámina de Riego del cultivo de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en El Porvenir, Trujillo, La Libertad																					
Nº	COMPONENTE / ACTIVIDAD	UNIDAD	TOTAL	META FISICA																	
															SEMANA				TOTAL		
				Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	1ª	2ª	3ª	4ª				
<b>1.</b>	<b>PLANIFICACION DE ACTIVIDADES</b>																				
1.1.	Implementación de cronograma de actividades de campo	Implementación	1	1												1	1			2	
1.2.	Identificación de parcelas para el trabajo experimental	Identificación	1		1													1	1	2	
1.3.	Compra de insumos y materiales	Adquisición	1		1													1	1	2	
1.4.	Análisis de suelos	Análisis	1		1													1		1	
<b>2.</b>	<b>INSTALACION DEL PROYECTO EXPERIMENTAL</b>																				
2.1.	Limpieza del terreno experimental	Global	2			2										1	1			2	
2.2.	Preparación del terreno	Global	2			2												1	1	2	
2.3.	Delimitación de parcelas	Global	2			2												1	1	2	
2.4.	Surcado	Global	2			2													1	1	2
2.5.	Siembra del terreno experimental	Global	2			2										2				2	
2.6.	Fertilización del cultivo de Quinoa	Global	2			2										2				2	
<b>3.</b>	<b>LABORES CULTURALES</b>																				
3.1.	Deshierbo temprano	Global	2				2										1	1		2	
3.2.	Primer Aporque	Global	2					2									2			2	
3.3.	Segundo Aporque	Global	2						2										2	2	
3.4.	Riegos	Global	4			1	1	1	1							1	1	1	1	4	
3.5.	Control de Plagas y Enfermedades	Global	4			1	1	1	1							1	1	1	1	4	
<b>4.</b>	<b>COSECHA Y POST COSECHA</b>																				
4.1.	Corte o Siega	Global	1							1							1			1	
4.2.	Secado	Global	2							1	1							1	1	2	
4.3.	"Sobado de la Quinoa"	Global	2								1	1					1	1		2	
4.4.	Venteado	Global	2								1	1				1	1			2	
4.5.	Pesaje de grano y Almacenado	Global	2									1	1			1	1			2	
<b>6.</b>	<b>RECOLLECCION DE DATOS E INFORMACION</b>																				
6.1.	Evaluación de parcelas experimentales en campo	Evaluación	4			1	1	1	1							1	1	1	1	4	
<b>7.</b>	<b>ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS DATOS OBTENIDOS</b>																				
7.1.	Trabajo de gabinete	Formulación	5						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	
<b>8.</b>	<b>PREPARACION DEL INFORME</b>																				
8.1.	Redacción del Documento Tesis	Redacción	3									1	1	1	1	1	1	1	1	4	

**Tabla 11.** Etapas del experimento.

<b>Etapas del experimento</b>	<b>Fecha</b>
Siembra de la parcelas experimentales	26 de septiembre de 2016
Primer riego	26 de septiembre de 2016
Ultimo riego	08 de enero de 2017
Cosecha	18 de enero de 2017
Periodo de secado	18 al 28 de enero de 2017
Extracción de grano	28 de enero de 2017
Pesaje de grano	01 de febrero de 2017

**Tabla 12.** Cronograma de aplicaciones de las láminas de riego (Frecuencia de riego).

<b>Frecuencia de Riego</b>	<b>Fecha</b>
1° riego	26/09/2016
2° riego	28/09/2016
3° riego	30/09/2016
4° riego	04/10/2016
5° riego	08/10/2016
6° riego	12/10/2016
7° riego	16/10/2016
8° riego	20/10/2016
9° riego	24/10/2016
10° riego	28/10/2016
11° riego	01/11/2016
12° riego	05/11/2016
13° riego	09/11/2016
14° riego	13/11/2016
15° riego	17/11/2016
16° riego	21/11/2016
17° riego	25/11/2016
18° riego	29/11/2016
19° riego	03/12/2016
20° riego	07/12/2016
21° riego	11/12/2016
22° riego	15/12/2016
23° riego	19/12/2016
24° riego	23/12/2016
25° riego	27/12/2016
26° riego	31/12/2016
27° riego	04/01/2017
28° riego	08/01/2017

**Tabla 14.** Análisis de suelo del campo experimental.

**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y FOLIARES**

Av. Juan Pablo II S/N; Ciudad Universitaria - Trujillo

laboratoriosuelosunt@gmail.com

**INFORME DE ENSAYO**

**N° 1507018**

**Cliente** : Arturo Castro Cruzado  
**Dirección** : Mz 4 Lt 4 Urb. San Judas Tadeo  
**Procedencia de muestra** : La Libertad/Trujillo/Porvenir  
**Matriz** : Suelo  
**Descripción de muestra** : Agencia Agraria  
**Correo Electrónico** : arturo\_hd6@hotmail.com

**Fecha de Muestreo** : 05/08/2016  
**Fecha de Ingreso** : 05/08/2016  
**Fecha de Informe** : 11/08/2016  
**N° de Orden de Análisis** : 08/01/1900  
**Código de Laboratorio** : N° 1508003  
**N° de Páginas** : 1 de 1

Análisis	Método de Referencia	Límite de Cuantificación	Resultado	Unidad	Fecha de Análisis
pH (1:1)	Electrolítico	–	7.2	–	10/08/2016
Conductividad Eléctrica (1:1)	Electrolítico	–	0.2	dS/m	10/08/2016
Materia Orgánica	Calcinación	–	2.4	%	11/08/2016
Fosforo disponible	Olsen modificado	–	34	ppm	10/08/2016
Potasio disponible	Acetato de amonio (AA)	–	167	ppm	11/08/2016

Análisis Mecánico	Método de referencia	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
	Método del hidrómetro	59	17	24	Fr. A.

**Ing. Julio Zavaleta Armas**  
**Jefe de Laboratorio**

**Nota:**

La fecha de muestreo es dato proporcionado por el cliente

**Tabla 15.** Alturas de planta (metro), por lámina de riego aplicada.

Bloques	LAMINAS DE RIEGO					Total Bloque
	8	11	14	17	20	
I	1.32	1.34	1.54	1.56	1.65	1.48
II	1.33	1.34	1.52	1.60	1.57	1.47
III	1.32	1.31	1.56	1.58	1.63	1.48
<b>Total</b>	<b>3.97</b>	<b>4.00</b>	<b>4.62</b>	<b>4.74</b>	<b>4.85</b>	<b>4.44</b>
<b>Prom.</b>	<b>1.32</b>	<b>1.33</b>	<b>1.54</b>	<b>1.58</b>	<b>1.62</b>	<b>1.48</b>

**Tabla 16.** Rendimiento de quinua (tn/ha), según tratamiento en estudio.

Bloques	LAMINAS DE RIEGO					Total Bloque
	8	11	14	17	20	
I	0.347	0.729	1.192	1.517	1.821	5.606
II	0.455	0.724	1.090	1.400	1.618	5.287
III	0.338	0.647	1.113	1.560	1.800	5.458
Total	1.14	2.1	3.395	4.477	5.239	16.351
Prom	0.38	0.7	1.131667	1.492333	1.746333	5.450333

## PANEL FOTOGRAFICO



**Imagen 2.** Surcado para la siembra de quinua.



**Imagen 3.** Siembra de quinua.



**Imagen 4.** Emergencia de las plántulas de quinua.



**Imagen 5.** Plántulas de quinua con presencia de los cotiledones.



**Imagen 6.** Plántulas de quinua con presencia de cuatro hojas verdaderas.



**Imagen 7.** Raleo del cultivo de quinua (etapa de 6 hojas verdaderas).



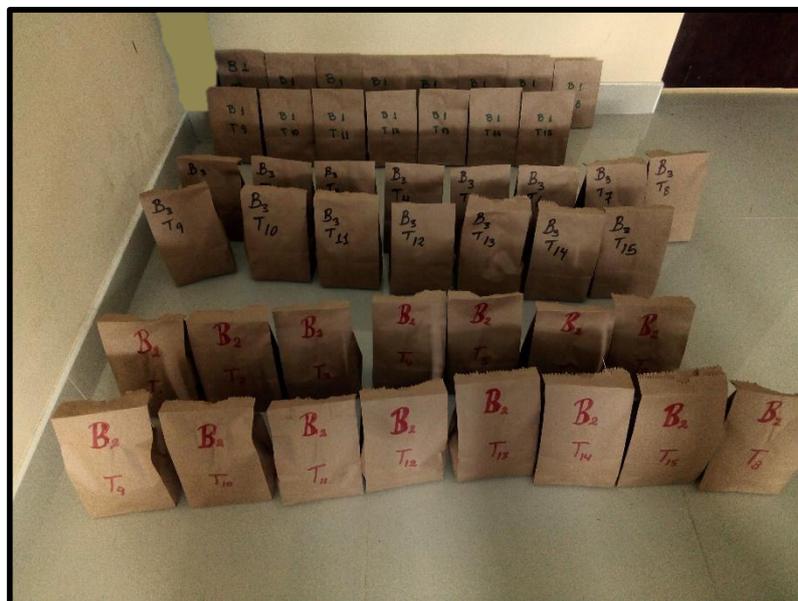
**Imagen 8.** Etapa de ramificación.



**Imagen 9.** Comparativo de cosecha del tratamiento 5 Versus el tratamiento 3.



**Imagen 10.** Buena conformación de Panojas en el tratamiento 5 (Madurez fisiológica).



**Imagen 11.** Muestras de cosecha de quinua en los 3 bloques.