

Fertirrigación y déficit hídrico en el cultivo de *Chenopodium quinoa*

(Un Modelo de Proyecto de Tesis de Grado Academico)

Lisset Huanca Huisa¹
Marcelo Rojas Cairampoma²

¹ Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Candidata al Grado de Magister en Riego y Drenaje en la UNALM. alis_huanca@hotmail.com.

² Profesor Visitante en la Maestría de Riego y Drenaje de la UNALM. Gestor de: <http://mrojas.perulactea.com/>, mrrojasc41@hotmail.com, mrcairamoma@lamolina.edu.pe

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA ESCUELA DE POSGRADO FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS Proyecto de Tesis: 2020-I SILABO</p>	
<p>Nota editorial previa. El tema se desarrolló en el Curso Seminario de Tesis I, cuyo resumen académico es el siguiente: “Gestionar el pensamiento complejo en la competencia y calidad de la investigación formativa y científica en la génesis de los conocimientos, mediante el método Gestión holística de los conocimientos (GEHOCOCI) plasmada en la correcta Redacción científica y confrontada en protocolos <i>ad hoc</i>, para calificar: Estructura, Argumento, Sustento bibliográfico, Lenguaje científico e Identidad (EASLI/EALI); como medios para la formulación y elaboración de un Proyecto de Tesis de Grado personal, sustentable y defendida en el ámbito del aprendizaje invertido de la asignatura, mediante la activa coevaluación y coparticipación en el aprendizaje, sincrónica y asincrónica, concerniente al campo de la Ingeniería Agrícola; sistematizándolo y contextualizándolo en la ecología del episteme multidisciplinario de las características geográficas, económicas y socioculturales del Perú”.</p>		

AGRADECIMIENTO: Al Aula de Seminario de Tesis 2020-I de la Maestría en Riego y Drenaje (Modalidad virtual) de la UNALM; por el desarrollo compartido del Proyecto, en el contexto del aprendizaje invertido del pensamiento y la gestión de los conocimientos científicos.

Resumen

El uso de sistemas de riego más eficientes, como el riego localizado, en zonas de escasez hídrica, es prácticamente necesario para brindar los requerimientos hídricos de las plantas. Pero existe la posibilidad de ajustar aún más los aportes de agua a sus estrictas necesidades, con la aplicación de técnicas de riego como es el déficit hídrico, en cultivos tolerantes a la falta de humedad en periodos estratégicos de su fenología, con rendimientos aceptables; logrando además, un mejor manejo eficiente del agua. Del mismo modo, con la fertirrigación se consigue una máxima eficiencia del agua porque permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes

a través de los sistemas de riego. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico en el rendimiento del cultivo de *Chenopodium quinoa*, variedad INIA 427- Amarilla sacaca. Se empleara el diseño completamente al azar con 3 tratamientos y 4 repeticiones, con la siguiente descripción y codificación: T1 (sin déficit hídrico); T2-FF (con déficit hídrico desde la fase de la floración hasta la fase de llenado de grano pastoso); y T2-FG (con déficit hídrico desde el inicio de la formación del fruto hasta la fase de llenado de grano pastoso), con una dosis de fertilización de 100-90-100 kg/ha de nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K), respectivamente, para todas las parcelas. El Proyecto se desarrollará en el año 2021; a un costo calculado en 5 140.10 soles (1 452 dólares).

Palabras clave: Proyecto de Tesis de Grado | Maestría en Riego y Drenaje | Modelo estructural | Déficit hídrico | Fertirrigación | *Chenopodium quinoa* | Rendimiento | Calidad | Ahorro de agua | Perú.

1. Planteamiento de problema

Está comprobado que en el último siglo se ha producido un proceso acelerado del calentamiento de la atmósfera a nivel mundial. Esto está produciendo un cambio climático y una variabilidad climática que afectan los regímenes de precipitación, y consecuentemente, los regímenes hidrológicos de las cuencas (Hendriks, 2009). Asimismo, el incremento de la población mundial, la demanda creciente de agua por parte de los sectores productivos y la expansión de las ciudades en un contexto de cambio climático, vienen ejerciendo una gran presión sobre la generación y distribución del recurso hídrico (León y Iguíñiz, 2011).

El agua es un recurso de gran importancia para la economía y sociedad (León y Iguíñiz, 2011). En el Perú, el consumo anual de agua es aproximadamente de 20 072 millones de metros cúbicos por año, de los cuales el 80 % se emplean en la agricultura de regadío (Laclette y Zúñiga, 2012). En zonas desérticas con escasez de lluvias, como la Costa Peruana, el agua de riego siempre ha sido escasa; de los 53 ríos que discurren desde Tumbes a Tacna, el 80 % de ellos, son de régimen irregular y solamente el 20 % se puede utilizar todo el año. Por este motivo, el recurso hídrico, se constituye como el factor limitante de primer orden, en la producción agrícola. Esta situación obliga a todo agricultor, usuario y/o productor a manejar el agua de riego, con mucha racionalidad y eficiencia (PSI, 2003).

Además, de las aproximadamente 1,7 millones de hectáreas con infraestructura de riego a nivel del país, 1,1 millones de hectáreas se ubican en la Costa; de éstas últimas, sólo unas 850 mil hectáreas son cultivadas efectivamente (Hendriks, 2009).

Para prácticamente todos los sistemas de riego en el país, existe una medida que es la más eficaz contra la falta de disponibilidad del recurso hídrico: incrementar las eficiencias de riego. Considerando que la eficiencia global de riego en la mayoría de los sistemas no supera el 35 a 40 %, y que es posible alcanzar eficiencias promedios en el orden del 50 % o más, aún con métodos de riego no presurizados (Hendriks, 2009).

Ante ello, surge la necesidad de buscar estrategias para atenuar esta situación de escasez hídrica, haciendo uso de técnicas de riego que permitan ahorros de agua sin mermar la producción ni la calidad de los cultivos, como es el déficit hídrico controlado que además consigue incrementar la eficiencia de uso de agua (EUA) de un cultivo (Sánchez y Torrecillas, 1995).

Del mismo modo, el fertirriego, es una opción para ahorrar agua, si se aplica óptimamente el agua y de los nutrientes a la planta, y alcanzar altos rendimientos. La necesidad de fertilización de un cultivo depende de la demanda de nutrientes que este requiere, del suministro de nutrientes por el suelo y la dinámica de absorción de los nutrientes por la planta (Zapata, 2002).

Por otro lado, el cultivo de quinua, es una planta eficiente en el uso del agua, es tolerante y resistente a la falta de humedad del suelo y posee una extraordinaria adaptabilidad a diferentes pisos agroecológicos (PROINPA, 2011). Además este cultivo ha cobrado mayor importancia en el país debido al incremento de la demanda a nivel mundial (IICA, 2015). La superficie cosechada, en el 2005 alcanzó 28 600 hectáreas y en el 2016 se incrementó a 64 200 hectáreas (MINAGRI, 2017). Pero la producción de este cultivo se realiza principalmente bajo condiciones de secano (IICA, 2015), por lo que el manejo de agua, riego y drenaje no es considerado como prioritario o no se practica, generando deficiencias en el manejo agronómico del cultivo.

Formulación del problema:

¿Cuál es el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico en el rendimiento del cultivo de *Chenopodium quinoa*?

2. Justificación

La aplicación de períodos de déficit hídrico a través de una disminución temporal del riego en las plantas durante las fases de crecimiento vegetativo, es una alternativa para reducir el consumo de agua (Alfonso, 2006), sin afectar sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha, pero que puede producir algún beneficio agronómico, principalmente en la mejora de la eficiencia en el uso del agua (Romero et al. 2010).

En la Costa, el 87 % de la superficie agrícola cuenta con riego. Sin embargo, su provisión de agua enfrenta serios desafíos, pues esta región presenta indicadores de escasez hídrica, debido a la presión sobre el agua en las cuencas asociadas a las Autoridades Autónomas de Agua (AAA) que excede en un 40 %, una situación considerada de alto riesgo bajo estándares internacionales (León y Iguíñiz, 2011).

El manejo de técnicas de riego como el déficit hídrico controlado, es una buena alternativa de ahorro de agua (Sánchez y Torrecillas, 1995). Cualquier disminución de

consumo del agua de riego permitirá ampliar la superficie regada, y la producción. La determinación de prioridades debe ir dirigida por un lado, a cultivos que necesiten menores cantidades de agua, buscando variedades mejor adaptadas a la aridez (Zapata, 2002).

Asimismo, mediante el fertirriego es posible aplicar, en forma oportuna y precisa, los nutrientes que requieren las plantas para obtener buenos rendimientos. Esto permite incrementar la eficiencia del uso de los fertilizantes, además de reducir el riesgo potencial de contaminación de los acuíferos por la lixiviación de los nitratos provenientes de los fertilizantes nitrogenados (Hochmuth y Clark, 1991). También minimiza la pérdida de nutrientes por debajo de la zona radical, que disminuye las ganancias del productor y daña al medio ambiente, lo cual es una manera muy ineficiente de manejar los recursos naturales y reducir la calidad de vida (Zapata, 2002).

Por otro lado, frente al desafío de fomentar e incrementar la producción de alimentos de calidad para la población mundial, en el contexto del cambio climático, la quinua es una opción para contribuir a la seguridad alimentaria regional y mundial (PROINPA, 2011). Debido a su alto valor nutricional, como fuente saludable de proteínas, energía y micro elementos nutritivos (IICA, 2015), además es el único alimento vegetal que posee todos los aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas y no contiene gluten. Estos aminoácidos esenciales se encuentran en el núcleo del grano, a diferencia de otros cereales que los tienen en el exosperma o cáscara, como el arroz o trigo (PROINPA, 2011).

En el 2012, la superficie cultivada de quinua en el Perú, fue de 3 798 hectáreas con riego y 34 545 hectáreas sin riego (IICA, 2015). La tecnología existente en el riego, principalmente en riego localizado, puede ajustar los aportes de agua de riego a sus estrictas necesidades, ahorrando así el exceso y evitando un consumo consuntivo (Sánchez y Torrecillas, 1995).

La quinua es muy eficiente en el uso del agua, la aplicación de períodos de disminución hídrica en fases fenológicas estratégicas, pueden generar un mínimo impacto posible sobre el rendimiento. Además, estos riegos deficitarios pueden proporcionar retornos económicos por una unidad de superficie, mayores que los obtenidos con riegos normales para máximas las producciones (Sánchez y Torrecillas, 1995).

3. Operatividad teórica

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico en el rendimiento del cultivo de *Chenopodium quinoa* en La Molina para la campaña 2021.

Basado en la estructura de la matriz de siete elementos (Rojas, 2020a, pag 51).

3.1.2. Objetivos específicos

- 1) Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en la biomasa aérea de *Chenopodium quinoa*.
- 2) Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en el índice de cosecha de *Chenopodium quinoa*.
- 3) Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en el contenido de proteína de *Chenopodium quinoa*.
- 4) Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en el peso de mil granos de *Chenopodium quinoa*.
- 5) Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en la granulometría de *Chenopodium quinoa*.
- 6) Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en la eficiencia de uso de agua de *Chenopodium quinoa*.

3.2. Matriz de consistencia

Basado en el modelo multivariado: Problema, Objetivos, Variables y Operacionalización de variables (Rojas, 2020a, pag 52).

Problema	Objetivos	Variables	Operacionalización de variables			
			Indicador	Instrumento	Escala	Fuente
¿Cuál es el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico en el rendimiento del cultivo de <i>Chenopodium quinoa</i> ?	O. General: Evaluar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico en el rendimiento del cultivo de <i>Chenopodium quinoa</i> en La Molina para la campaña 2021.	Rendimiento	kilogramos por hectárea	- balanza	- Promedio: 2 300 kg/ha	<i>Chenopodium quinoa</i>
	O. Esp. 1: Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en la biomasa aérea de <i>Chenopodium quinoa</i> .	Biomasa aérea	kilogramos por hectárea	- balanza	- Alto - Medio - Bajo	<i>Chenopodium quinoa</i>
	O. Esp. 2: Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en el índice de cosecha de <i>Chenopodium quinoa</i> .	Índice de cosecha	porcentaje	- balanza	- Alto: $\geq 45\%$ - Medio: 30% - Bajo: $\leq 21\%$	<i>Chenopodium quinoa</i>
	O. Esp. 3: Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en el contenido de proteína de <i>Chenopodium quinoa</i> .	Contenido de proteína	porcentaje	- analizador de alimentos Infratec-1255	- Rango: 12 - 22 %	<i>Chenopodium quinoa</i>
	O. Esp. 4: Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en el peso de mil granos de <i>Chenopodium quinoa</i> .	Peso de mil granos	gramos	- contometro - balanza de precisión	- Rango: 1,2 - 6,0 g	<i>Chenopodium quinoa</i>
	O. Esp. 5: Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en la granulometría de <i>Chenopodium quinoa</i> .	Granulometría	milímetros	máquina clasificadora de grano con zarandas	- Grande: $\geq 2\text{ mm}$ - Mediano: 1,9 - 1,4 mm - Pequeño: $\leq 1,4\text{ mm}$	<i>Chenopodium quinoa</i>
	O. Esp. 6: Identificar el efecto de la fertirrigación y déficit hídrico, en la eficiencia de uso de agua de <i>Chenopodium quinoa</i> .	Eficiencia de uso de agua	kilogramos por metro cubico	- programación de riego - balanza	- Rango: 0,1 - 2,5 kg/m ³	<i>Chenopodium quinoa</i> y agua de riego

4. Marco teorico

4.1. Antecedentes de la investigación

4.1.1. Investigaciones internacionales

En el Altiplano Central de Bolivia, Esprella (2011), realizo un estudio sobre el rendimiento del cultivo de quinua con tres niveles de abono orgánico (16, 12 y 8 t/ha), bajo condiciones de riego deficitario durante la fase de floración en un primer tratamiento y durante la fase de floración y grano lechoso para un segundo tratamiento, en tres variedades de quinua K'osuña, Pandela rosada, Maniqueña. Los resultados obtenidos del análisis estadístico mostraron diferencias significativas en el rendimiento; para el segundo caso con aplicación de riego deficitario en la fase de floración y grano lechoso el rendimiento de la variedad K'osuña fue de 593,06 kg/ha seguido de la variedad Maniqueña con 487 kg/ha y por último la variedad Pandela con 433,2 kg/ha, en cambio para el primer caso con aplicación de riego deficitario en la fase de floración los rendimientos fueron menores, para la variedad K'osuña, Maniqueña y Pandela rosada con 576; 449 y 439 kg/ha respectivamente.

Garrido et al. (2013), evaluó el rendimiento de nueve genotipos de quinua sometidas a dos disponibilidades hídricas (riego y secano) durante dos temporadas en la zona central de Chile, generándose cuatro ambientes diferenciados principalmente por el monto de agua recibida y su distribución durante la temporada: E1 (487.8 mm), E2 (245.9 mm), E3 (660 mm), E4 (567.1 mm). El análisis de varianza indico interacciones significativas entre el genotipo y el periodo de siembra. Los resultados se muestran de mayor a menor rendimiento en la siguiente secuencia E3; E1; E4 y E2 con 2 244; 1 900; 823 y 620 kg/ha, respectivamente. El rendimiento promedio de los genotipos de quinua varió entre 754 y 2 032 kg/ha, los genotipos de quinua en E2 y E4 solo suplieron el 44 y 80 % del agua de ETo (evapotranspiración de referencia), respectivamente, y solo pocos genotipos lograron alcanzar el 50 % de su rendimiento potencial.

Mientras que Gámez (2018), trabajo en condiciones de invernadero en el Instituto de Agrobiotecnología de Pamplona, España, con la variedad costera Rainbow y la variedad de altiplano Illpa provenientes de Chile. Ambas crecieron en óptimas condiciones de riego, hasta el inicio de la formación del fruto, a partir de ese momento, se inició la aplicación de déficit hídrico, estableciendo tres tratamientos: el primero de control o 100 % de la capacidad de retención del sustrato en el contenedor (CC), el segundo al 50 % CC y el tercero al 20 % CC. Los resultados demostraron que no hubo efecto del déficit hídrico en las variables de rendimiento y calidad de grano. Sin embargo, hubo un incremento significativo de la biomasa de raíces en plantas sometidas a estrés en las dos variedades. La variedad costera Rainbow presentó mayor uso eficiente del agua bajo condiciones de déficit hídrico, a diferencia de la variedad Illpa. Por último se concluyó que las dos variedades de quinua emplearon diferentes estrategias de tolerancia al

déficit hídrico impidiendo la disminución del rendimiento y calidad del grano en condiciones de invernadero.

4.1.2. Investigaciones nacionales

Siesquén (2018), investigo el comportamiento del cultivo de quinua en condiciones de deficiencia hídrica, en el Valle Chancay en Lambayeque a partir de dos tratamientos de humedad con las siguientes características: en el primer tratamiento considero la conducción de parcelas bajo condiciones de deficiencia hídrica durante todas las etapas fenológicas del material genético hasta la madurez del cultivo (R0); y en el segundo tratamiento considero el manejo del cultivo bajo condiciones controladas de humedad o de riego durante todas sus etapas fenológicas (R1). En el caso de la R1, para las variedades Amarilla Zacaca, Blanca Junín, Roja Pasankalla, Santa Ana, Amarilla Marangani, e INIA Salcedo se registraron los mayores rendimientos de grano con 4 940,48; 4 261,90; 4 281,74; 3 928,57; 3 749,81 y 3 757,93 kg/ha, respectivamente; mientras que las variedades Negra Collana y Mantaro, mostraron los menores rendimientos de grano, con 3 452,38 y 2 996,03 kg/ha, respectivamente. En cambio para la R0, la variedad Amarilla Zacaca registra el mayor rendimiento de grano con 3 588,88 kg/ha, mientras que la variedad Mantaro, obtuvo el menor rendimiento equivalente a 1 996,03 kg/ha.

Por otro lado Herreros (2018), determino el mejor nivel de nitrógeno y fósforo en el rendimiento del cultivo de quinua en la variedad INIA Salcedo, bajo riego por goteo en la Provincia de Caylloma, Irrigación Majes. Para el estudio estableció 8 tratamientos y 3 repeticiones con 90; 180; 270 y 360 kg/ha de nitrógeno (N), 90 y 180 kg/ha de fósforo (P) y un nivel constante de 100 kg/ha de potasio (P). Los resultados del análisis estadístico mostraron que el mejor tratamiento de fertilización se obtuvo con un nivel de 90-90-100 kg de NPK, con un rendimiento de 4 490,74 kg/ha y una rentabilidad de 0,47 % con diferencias estadísticas significativas. Además concluyo que: con solo 90 unidades de N se obtuvo el mayor rendimiento (4 961,57 kg/ha), una menor incidencia de mildiu a los 53 días (46,67 %), mejor peso de mil granos (3,36 g) y un mayor índice de cosecha (54,30 %).

4.1.3. Investigaciones locales

En la Universidad La Molina, Antezana (2019), estudio la respuesta de la quinua al estrés de sequía y calor entre los meses de febrero a mayo del 2017. Los genotipos evaluados fueron dos variedades comerciales: INIA Salcedo y Amarilla Sacaca, y dos líneas mutantes: MQ PAS 50 y MQ AM 250-283, que fueron sembrados bajo condiciones de riego diferentes; al primer tratamiento se le aplico los riegos con normalidad, mientras que el segundo tratamiento estuvo sometido a déficit hídrico desde la fase de floración hasta la madurez fisiológica. De las variables evaluadas en rendimiento, biomasa aérea, índice de cosecha, altura de planta, días a la floración y días a la madurez y el peso de

mil granos no se encontraron diferencias estadísticas en el ambiente de riego normal (testigo) y el riego deficitario. Sin embargo, el contenido de proteína del grano sí se vio afectada por el estrés de sequía y calor, con una reducción de 15,34 % en el tratamiento de riego normal a 14,25 % en el tratamiento de riego deficitario.

Deza (2018), evaluó el rendimiento y calidad dos variedades comerciales de quinua (INIA Salcedo y INIA 420-Negra Ccollana) y dos líneas mutantes avanzadas (MQPas-50 y LM 89-77), bajo dos sistemas de aplicación de fertilizantes, el fertirriego y el edáfico. Según la prueba de Duncan ($\alpha= 0,05$), demostró que existe diferencias significativas en el rendimiento; en el caso de la aplicación por fertirriego se obtuvo 2 996,2 kg/ha en comparación de la dotación convencional o edáfica que fue de 3 347,7 kg/ha.

Otro estudio realizado por Baumann (2018), demostró que la respuesta a un diferenciado nivel nutricional es altamente significativo. El mayor rendimiento obtenido fue de 4 209 kg/ha al aplicar nitrógeno, fósforo, potasio (NPK) + Calcio, con diferencias porcentuales de 13,7 % respecto a NPK + Ca + Micro elementos y de 16,1 % respecto a NPK, que presenta el menor rendimiento. Con relación al contenido de proteínas, mejor nivel nutricional fue NPK + Ca + Micro elementos con un valor de 24,7 %. Igualmente identifiqué que a un nivel de NPK + Calcio, la duración del ciclo vegetativo fue de 155 días con un requerimiento de riego de 2 750 m³/ha, y una eficiencia de uso de agua (EUA) de 1,53 kg/m³ con un índice de cosecha (IC) de 32,5 %.

4.1.4. Análisis y síntesis de los antecedentes

En los trabajos de investigación mencionados anteriormente, evaluaron la respuesta del cultivo de quinua en condiciones de déficit de agua, en ambientes y condiciones diversas. De los resultados se concluye por una parte que, la valoración de los caracteres agronómicos de rendimiento, biomasa, índice de cosecha, altura de planta, y el peso de mil granos, demostraron que no existe diferencias significativas en el cultivo de quinua bajo condiciones de riego normal y riegos deficitarios, manifestando la tolerancia al estrés por déficit hídrico de las variedades de quinua estudiadas. Pero combinado con altas temperaturas, el contenido de proteína se ve afectada reduciéndose hasta en un 10 %, por otra parte se presenta un incremento significativo de la biomasa de raíces, en condiciones de invernadero, esto demuestra las distintas estrategias del cultivo de quinua para tolerar la falta de agua, y evitar la disminución de su rendimiento.

Por otra parte los estudios realizados por Esprella, Garrido y Siesquén, consiguieron diferencias significativas en el rendimiento y la calidad de la quinua, otras características fisiológicas de la planta también se vieron afectadas, esto se puede explicar por el estrés hídrico ocurrido durante todo el periodo fenológico de la quinua; otros factores determinantes fueron la zona y la temporada en que se efectuaron estos trabajos, y de las variedades de quinua que usaron.

Si bien el cultivo de la quinua es resistente a la sequía, se presenta ciertas fases fenológicas que si requieren la aplicación de riego oportuno para completar su ciclo vegetativo como; la germinación, durante el crecimiento y desarrollo vegetativo, y la prefloración. En zonas áridas o con sequías la aplicación de riegos deficitarios es una alternativa para realizar un buen uso del agua de riego. Además se debe considerar el uso de variedades tolerantes a la sequía, que pueden lograr reducir pérdidas de rendimiento.

4.2. Relación teórica

4.2.1. Cultivo de quinua

4.2.1.1. El origen de la quinua

La quinua, es una especie originaria de América del Sur. Fue domesticada en los países andinos hace 5 000 años; generaciones de agricultores estuvieron involucradas en la selección de quinua, lo que explica la gran diversidad genética encontrada en la actualidad (Lumbreras et al., 2008; Bazile et al., 2016).

El centro de origen está ubicado alrededor del lago Titicaca, entre Cusco (Perú) y el lago Poopó (Bolivia), en estas zonas se encuentra la mayor variación genética tanto de plantas cultivadas como de especies silvestres (Gandarillas, 1968; Mujica et al., 2001; León, 2003).

Existen evidencias de que la quinua, junto con el maíz, la papa, otras tuberosas y raíces fueron los alimentos principales de los pobladores del Perú antes de la conquista española. Con la introducción de cultivos como los cereales (trigo, cebada, avena), las leguminosas (arvejas, habas) y otros, la superficie cultivada de quinua se redujo notablemente (Gómez y Eguiluz, 2012).

La quinua fue rechazada por ser considerada una comida india, pero nunca desapareció a pesar de la introducción de otras especies. Durante siglos de abandono, el potencial de la quinua fue redescubierto durante la segunda mitad del siglo XX, generando un renacimiento de su producción (Bazile et al., 2016).

4.2.1.2. Valor nutritivo del cultivo de quinua

La quinua posee un alto valor nutricional, por ser rica en proteínas, lípidos, fibra, vitaminas y minerales (Navruz y Sanlier, 2016).

- **Proteínas**

El contenido de proteína en la materia seca de las semillas de quinua varía entre 13,8 a 16 %, mayor que del arroz, cebada, maíz, centeno y sorgo (Navruz y Sanlier, 2016). Al evaluar más de 900 accesiones de quinua de la colección peruana, encontraron que el contenido de proteína varía entre 14-22 % (Gómez y Eguiluz, 2012).

Sin embargo, la ventaja nutricional más importante de la quinua es la composición de aminoácidos esenciales, especialmente el contenido de lisina. La lisina es uno de los aminoácidos más escasos en los alimentos de origen vegetal y su proporción en la quinua casi duplica su contenido en los cereales (Repo-carrasco et al., 2003).

- **Vitaminas**

Las semillas de quinua contienen piridoxina (B6), riboflavina y ácido fólico en altas concentraciones, niveles más altos que los granos de trigo, avena, cebada, centeno, arroz y maíz. Además, es una excelente fuente de vitamina E, superior al trigo (Navruz y Sanlier, 2016).

- **Minerales**

El contenido de cenizas en promedio es de 3,4 %, mayor que el arroz (0,5 %) y el trigo (1,8 %), por lo tanto, las semillas de quinua contienen grandes cantidades de minerales (Navruz y Sanlier, 2016). También es una buena fuente de hierro, magnesio y zinc si se compara con las recomendaciones relativas del consumo diario de minerales (FAO, 2013).

- **Grasas**

Las grasas son una importante fuente de calorías y facilitan la absorción de vitaminas liposolubles. Debido a la calidad y cantidad de su fracción lipídica, la quinua es considerada como una semilla oleosa, el contenido de aceite es de 7 % (Navruz y Sanlier, 2016).

El contenido total de materia grasa en la quinua, más del 50 % viene de los ácidos grasos poliinsaturados esenciales linoleico (omega 6) y linolénico (omega 3), que no son producidos por el cuerpo. (FAO, 2013).

- **Saponinas**

La quinua del mismo modo que todos los alimentos vegetales, contiene algunos componentes no nutritivos que pueden reducir el contenido y la absorción de sustancias nutritivas. La más notable es su saponina, que se encuentran en la capa exterior de la semilla de la quinua y normalmente se extrae para eliminar el sabor amargo (FAO, 2013).

Las saponinas, son compuestos químicos del tipo esteroide o triterpenoide que forman espuma al ser lavados con agua. Los niveles de saponinas son variables encontrándose desde quinuas dulces hasta quinuas muy amargas (Gómez y Eguiluz, 2012).

4.2.1.3. Morfología del cultivo de quinua

Según Gómez y Eguiluz (2012), la descripción morfológica de la quinua es la siguiente:

Raíz: es de tipo pivotante, consta de una raíz principal de la cual salen un gran número de raíces laterales muy ramificadas. Su longitud es variable, de 0,8 a 1,5 m.

Tallo: el tallo en la unión con el cuello de raíz es cilíndrico y a medida que se aleja del suelo se vuelve anguloso en las zonas de nacimiento de hojas y ramas. La corteza es firme y compacta formada por tejidos fuertes y lignificados. La altura de planta, desde la base del tallo al ápice de la inflorescencia, varía de 0,5 m a más de 3 m.

Hojas: el peciolo de las hojas es largo y acanalado, el color del peciolo puede ser verde, rosado, rojo o púrpura. Las láminas de la hoja son más grandes en el follaje y más pequeñas en la inflorescencia. Las hojas y las partes tiernas de la planta están generalmente cubiertas con una pubescencia vesicular granular blanca, rosada o púrpura. Esta pubescencia contiene oxalato de calcio capaz de absorber agua del medio ambiente e incrementar la humedad relativa de la atmósfera que rodea las hojas, influenciando en la transpiración.

Inflorescencia: es una panoja con una longitud variable de 15 a 70 cm. Generalmente se encuentra en el ápice de la planta y en el ápice de las ramas. Tiene un eje principal, ejes secundarios y eje terciarios, se pueden observar dos tipos de panoja; las amarantiformes con los glomérulos directamente insertados en el eje secundario y con forma casi rectangular, muy semejantes a dedos; y las glomeruladas donde los glomérulos están ubicados en el eje terciario y toman la apariencia redondeada como las cuentas de un rosario.

Flores: la quinua es una especie ginomonoica, es decir, tiene flores hermafroditas y pistiladas en la misma inflorescencia, las cuales puede ser sésiles o pistiladas y están agrupadas en glomérulos. La posición del glomérulo en la inflorescencia y la posición de las flores dentro del glomérulo, determinan el tamaño y el número de los granos o frutos.

Fruto: es un aquenio cubierto por el perigonio sepaloide o las envolturas florales que rodean el fruto, está constituido del pericarpio (capa del fruto) y la semilla. En la superficie se encuentra la saponina que le da el sabor amargo al grano. El fruto puede alcanzar un diámetro de 1,5 a 3 mm.

Semilla: Presenta tres partes bien definidas, el epispermo, embrión y perispermo. El epispermo, es la capa que cubre la semilla y está adherida al pericarpio. El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula y constituye, aproximadamente, el 30 % del volumen total de la semilla y envuelve al perispermo como un anillo.

4.2.1.4. Fenología del cultivo de quinua

Son parámetros que permiten identificar la fenología del cultivo, que es importante para la toma de decisiones con respecto a cuándo aplicar el riego y la fertilización, en el siguiente cuadro se indica las fases fenológicas notables por su morfo-anatomía (Espíndola, 1994):

Cuadro 4.1. Etapas fenológicas y características del cultivo de quinua

Etapas fenológicas	Características	Inicio (entre días después de la siembra)
Germinación	Hinchado de la semilla y germinado.	3 - 5
Fase cotiledonar	Emergencia de la planta sobre el suelo.	3 - 10
2 hojas verdaderas	Inicio del periodo vegetativo; se presenta un rápido desarrollo radicular.	10 - 20
5 hojas alternas	Estado vegetativo temprano; sensible a la competencia con malezas.	35 - 45
13 hojas alternas	Se presenta una importante ramificación.	45 - 50
Pre-floración (desarrollo del botón floral)	Presentan inflorescencias laxas o glomeruladas.	55 - 70
Floración	Inicia la floración en la parte superior de la inflorescencia y continua hasta la base. Es sensible al granizo, sequia, helada, y enfermedades.	90 - 130 (50 % de flores)
Inicio de llenado de grano	Los granos están todavía suaves y húmedos (50 % humedad), sensible al granizo, sequia, heladas, y enfermedades.	100 - 130
Llenado de grano pastoso	El color específico de la variedad se desarrolla y los granos están más secos (25 % humedad).	130 - 160
Madurez fisiológica	Se observan granos duros y secos (15 % humedad).	130 - 180

Fuente: Espíndola, G. (1994). Mejoramiento del cultivo de la quinua.

4.2.1.5. Requerimientos agroclimáticos del cultivo de quinua

Cuadro 4.2. Condiciones óptimas para el desarrollo de la quinua

Componente	Características	Observaciones
Suelo	- Textura franca, buen drenaje. - Contenido alto de materia orgánica y medio de nutrientes. - Pendientes moderadas.	Susceptible al exceso de humedad en los primeros estadios. Exigente en nitrógeno y calcio, moderada en fósforo y poca en potasio.
pH	- pH de suelo alrededor de la neutralidad.	Hay genotipos adaptados para cada situación extrema de salinidad o alcalinidad.
Clima	- Amplia adaptabilidad.	Genotipos adaptados para cada condición climática.
Agua	- Es suficiente $\frac{3}{4}$ de la capacidad de campo. - 250-500 mm anuales en promedio. - Humedad relativa: 40-100 %	En caso de utilizar riegos, deben ser ligeros y periódicos. En sierra y valles interandinos, el riego es suplementario a las lluvias. Susceptible al mildiú en condiciones de alta humedad relativa.
Temperatura	- 15 a 20 °C	Soporta hasta 8 °C
Radiación	- Elevada	Condiciones radiativas del altiplano de Perú y Bolivia son muy favorables.
Fotoperiodo	- 12 horas diarias (HS) - 14 horas diarias (HN)	Existen genotipos de días largos, cortos en indiferentes al fotoperiodo.
Altitud	- 0 a 4 000 msnm	Mayor potencial productivo a nivel del mar (6 000 Kg/ha).

Fuente: Mujica et al. (2001). Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.

4.2.1.6. Manejo del Cultivo

- Siembra

La siembra debe ser realizada inmediatamente de concluida la preparación del suelo. De esta forma las semillas dispondrán de humedad adecuada y se reducirá la competencia con malezas. Las semillas de quinua son pequeñas y deben ser sembradas

cuidadosamente para lograr una buena germinación y establecimiento del cultivo, puede ser sembrada directamente o por trasplante.

Si el manejo será con riego por goteo, las semillas deben ser colocadas a unos 5-10 cm de la cinta de goteo y puede colocarse en doble hilera.

En todo tipo de siembra manual, las semillas se colocan en un chorro continuo, manualmente con un dosificador, que se puede elaborar caseramente o con una máquina pequeña para sembrar hortalizas. (Gómez y Aguilar 2016).

– **Densidad**

En la siembra directa de quinua, se recomienda utilizar 10 Kg/ha de semilla en surcos distanciados de 0,40 a 0,80 m, dependiendo de la variedad a usar. No se recomienda la siembra al voleo, por ser desestimado en los últimos años por los problemas agronómicos que presenta (Mujica et al., 2001).

En la costa en zonas de terrenos planos y suelos con buena disponibilidad de humedad se recomienda aplicar 10 – 12 kg/ha de semillas. Durante el establecimiento del cultivo, entre el 40 y 50 % de las semillas se perderán por una serie de factores. (Gómez y Aguilar 2016).

– **Fertilización**

La fertilización es muy importante en el cultivo de la quinua debido a su alta demanda de nutrientes. En el campo elegido para el cultivo se debe tomar una muestra de suelo, siguiendo el protocolo establecido, para determinar el nivel de nutrientes disponibles. Dependiendo de los suelos, algunos nutrientes requeridos por la quinua pueden estar disponibles en abundancia y otros en poca cantidad en el suelo; este conocimiento permitirá proporcionar la nutrición adecuada para lograr altos rendimientos y calidad.

Las dosis de fertilización deben considerar el potencial de rendimiento de la variedad y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. En el caso específico de la quinua los rendimientos más altos; entre 6 000 a 7 000 kg/ha; en condiciones de campo de agricultor han sido logrados con 300-120-300 kg/ha de nitrógeno-fósforo-potasio en suelos franco arenosos y a 1 200 msnm.; siendo los nutrientes administrados mediante el sistema de riego. (Gómez y Aguilar 2016).

– **Riego**

En la costa peruana el cultivo de quinua se conduce bajo riego. El riego debe ser hecho de tal forma que proporcione a la quinua la cantidad de agua requerida para su crecimiento y desarrollo óptimo. El agricultor que riega su predio conoce la pendiente, identifica los lugares más difíciles de regar, el sector donde el agua se empoza y otros.

Bajo condiciones de riego en costa se ha observado que el cultivo requiere entre 5 000 a 10 000 m³ con riego de gravedad y de 3 500 a 7 500 m³ con riego por goteo. La demanda de agua o cantidad aplicada varía por el clima (invierno, primavera, verano), el suelo (arenosos, francos, arcillosos, etc.), la variedad (precozes o tardías), y el sistema de riego empleado. (Gómez y Aguilar 2016).

4.2.2. Generalidades del riego

El riego es el suministro oportuno de la cantidad adecuada de agua a los cultivos, para evitar la disminución en sus rendimientos y sin causar daño al medio ambiente. La práctica del riego combina elementos de la ciencia del suelo, agronomía, ciencias sociales, hidráulica, hidrología y economía (Chipana, 1996).

A través del riego se aporta el agua que requieren los cultivos en forma artificial cuando las precipitaciones son escasas o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas. Y considera al riego como una actividad de vital importancia en la agricultura, que requiere de mayores estudios, avances tecnológicos y de la aplicación de los mismos sin deteriorar el medio ambiente (Cisneros, 2003).

4.2.3. Riego por goteo

El riego por goteo es un sistema localizado de alta frecuencia cuya característica principal es el aporte de pequeños caudales y pequeñas dosis de agua más fertilizantes muy localmente en la zona de raíces de los cultivos por medio de dispositivos de distribución como goteros, boquillas, tubos porosos, etc. (Vermeiren y Joblin, 1986).

Un sistema de riego por goteo, aplica el agua filtrada más fertilizantes dentro o sobre el suelo directamente a cada planta en forma individual. Además, el agua puede ser suministrada al cultivo con base en una baja tensión y una alta frecuencia, creando un medio óptimo de humedad necesario en el suelo (García y Briones, 2007).

Otra definición del riego por goteo, menciona que es un sistema de riego presurizado donde el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados que requieren presión. También se le denomina de alta frecuencia, lo que permite regar desde una a dos veces por día, todos o algunos días, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo (Liotta et al., 2015).

Según Liotta et al., (2015) las ventajas y desventajas del riego presurizado son las siguientes:

Ventajas

- Ahorro de agua: la cantidad de agua que se aplica se ajusta en cantidad y oportunidad a la evapotranspiración de los cultivos.

- Uniformidad de aplicación: debido a que la aplicación se realiza por emisores con igual caudal y ubicados a distancias regulares, es posible la entrega de agua con muy buen grado de uniformidad.
- Aumento de la superficie bajo riego: es posible incrementar la superficie con la misma disponibilidad del agua en un 30-35 %.
- Menor presencia de malezas: contribuye en el control de malezas al humedecer el suelo en forma localizada en los cultivos.
- Compatible con labores culturales: es posible realizar otras labores mientras se riega.
- Ahorro de labores culturales: debido a una menor proliferación de malezas, se disminuyen los trabajos de desmalezado.
- Ahorro de mano de obra: el sistema de riego permite disminuir la mano de obra involucrada. Un solo operador de riego puede manejar 80-100 ha.
- Aprovechamiento de terrenos marginales: se puede utilizar terrenos en donde no es técnica o económicamente factible utilizar riego por superficie tradicional u otros métodos de riego.
- Mejoras en la producción y calidad del fruto: debido a que se encuentran mejor satisfechas las necesidades hídricas y nutritivas en todo momento y a lo largo de la temporada.
- Fertirriego: a través del sistemas se puede fertilizar continuamente y cuando se desee.
- Automatización: es posible la automatización parcial o total del equipo facilitando la operación y permitiendo la aplicación de programas de fertirrigación.

Desventajas

- Costo elevado de adquisición e instalación: antes de realizar la inversión se deben analizar los costos y los beneficios a obtener. Los cultivos con rentabilidad suficiente justifican su empleo.
- Necesidad de mano de obra especializada: requiere de personal calificado para operar el sistema y solucionar problemas.
- Necesidad de un buen diseño: es fundamental que el equipo se diseñe correctamente, desde el punto de vista agronómico como del hidráulico y una correcta operación de la fertirrigación.
- Consumo de energía y dependencia de la electricidad.
- Necesidad de un sistema de filtrado: requiere un especial cuidado en el filtrado del agua, debido a que los emisores son sensibles a las obstrucciones por materia orgánica, algas y sólidos en suspensión.
- Necesidad de mantenimiento y limpieza del sistema: es necesario la limpieza periódica del sistema tanto en la zona del cabezal como en tuberías y laterales.

- Acumulación de sales: el empleo permanente de estos sistemas puede ocasionar acumulación salina a niveles peligrosos, cuando la calidad del agua es regular a mala y la textura del suelo no favorece el lavado de sales en profundidad.

4.2.3.1. El Bulbo húmedo

El bulbo húmedo es el volumen de suelo humedecido por un gotero. Cuando se deja caer gota a gota el agua en el suelo, esta se mueve hacia los lados (horizontalmente) y hacia abajo (verticalmente) formando un bulbo húmedo, este bulbo tiene gran importancia ya que en él se desarrollan las raíces de las plantas. La forma y tamaño del bulbo húmedo depende de los siguientes factores (Rodas y Cisneros, 2000):

- La textura del suelo: en suelos arenosos el bulbo tiene forma alargada y en suelos arcillosos tiene forma achatada (Fig 4.1).

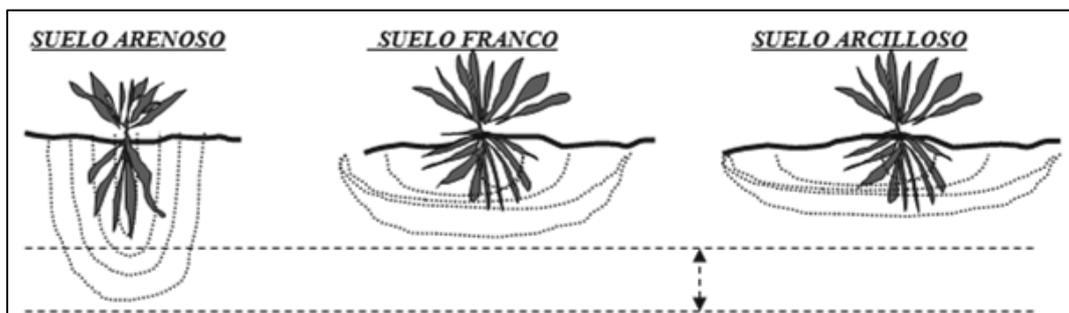


Fig 4.1. Forma del bulbo húmedo por tipo de suelo

Fuente: Rodas, H. y Cisneros, P. (2000). Principios de riego por goteo.

- El caudal del gotero: cuando el agua empieza a salir del gotero se forma un pequeño charco, a la vez que el suelo empieza a absorber agua en toda la superficie. A mayor caudal del gotero corresponde una mayor superficie del charco y por lo tanto, un bulbo más extendido en forma horizontal.
- El tiempo de riego: a medida que aumenta el tiempo de riego el tamaño del bulbo aumenta en profundidad y aumenta su tamaño en sentido horizontal hasta cierto límite dependiendo del tipo de suelo.

El bulbo húmedo debe medirse en el campo unas horas después de cada riego, para asegurar el riego con el volumen adecuado de raíces de las plantas. Se acepta una profundidad de 30 centímetros para la mayoría de los cultivos pero puede ser menor para cultivos que tengan raíces más superficiales (Rodas y Cisneros, 2000).

4.2.3.2. El área humedecida

Para que los cultivos pueden desarrollarse normalmente se debe regar un 50 % del área ocupada por las raíces, en la zona humedecida la concentración de raíces es 3 a 4 veces

mayor que en otro tipo de riego. Debido a esto la superficie del suelo no debe labrarse (Rodas y Cisneros, 2000).

El área humedecida depende del tipo de cultivo; refiriéndose al marco de plantación se consideran adecuados los siguientes porcentajes:

- Cultivos de hortalizas (tomate, chile verde, repollo, elotito, etc.) del 30 al 70 %
- Cultivos de marco medio (loroco, granadilla, maracuyá, etc.) del 40 al 60 %
- Cultivos de marco amplio (limón, naranja, toronja, aguacate, mango, etc.) del 25 al 35 %

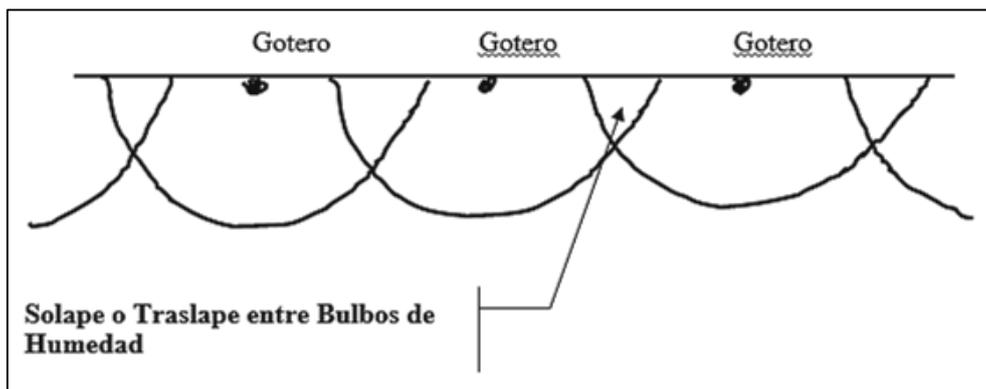


Fig 4.2. Perfil de humedecimiento de un lateral de góteros

Fuente: Rodas, H. y Cisneros, P. (2000). Principios de riego por goteo.

Es recomendable crear una franja continua de humedecimiento, a lo largo del lateral; para ello debe haber una superposición entre bulbos de humedecimiento. Para ello se debe seleccionar un distanciamiento adecuado entre los góteros (Fig 4.2).

4.2.3.3. Disposición de los góteros

Al distribuir sobre el terreno las tuberías porta góteros (Fig 4.3.) debe considerarse proporcionar a cada planta el número de góteros requeridos, no dificultar las labores de cultivo y hacer la mínima inversión (Rodas y Cisneros, 2000).

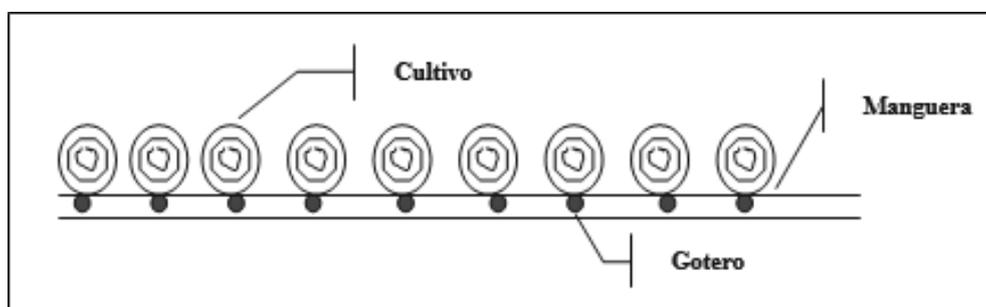


Figura 4.3. Esquema de dispersión de los góteros

Fuente: Rodas, H. y Cisneros, P. (2000). Principios de riego por goteo.

El riego por goteo puede aplicarse en franjas, para ello se usan disposiciones en simple o doble línea lateral, usado en cultivos de alta densidad (Fig 4.4.)



Fuente: Rodas, H. y Cisneros, P. (2000). Principios de riego por goteo.

4.2.4. Fertirrigación

Es la aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos por los sistemas de riego presurizados, creando un agua enriquecida con nutrientes (Sánchez, 2000). Esta técnica incrementa la eficiencia de uso de los fertilizantes; minimizar la aplicación de éstos generara un aumento de los beneficios económicos de la inversión en fertilizantes. En la fertirrigación, el momento, las cantidades y la concentración de los fertilizantes son fácilmente controlados (Melgar, 2012).

La fertirrigación consiste en proporcionar a la planta los fertilizantes disueltos en el agua de riego, para distribuirlo uniformemente en cada gota de agua que necesitan las plantas (Bello y Pino, 2000). También permite una mayor flexibilidad en la aplicación de los fertilizantes comparado con los métodos tradicionales, porque se puede aplicar en cualquier momento durante el riego. Además, la fertirrigación se adapta a todos los sistemas presurizados conocidos, aspersión, goteo, micro-aspersión, pivote central, etc. (Nathan, 2005).

4.2.4.1. Ventajas y desventajas de la fertirrigación

Según Nathan (2005), las ventajas de aplicar los fertilizantes y otras sustancias químicas a través de los sistemas de riego presurizado son los siguientes:

- El agua y los nutrientes quedan perfectamente localizados en la zona de absorción de las raíces.
- Se pueden establecer diferentes planes de fertilización en concordancia con el estado fenológico del cultivo o en función de las curvas de absorción de los nutrientes.
- Posibilidad de corregir rápidamente cualquier deficiencia nutritiva del cultivo.
- Utilización de aguas de baja calidad agronómica, con un buen manejo y los conocimientos necesarios, para utilizar aguas de conductividad eléctrica superiores a 3 dS/m.

- Alta dependencia del cultivo al sistema de riego y por tanto mayor control sobre el cultivo. Se puede aumentar o disminuir la velocidad de crecimiento según interese.
- Uso más racional del agua y los fertilizantes.
- Las frecuentes aplicaciones en pequeñas dosis evitan la pérdida de fertilizantes.
- No se necesita maquinaria especial para la aplicación de los fertilizantes. Ahorra mano de obra y energía.

Sin embargo, Nathan (2005) indica que existen limitaciones y precauciones que se deben considerar:

- La fertirrigación exige el uso de fertilizantes líquidos o sólidos solubles.
- Los fertilizantes fosfatados, como el súper-fosfato pueden reaccionar con el calcio presente en el agua de riego y precipitar.
- Muchos fertilizantes causan un incremento del pH en el agua de riego, lo que aumenta el riesgo de las precipitaciones.
- Peligro de corrosión de los componentes del sistema, por lo que el fertilizante junto con el agua de riego debe pasar por un sistema hecho de materiales resistentes a la corrosión, con el fin de reducir al mínimo el riesgo.
- Costo de inversión elevado al momento de la instalación del sistema.

4.2.4.2. Inyector Venturi

Su funcionamiento se basa en el efecto Venturi, que consiste en producir un estrechamiento en el flujo principal del agua para causar una depresión. Ésta resulta suficiente para succionar la solución química desde un depósito abierto hasta dicho flujo. El Venturi se instala en un bypass del circuito principal del sistema para poder regular el caudal succionado (CREA, 2005).

Ventajas:

- Es un sistema simple y barato.
- Es fácil de instalar, no tiene partes móviles y es particularmente conveniente para parcelas pequeñas o en caso de no disponer de energía eléctrica.

Inconvenientes:

- Para que funcione el sistema se ha de producir una pérdida de carga (hasta 1 kg/cm²).
- Aunque se puede modificar el flujo en el Venturi por medio de válvulas, el caudal inyectado es muy sensible a la variación de presión en el sistema.

4.2.4.3. Solución madre

Son las soluciones concentradas que serán inyectadas en el agua de riego en proporciones adecuadas. Generalmente son preparadas en tanques y se toma en cuenta la compatibilidad de los fertilizantes y la solubilidad de éstos. También es importante saber el tiempo de inyección, se recomienda aplicar primero el agua de riego, luego el fertilizante y dejar un tiempo más de riego solo con agua para un mejor aprovechamiento (Sela, 2016).

Existe un amplio rango de fertilizantes, tanto sólidos como líquidos, pero debe considerarse cuatro factores principales para elegir los fertilizantes para fertirrigación (Kafkafi y Tarchitzky, 2012):

- Tipo de cultivo y estadio de crecimiento
- Condiciones del suelo
- Calidad de agua
- Disponibilidad y precio del fertilizante

4.2.5. Déficit hídrico

Es la reducción de agua disponible en el suelo para el aprovechamiento de las plantas, lo que genera que el contenido hídrico de los tejidos vegetales presente “estrés hídrico”, ocasionado que los procesos metabólicos de crecimiento y desarrollo de la planta disminuyan notablemente. La magnitud del efecto negativo y los procesos metabólicos involucrados dependen de la especie, momento del ciclo ontogénico (la sensibilidad puede variar a lo largo del ciclo ontogénico), de la intensidad y duración del estrés hídrico (Chimentic, 2005).

La deficiencia de agua es un factor ambiental estresante, que a menudo va ligado a otros factores estresantes abióticos como la temperatura, la salinidad y otros; todos ellos reducen la productividad de los cultivos (Elewa et al., 2017).

El déficit hídrico, altera el proceso fisiológico de la planta, como en la turgencia de la célula y la apertura de los estomas de las hojas originando la disminución de la transpiración y asimilación de CO₂; inhibiendo el metabolismo de las hojas. De igual modo se genera cambios adversos en el sistema fotosintético y produce efectos negativos en el crecimiento y el rendimiento (Mujica et al. 2010).

Existe mecanismos de aclimatación que permite mantener el abastecimiento de agua en condiciones de déficit de agua (Medrano y Flexas, 2003). Si una planta se osmorregula, puede mantener la turgencia celular, y tiene más oportunidades de sobrevivir bajo condiciones adversas, que aquella que no se ajusta osmóticamente (Delatorre, 1999).

4.2.6. Respuesta de la quinua a la sequía

La quinua es considerada como una planta resistente a la sequía (Jacobsen et al. 2003), debido a su amplia diversidad y variabilidad genética que ha facilitado durante su evolución ontogénica y filogenética, mecanismos de escape a la sequía, y de tolerancia a bajos potenciales hídricos manteniendo altos potenciales hídricos. De este modo, tanto las variedades cultivadas (Ayara, Kcoyto, Antawara, Pasankalla, Kcancolla, Utusaya, Real, Achachino) como sus parientes silvestres (*C. petiolare*, *C. hircinum*, *C. pallidicaule*, *C. quinoa subsp melanospermum*, *C. ambrosioides*, *C. insisum*, *C. carnosolum*), presentan mecanismos de resistencia a sequía que le permiten obtener producciones aceptables en condiciones de déficit hídrico. Para ello, ha desarrollado mecanismos de resistencia a la sequía, como (Mujica et al. 2010):

- a. **Escape a la sequía:** es la habilidad que tiene la quinua para completar su ciclo antes de que el déficit hídrico en el suelo y en la planta se desarrolle. Para ello, la quinua cumple una determinada fase fenológica en forma rápida o, en todo caso, adapta su desarrollo a las condiciones presentes en ese momento, como el desarrollo fenológico rápido y plasticidad en desarrollo.
- b. **Tolerancia a la sequía manteniendo un alto potencial hídrico:** la quinua puede tolerar periodos sin lluvia, reduciendo el agua transpirada mediante el incremento de la resistencia estomatal o cuticular; manteniendo la velocidad de absorción del agua, para ello aumenta la densidad y profundidad de sus raíces; reduce la absorción de la radiación solar a través de movimientos nictinásticos de las hojas; y también reduce el área foliar mediante la eliminación de hojas inferiores menos eficientemente fotosintéticamente (Mujica y Jacobsen, 1999).
- c. **Tolerancia a la sequía soportando un bajo potencial hídrico:** es una característica inherente de la quinua, al presentar un bajo potencial hídrico, mantiene la turgencia, permitiendo adaptarse a estos potenciales. Logrando conservar activos los procesos involucrados en el crecimiento, desarrollo y producción, a través de la acumulación activa de solutos junto con una mayor elasticidad de las membranas para el ajuste osmótico. Pero además, también logra la tolerancia sin mantener turgencia, tolerando la deshidratación por altas temperaturas (Mujica et al. 2010). Los mecanismos de defensa de la quinua para soportar el déficit de humedad se clasifican en:
 - **Mecanismos de tolerancia**, que permiten a la quinua mantener la capacidad de tolerar o soportar la sequía o niveles avanzados de deshidratación, conservando su facultad de recuperación debido a cambios en el comportamiento temporal de la planta. Estos cambios le permiten compensar el déficit de humedad, ya sea mediante una menor pérdida de agua por los estomas, o el aumento de la capacidad de absorción de humedad del suelo y ambiente, o simplemente permaneciendo inactiva sin llevar a cabo sus funciones o reduciéndolas al mínimo.

- **Mecanismos de resistencia**, le permiten soportar el déficit hídrico, mediante mecanismos controlados por genes involucrados directamente en el proceso de síntesis de proteínas y almidones o por genes acondicionadores (genes de tolerancias al calor, marchitez permanente, presión osmótica, estabilidad de clorofila, desecación de tejidos, etc.) que le confieren a la quinua características especiales de resistencia al déficit hídrico que pueden transmitirse a sus descendientes.
- **Mecanismos de evasión**, la quinua evita los efectos de sequía gracias a características propias de la especie o cultivar, tales como la maduración temprana (precocidad), mayor exploración de agua en las profundidades y lateralmente por la extensión rápida de sus raíces, así como otras características que le permiten escapar a la sequía durante las épocas secas.

La quinua es una planta resistente a la sequía, ya que además de sobrevivir bajo condiciones de escasa humedad, es capaz de producir semillas y materia verde, que son aprovechados para el consumo humano y animal, siendo además económicamente aceptables y rentables.

Esta resistencia se explica por una serie de modificaciones de la planta: morfológicas (menor tamaño de planta), fisiológicas (cierre estomático temprano), anatómicas (menor número y tamaño de estomas, ubicación de estomas en el envés de las hojas), fenológicas (reducción del período de floración) y bioquímicas (mayor síntesis de prolina), que le permiten contrarrestar factores adversos como la sequía, y así mantener las funciones vitales acumulando fotosintatos en las semillas y órganos de reserva (Mujica et al. 2010).

5. Material y Método

5.1. Ubicación del area de estudio

El presente trabajo se realizara el año 2021, en los campos demostrativos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Departamento: Lima

Distrito: La Molina

Latitud sur: 12° 4' 54''

Longitud oeste: 76° 56' 50''

Altitud: 240 m

5.2. Materiales

5.2.1. Material genético

Variedad comercial: INIA 427- Amarilla sacaca (Cuadro 5.1.).

Cuadro 5.1. Características principales de calidad y región de adaptación

Nombre	Contenido saponina	Color de grano		Tamaño	Región Recomendada
		Pericarpio (capa-fruto)	Episperma (capa-semilla)		
INIA 427-Amarilla sacaca	Amarga	Amarilla	Blanca	Grande	Valles interandinos

Fuente: Gomez L. y Aguilar E. (2016). Guía de cultivo de la quinua.

5.2.2. Sistema de riego por goteo

El riego por goteo es un sistema localizado de alta frecuencia cuya característica principal es el aporte de pequeños caudales y de fertilizantes muy localmente en la zona de raíces de los cultivos por medio de dispositivos de distribución como los goteros, boquillas, tubos porosos, etc. (Vermeiren y Joblin, 1986).

Mediante el sistema de riego por goteo se controlara el aporte de agua en el cultivo de quinua.

5.2.3. Equipo de fertirrigación

Junto con el sistema de riego por goteo, se empleara la inyección de fertilizantes mediante un sistema de inyección tipo Venturi, para aplicar en forma oportuna y precisa, los nutrientes que requiere el cultivo, para mejores rendimientos.

5.2.4. Fertilizantes

Las fuentes principales de fertilizantes seran:

- Nitrato de amonio (N = 33 %, P₂O₅ = 3 %)
- Ácido fosfórico (P₂O₅ = 61 %)
- Sulfato de potasio soluble (K₂O = 52 %, S = 18 %)

5.2.5. Equipo de medición meteorológica

Para obtener los datos climatológicos, se recurrira a la Estación Meteorológica Alexander Von Humboldt, perteneciente a la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas del Perú y está clasificada dentro de la categoría de Meteorológicas

Agrícolas Principales (MAP) bajo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). (UNALM, Recuperado el 2020)

5.3. Método

5.3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental verdadera longitudinal prospectiva y cuantitativa, respecto al enfoque de la investigación (Rojas, 2015. Rojas, 2020b).

5.3.2. Diseño procedimental

Basado en el arreglo multifactorial de las variables de investigación, Cuadro 5.2. (Rojas, 2020a, pag 63).

Cuadro 5.2. Diseño procedimental

Diseño factorial 3 x 4 x 1												
Fertilización	T1 (100 % de ETc)				T2-FF (50 % de ETc)				T2-FG (50 % de ETc)			
	Repeticiones				Repeticiones				Repeticiones			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Dosis de NPK	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12

5.3.3. Diseño experimental

El diseño estadístico que se empleara sera el diseño completamente al azar con 3 tratamientos y 4 repeticiones (Cuadro 5.3.). En cuanto al procedimiento estadístico e interpretación de datos se utilizara el análisis de la varianza y la prueba de Duncan al 0,05 de significancia (Fernández et al. 2010).

Cuadro 5.3. Descripción y código de los tratamientos

Descripción	Combinación
Sin deficit hidrico (100 % de ETc)	T1
Deficit hidrico (50 % de ETc) desde la fase de la floración hasta la fase de llenado de grano pastoso.	T2-FF
Deficit hidrico (50 % de ETc) desde el inicio de la formacion del fruto hasta la fase de llenado de grano pastoso.	T2-FG

La dosis de fertilización de 100 – 90 – 100 kg/ha de NPK, se aplicara a todas las parcelas.

5.3.4. Diseño de la distribución experimental

A continuación se muestra la distribución aleatoria de las unidades experimentales asignadas a cada tratamiento (Fig 5.1; Cuadro 5.4.).

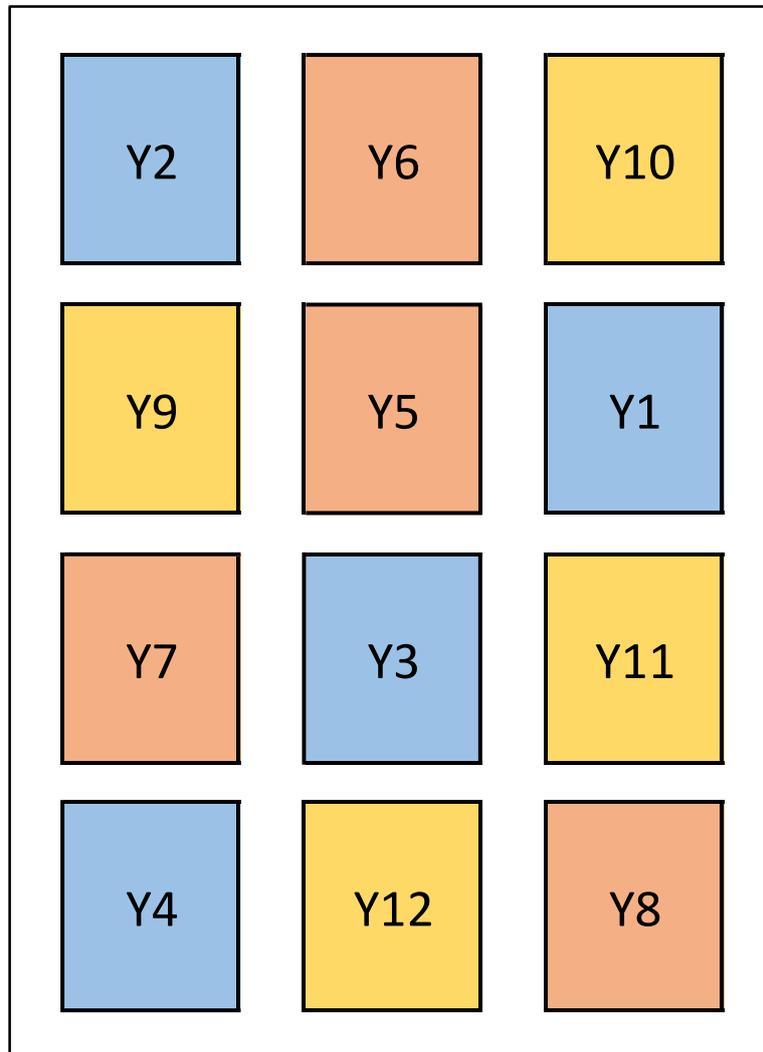


Figura 5.1. Croquis de la distribución de parcelas por tratamiento.

Cuadro 5.4. Características del diseño del campo experimental

Campo Experimental	Unidad
Largo	35 m
Ancho	14 m
Área total a intervenir	210 m ²
Sub parcelas	Unidad
Largo	8 m
Ancho	4 m
Área de cada parcela	16 m ²

5.3.5. Procedimiento de evaluación

5.3.5.1. Parámetros agronómicos del cultivo de quinua

- a. **Rendimiento (kg/ha):** Una vez alcanzada la madurez fisiológica del cultivo de quinua, se realiza la cosecha del cultivo, la cual debe ser programada oportunamente (Gomez L. y Aguilar E., 2016). Las plantas que formaran parte de las evaluaciones, para el caso de rendimiento, pasaran un proceso de trilla, limpieza y venteo, con una balanza de presión se obtendrá el peso de los granos por planta de los tratamientos planteados, para luego ser expresado en kg/ha (Deza, 2018).
- b. **Biomasa aérea (kg/ha):** Al momento de la cosecha, las plantas deben ser cortadas a la altura del cuello, para ser pesadas completamente (incluido grano, tallos y broza), y determinar la producción de materia seca en kg/ha (Antezana, 2019).
- c. **Índice de cosecha (IC) (%):** Es la relación entre el peso de la semilla (rendimiento económico) y el peso seco de toda la planta, incluyendo la semilla (rendimiento biológico). Se calcula dividiendo el valor del rendimiento de grano entre el valor de la biomasa aérea de cada tratamiento y se expresa en porcentaje (Antezana, 2019).
- d. **Eficiencia de uso de agua (kg/m³):** La eficiencia en el uso del agua (EUA) es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste en un determinado momento, y determinará la capacidad de extracción del agua, por parte del cultivo (Intagri, Recuperado el 2020).

5.3.5.2. Parámetros de calidad del cultivo de quinua

- a. **Contenido de proteínas:** El contenido de proteína, se puede realizar a través del uso del Analizador de Alimentos Infratec 1255, un instrumento para la determinación simultánea y exacta de los componentes de los alimentos o productos de granos. La medición se basa en que, los principales componentes de los alimentos, como proteínas, humedad o grasas, absorben la radiación electromagnética en la región del infrarrojo cercano del espectro. El resultado del análisis es calculado por el mismo equipo (Manual Infratec 1255).
- b. **Peso de mil granos (PMG):** Es un mecanismo de medición indirecta de la calidad de grano, y se interpreta en relación al peso de mil granos de quinua, a mayor peso, los granos están mejor llenados. Para encontrar este valor se puede hacer uso del contador de granos Seedburo 801, o manualmente (Deza, 2018).
- c. **Granulometría:** De la misma manera se pesa mil granos de quinua de cada tratamiento, y se realiza la clasificación del grano, mediante una máquina clasificadora de grano con zarandas N° 10, 12, 14 y 16 que clasifican los granos según su diámetro, y verificar la calidad de la quinua conseguida en función del tamaño (Deza, 2018).

6. Cronograma y presupuesto de gastos del proyecto de tesis

Actividad	Temporario en semanas														Presupuesto (S/.)
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	6ta	7ma	8va	9na	10ma	11ma	12ma	13ra	14ta	
1 Tema de investigación															360.00
1.1 Búsqueda del tema de interés															140.00
1.2 Elección del tema de investigación															100.00
1.3 Formulación del título															120.00
2 Planteamiento del problema															460.00
2.1 Identificación del problema															160.00
2.2 Caracterización del problema															160.00
2.3 Formulación del problema															140.00
3 Revisión bibliográfica															450.00
4 Justificación y operatividad teórica															540.00
4.2 Validez externa del estudio															180.00
4.3 Objetivo general y específicos															180.00
4.4 Matriz de consistencia															180.00
5 Marco teórico															400.00
5.1 Antecedentes de la investigación															200.00
5.2 Relación teórica															200.00
6 Material y método															250.00
7 Cronograma y presupuesto															250.00
8 Bibliografía citada															250.00
9 Redacción científica final															300.00
10 Entrega del proyecto de tesis															250.00
11 Aprobación del proyecto de tesis															100.00
Total de gastos														3610.00	

7. Presupuesto de la ejecución del proyecto

	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Parcial (S/.)	Subtotal (S/.)
1	Insumos					354.00
1.1	Semilla de quinua (Var. INIA 427-Amarilla sacaca)	kilogramo	6	14.00	84.00	
1.2	Fertilizantes	kilogramo	60	4.50	270.00	
2	Materiales para el riego por goteo					1966.10
2.1	Manguera p.e. de 2"	metro	30	6.00	180.00	
2.2	Manguera p.e. de 1"	metro	20	5.00	100.00	
2.3	Filtro de anillos de 120 mesh	unidad	1	380.00	380.00	
2.4	Manómetro de 8 bares	unidad	1	120.00	120.00	
2.5	Válvula de aire de acción continua de 2"	unidad	1	60.00	60.00	
2.6	Válvula PVC 1"	unidad	4	10.00	40.00	
2.7	Tee p.e. Esc 32 mm	unidad	12	4.50	54.00	
2.8	Enlace mixto 32 mm x 1"	unidad	12	3.50	42.00	
2.9	Bushing pp 1 x ¾	unidad	13	2.00	26.00	
2.10	Codo 25 mm x ¾ Esc	unidad	13	3.00	39.00	
2.11	Niple pp 1	unidad	3	2.00	6.00	
2.12	Codo PVC 1 c/r	unidad	1	3.50	3.50	
2.13	Manguera p.e. 25 mm	metros	56	2.00	112.00	
2.14	Cinta de goteo c/10 cm	metros	432	0.80	345.60	
2.15	Acometida p.e. 16 mm	unidad	36	1.00	36.00	
2.16	Unión cinta manguera	unidad	36	2.00	72.00	
2.17	Equipo Venturi	unidad	1	350.00	350.00	
3	Materiales de campo					251.00
3.1	Wincha	unidad	1	45.00	45.00	
3.2	Estacas de madera	unidad	16	5.00	80.00	
3.3	Cinta teflón	unidad	2	3.00	6.00	
3.4	Sierra	unidad	1	30.00	30.00	
3.5	Pico	unidad	1	50.00	50.00	
3.6	Rastrillo	unidad	1	40.00	40.00	
4	Equipos y herramientas					1850.00
4.1	Maquinaria agrícola	hora	6	120.00	720.00	
4.2	Tanque clase A	unidad	1	800.00	800.00	
4.3	Cilindro infiltrómetro	unidad	1	150.00	150.00	
4.4	Cronometro	unidad	1	50.00	50.00	
4.5	Eclímetro	unidad	1	50.00	50.00	
4.6	Balanza digital	unidad	1	80.00	80.00	
5	Toma de muestras					160.00

5.1	Análisis de suelo completo (fertilidad, mecánico y físico)	unidad	1	80.00	80.00	
5.2	Análisis de agua	unidad	1	80.00	80.00	
6	Otros					559.00
6.1	Memoria USB	unidad	1	25.00	25.00	
6.2	Papel bond	millar	1	30.00	30.00	
6.3	Libreta de campo	unidad	1	4.00	4.00	
6.4	Mano de obra	Jornal	10	50.00	500.00	
Total del financiamiento						5140.10

Literatura citada

- Alfonso R., (1998). Determinación de parámetros genético-fisiológicos indicadores del estrés hídrico para el mejoramiento genético del arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis. Instituto de Investigaciones del Arroz. La Habana, Cuba. (p. 100)
- Antezana, F. (2019). Respuesta de quinua (*Chenopodium quinoa*) al estrés de sequía y calor bajo condiciones de La Molina". Tesis Ing. Agr. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. (p. 10)
- Baumann, S. (2018). Niveles nutricionales y densidad de siembra en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) var. La Molina 89, en riego por goteo. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. (p. 9 - 10)
- Bazile, D.; Jacobsen, S.; Verniau, A. (2016). The global expansion of quinoa: Trends and limits. *Frontiers in plant science*. (p. 7-622)
- Bello, M. y Pino, M. (2000). Cálculo básico para fertirrigar. Boletín INIA N° 26. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Punta Arena, Chile. (p. 30). Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/nr25633.pdf>
- Chimentic, (2005). Déficit hídrico. Relación agua, suelo, planta, atmósfera. Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <http://www.agro.uba.ar/carreras/jardinaria/materias/fisio/deficit.pdf>
- Chipana, R. (1996). Principios de riego y drenaje. IRTEC. La Paz, Bolivia. (p. 202)
- Cisneros, R. (2003). Apuntes de la materia de riego y drenaje. Universidad Autónoma De San Luis Potosí. (p. 7). Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <http://www.ingenieria.uaslp.mx/documents/apuntes/riego%20y%20drenaje.pdf>
- CREA (Centro Regional de Estudios del Agua). (2005). Fertirriego. Hoja informativa N° 12. Universidad Castilla - La Mancha. España. (p. 8). Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <http://crea.uclm.es/siar/publicaciones/files/hoja11.pdf>
- Delatorre, J. (1999). Efecto del estrés hídrico en la fotosíntesis. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Peru. (p. 79)
- Deza, M. (2018). Rendimiento y calidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) con dos densidades de siembra y dos sistemas de fertilización en condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. (p. 44 - 45)
- Espindola, G. (1994). Mejoramiento del cultivo de la quinua. Seminario sobre investigación, producción y comercialización de la quinua. La paz, Bolivia.

- Esprella, V. (2011). Evaluación del rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con la aplicación de niveles de abono orgánico bajo condiciones de riego deficitario en el Altiplano Central. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. (p. 16 - 17)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia), (2013). Valor nutricional de la quinua. Año internacional de la quinua 2013. Lima, Perú. Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/es/>
- Fernández, R.; Trapero, A.; Domínguez, J. (2010). Experimentación en agricultura. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación. Andalucía. (p. 85-89). Recuperado el 19 de agosto del 2020 de <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941EXPERIMENTACION.pdf>
- Gámez, G. (2018). Evaluación del rendimiento y caracterización fisiológica de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) sometidas a déficit hídrico bajo condiciones de invernadero. Grupo de Agricultura Sostenible y Cambio Climático del Instituto de Agrobiotecnología (IdAB - CSIC). (p. 3)
- Gandarillas, H. (1968). Razas de quinua. División de Investigaciones Agrícolas. Ministerio de Agricultura. La Paz, Bolivia. Boletín experimental N° 34. (p. 53)
- García, I. y Briones, G. (2007). Sistema de riego por aspersión y goteo. Ediciones Trillas, 2° edición. México. (p. 182)
- Garrido, et al. (2013). Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. IDESIA, Volumen 31, N° 2, Mayo-Agosto, 2013, Chile. (p. 69 - 76)
- Gomez, L. y Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. (p. 1-2, 25-55)
- Gómez, L. y Eguiluz, A. (2012). Catálogo del banco de germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. (p. 9-13)
- Hendriks, J. (2009). Los grandes sistemas de riego y el cambio climático: márgenes y medidas de gestión. Ponencia presentada en el Foro Nacional del Agua 2009. Lima, Perú. (p. 2-4)
- Herreros, Q. (2018). Fertilización nitrogenada y fosfórica en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) cv. salcedo inia bajo riego a goteo en zona árida. Tesis Ing. Agr. Arequipa, Perú. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. (p. 14)
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2015). El mercado y la producción de quinua en el Perú. Lima, Perú. (p. 15 – 34)
- Intragri, (2020). Recuperado el 12 de agosto del 2020 de <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/la-eficiencia-uso-agua-plantas>
- Kafkafi, U. y Tarchitzky, J. (2012). Fertirrigación: Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. Asociación internacional de la industria de fertilizantes (IFA). París, Francia. (p. 80). Recuperado el 10 de agosto de 2020 de https://www.ipipotash.org/udocs/391-2012_ifa_ipi_fertirrigacion.pdf
- Laclette, J. y Zúñiga, P. (2012). Diagnóstico del agua en las Américas: Red Interamericana de Academias de Ciencias Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC. México. (p. 408)

- León, J. (2003). Cultivo de la quinua en Puno - Perú. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú. (p. 3, 5, 24-31)
- León, J. y Iguíñiz, J. (2011). Desigualdad distributiva en el Perú: Dimensiones. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. (p. 267)
- Liotta, M.; Carrion, R.; Ciancaglini, N.; Olguin, A. (2015). Manual de capacitación: Riego por goteo. Edición para UCAR (Unidad Para el Cambio Rural). (p. 5, 22-27). Recuperado el 10 de agosto de 2020 de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Lumbreras, L.; Kaulicke, P.; Santillana, J.; Espinoza, W. (2008). Economía prehispánica: Compendio de historia económica del Perú. Banco Central de Reserva del Perú e Instituto de Estudios Peruanos. (p. 53-77)
- Medrano, H. y Flexas, J. (2003). Respuesta de las plantas al estrés hídrico. España. (p.1193).
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). (2017). Análisis Económico de la Producción Nacional de la Quinua. Dirección General de Políticas Agrarias – DGPA. Lima, Perú. (p. 5 – 11)
- Mujica, A. y Jacobsen, S. (1999). Resistencia de la quinua a la sequía y otros factores adversos, y su mejoramiento. Proyecto Quinua, CIP - DANIDA. Lima, Perú. (p. 71-78)
- Mujica, A.; Chura, E.; Ruiz, E.; Martínez, R. (2010). Primer congreso peruano de mejoramiento genético y biotecnología agrícola: Mecanismos de resistencia a la sequía de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Lima, Perú. (p. 111-113). Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <http://www.lamolina.edu.pe/institutos/ibt/congreso/assets/images/icongreso.pdf>
- Mujica, A.; Jacobsen S.; Izquierdo, J.; Marathee, J. (2001). Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. Santiago, Chile.
- Nathan, R. (2005). La fertilización combinada con el riego. Departamento de riego y suelos. Servicio de extensión. Estado de Israel. (p. 90)
- Navruz, V. y Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Gazi University. Turkey. (p. 6)
- PROINPA, (2011). La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Fundación para la promoción e investigación de productos andinos. La paz, Bolivia. (p. 3 – 5)
- PSI (Programa Subsectorial de Irrigaciones). (2003). El agua. Boletines técnicos N° 2. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. (p. 3)
- Repo-Carrasco, R.; Espinoza, C.; Jacobsen, S. (2003). Nutritional value and use of the andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food reviews international. Vol. 19. (p. 179-189)
- Rodas, H. y Cisneros, P. (2000). Principios de riego por goteo. Ministerio de agricultura y ganadería. (p. 2-6). Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <https://yachaywasiecotecnologico.pe/yachaywasisescolares/res/biblioteca/archivos/29.doc#:~:text=el%20objetivo%20de%20un%20sistema,fuente%20adicional%20de%20energ%c3%ada%3b%20utilizando>
- Rojas C.M. Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. Rev. Elect. vet. 16(01): <https://www.redalyc.org/pdf/636/63638739004.pdf>

- Rojas, C.M. (2020a). Gestión Holística de la Redacción Científica. 7ma edición electrónica. Recuperado el 8 de julio del 2020 de <http://mrojas.perulactea.com/http://mrojas.perulactea.com/wp-content/uploads/2020/01/Gestion-de-la-Redaccion-cientifica-2020-PDF.pdf>
https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/gestion_de_la_redaccion_cientifica_2020_pdf.pdf
- Rojas, C.M. (2020b). Tipos de investigación científica: Precisa nomenclatura y clasificación holística. Recuperado el 18 de julio del 2020 de <http://mrojas.perulactea.com/http://mrojas.perulactea.com/wp-content/uploads/2020/08/Tipo-Inve-cien-2020-PDF.pdf>
https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/tipo_inve_cien_2020_pdf.pdf
- Sánchez, J. (2000). Fertirrigación: Principios, factores, aplicaciones. Lima, Perú. (p. 27). Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <http://www.fertilizando.com/articulos/fertirrigacionprincipiosfactoresaplicaciones.pdf>
- Sánchez, M. y Torrecillas, A. (1995). Riego deficitario controlado, fundamentos y aplicaciones. Mundi Prensa. Madrid, España. (p. 66)
- Sela, G. (2016). Preparación de soluciones madres de fertilizantes para fertirrigación. Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/fertilizer-stock-solutions>
- Siesquén, A. (2018). Comportamiento de 08 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* L.) bajo condiciones de deficiencia hídrica, en la parte baja del Valle Chancay, Región Lambayeque. Tesis Ing. Agr. Lambayeque, Perú. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. (p. 8)
- UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado el 9 de agosto del 2020 de <http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/CRFM/estacion/index.php/el-observatorio/>
- Vermeiren, L. y Joblin, G. (1986). Riego localizado. FAO: Riego y drenaje N° 36. Madrid, España. (p. 45-46)
- Zapata, R. (2002). Contribución de las técnicas nucleares al desarrollo de prácticas de manejo integrado del suelo, agua, y nutrimentos para el incremento de la producción agrícola. Terra 20. (p. 1-6)