



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

“Efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación solar, sobre el crecimiento y rendimiento de la Quinua en la Argelia, Loja”

Trabajo de Titulación previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma.

AUTORA:

Gabriela del Cisne Pineda Suquilanda

DIRECTOR:

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute, PhD.

Loja - Ecuador

2022

Certificación

Loja, 29 de agosto de 2022

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de titulación titulado: **“Efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación solar, sobre el crecimiento y rendimiento de la Quinoa en la Argelia, Loja”**, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma, de la egresada **Gabriela del Cisne Pineda Suquilanda**, la misma que culminó dentro del cronograma aprobado, cumpliendo con los lineamientos impuestos por la Universidad Nacional de Loja, por lo cual autorizo que se continúe con el trámite de graduación.

En mi calidad de director de Tesis certifico que la investigación realizada ha sido trabajo propio del egresado.



Firmado electrónicamente por:

SANTIAGO
CRISTOBAL
VASQUEZ
MATUTE

.....

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Gabriela del Cisne Pineda Suquilanda**, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cedula: 1106055328

Fecha: 12/12/2022

Correo electrónico: gabriela.c.pineda@unl.edu.ec

Teléfono: 0989135900

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Titulación.

Yo, **Gabriela del Cisne Pineda Suquilanda** declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **“Efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación solar, sobre el crecimiento y rendimiento de la Quinoa en la Argelia, Loja”** como requisito para optar el título de **Ingeniera Agrónoma** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que se realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de diciembre del dos mil veintidós.

Firma: 

Autor: Gabriela del Cisne Pineda Suquilanda

Cédula: 1106055328

Dirección: Paraguay y Rusia

Correo electrónico: gabriela.c.pineda@unl.edu.ec

Teléfono: 0989135900

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del trabajo de Titulación: Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

Dedicatoria

Dedico a la Virgen y Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres, Luis Pineda y Amada Suquilanda quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de valentía y esfuerzo, de no temer las adversidades por ellos siempre están conmigo siempre.

A mi esposo Rafael Conde e hijas, Emily, Abigail y Eva Conde por su afecto, amistad, cariño, y apoyo incondicional, durante este proceso, por estar en todo momento gracias.

A mis hermanos Luis y Genesis Pineda por todo su apoyo, esfuerzo, amor, confianza, y principalmente la motivación que me brindaron a lo largo de toda mi carrera.

Finalmente, a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor mujer de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas, siempre los llevo a todos en mi corazón.

Gabriela del Pisco Pineda Suquilanda

Agradecimiento

Primeramente, agradezco a mi papito Dios y a mi churona del Cisne por todas las bendiciones y ser el apoyo y fortaleza durante los momentos difíciles para culminar con éxito y satisfacción la etapa universitaria de mi vida.

Mi profundo agradecimiento a mi director de tesis, guía y compañero el Ing. Santiago Vásquez que con sus conocimientos, apoyo y orientación durante todo este largo camino fue posible dar el cumplimiento de este.

De la misma manera agradezco a la Universidad Nacional de Loja a la facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales no Renovables de la carrera de Ingeniería Agronómica, por haberme brindado todos los recursos y escenarios en el transcurso del trabajo de investigación.

Y así mismo a mis compañeros/as por su amistad y apoyo mutuo durante la vida universitaria.

Gabriela del Cisne Lineda Suquilanda

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas.....	xii
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Anexos.....	xv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción	4
Objetivo General	6
Objetivo Específicos.....	6
4. Marco teórico	7
4.1 Origen del cultivo de quinua.....	7
4.2 Clasificación taxonómica y características morfológicas del cultivo de quinua	7
4.2.1 Raíz	8
4.2.2 Tallo	8
4.2.3 Hojas	8
4.2.4 Flores.....	8

4.2.5	Fruto	8
4.2.6	Semilla.....	9
4.3	Necesidades nutricionales en cada fase del cultivo	9
4.4	Importancia nutricional y agronómica.....	9
4.4.1	Proteína	10
4.4.2	Grasas	10
4.4.3	Carbohidratos	11
4.4.4	Minerales.....	11
4.4.5	Vitaminas	12
4.5	Requerimientos climáticos y edáficos de la quinua.....	12
4.5.1	Suelo.....	12
4.5.2	pH.....	12
4.5.3	Agua	12
4.5.4	Clima	13
4.5.5	Temperatura	13
4.5.6	Fotoperiodo	13
4.5.7	Altitud	13
4.6	Fenología de la quinua.....	13
4.6.1	Siembra y Densidad de siembra.....	13
4.6.2	Etapa de crecimiento principal 0: germinación.....	14
4.6.3	Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de la hoja	14
4.6.4	Etapa de crecimiento principal 2: formación de brotes laterales (tallos secundarios).....	14
4.6.5	Etapa de crecimiento principal 5: emergencia de la inflorescencia ...	14
4.6.6	Etapa principal de crecimiento 6: floración	15
4.6.7	Etapa principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto	15

4.6.8	Etapa principal de crecimiento 8: Maduración	15
4.6.9	Etapa principal de crecimiento 9: Senescencia	15
4.7	Generación del rendimiento en quinua	16
4.8	Componentes del rendimiento	16
4.9	Número de granos	16
4.10	Peso de granos	16
4.11	Radiación solar y el desarrollo vegetal	16
4.11.1	Relación solar y su importancia del crecimiento	16
4.11.2	Relación fuente destino	17
4.11.3	Efectos de la disminución de la radiación	17
4.12	La fertilización nitrogenada	18
5.	Metodología.....	19
5.1	Ubicación	19
5.2	Diseño Experimental.....	19
5.3	Modelo matemático del diseño experimental	21
5.4	Análisis Estadístico.....	21
5.5	Metodología.....	21
5.5.1	Manejo del Experimento	21
5.5.2	Tipo de investigación	23
5.5.3	Método	23
5.5.4	Metodología para el primer objetivo específico. Identifica cuál de los componentes del rendimiento es más sensible a los cambios de la radiación fotosintéticamente activa durante la etapa reproductiva	23
5.5.5	Metodología para el segundo objetivo específico. Evaluar el crecimiento y el rendimiento en el cultivo de quinua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada.	24
6.	Resultados	27

6.1	Condiciones climáticas	27
6.2	Fenología de la quinua.....	27
6.3	Altura de la planta.....	28
6.4	Tasa de Elongación del tallo.....	29
6.5	Cobertura Vegetal	30
6.6	Biomasa	30
6.7	Rendimiento y sus componentes.....	31
6.8	Efecto de la sombra y el nitrógeno sobre el rendimiento y sus componentes ..	32
6.8.1	Biomasa.....	32
6.8.2	Peso 1000 granos.....	33
6.8.3	Número de granos	34
6.8.4	Rendimiento	34
6.8.5	Índice de cosecha	35
7.	Discusión.....	36
8.	Conclusiones.....	40
9.	Recomendaciones.....	41
10.	Bibliografía	42
11.	Anexos	48

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la quinua.....	7
Tabla 2: Necesidades nutricionales en las diferentes fases fenológicas de la quinua.....	9
Tabla 3: Tratamientos de la investigación en quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)...20	
Tabla 4: Etapas fenológicas del cultivo de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en la escala BBCH.....	24
Tabla 5: Medias de rendimiento de grano, sus componentes, índice de cosecha de la variedad Tukahuan con los diferentes niveles de sombra y nitrógeno.....	32
Tabla 6: Resumen de las dosis de fertilizante.....	51
Tabla 7: Estadios de crecimiento fenológico de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Will.) basada en la escala BBCH descrita por (Sosa <i>et al.</i> , 2017).....	54
Tabla 8: Medias de las variables respuestas de sombra-nitrógeno de la variedad Tunkahuan de quinua.....	61

Índice de Figuras

- Figura 1:** Ubicación del experimento en el cantón Loja, ciudad de Loja, sector La “Argelia”19
- Figura 2:** Diseño experimental de la investigación de la quinua. Donde; Naranja: sin sombra sin nitrógeno; Rosa: sombra en llenado de grano con nitrógeno; Amarillo oscuro: sombra en inicio de llenado más sin nitrógeno; Morado: sombra en inicio de antesis con nitrógeno; Amarillo claro: sombra en inicio de llenado con nitrógeno; Azul: sombra en inicio de antesis sin nitrógeno; Rojo: sin sombra con nitrógeno y Verde: sombra en llenado de grano sin nitrógeno.20
- Figura 3:** Temperatura media diaria °C y humedad relativa % durante el ciclo del cultivo de quinua. Línea roja indica el inicio antesis (BBCH60).27
- Figura 4:** Duración de las etapas fenológicas de la quinua variedad Tunkahuan cultivado en la Argelia, Loja en días después de la siembra. Morado: Desarrollo de hojas (BBCH14); Rosado: Brotes laterales (BBCH20); Vino: Emergencia de inflorescencia (BBCH52); Azul: Comienzo de antesis (BBCH60); Café: Desarrollo de fruto (BBCH77); Amarillo: Maduración (BBCH89); Verde: senescencia (BBCH99).28
- Figura 5:** Altura de la planta del cultivo de quinua bajo a dos tratamientos sin nitrógeno más sombra y con nitrógeno más sombra. Cada punto representa el promedio de las tres repeticiones, las barras en cada símbolo es el error estándar de la media.....29
- Figura 6:** Tasa de elongación del tallo del cultivo de quinua bajo a dos tratamientos sin nitrógeno más sombra y con nitrógeno más sombra. Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media.....29

Figura 7: Cobertura Vegetal (%) de las plantas de quinua bajó a dos tratamientos sin nitrógeno más sombra y con nitrógeno más sombra Cada punto representa el promedio de las tres repeticiones, las barras en cada símbolo es el error estándar de la media.....	30
Figura 8: Biomasa (gr/m ²) recolectada en cinco estadios de la quinua bajó a dos tratamientos sin nitrógeno más sombra y con nitrógeno más sombra. Cada punto representa el promedio de las tres repeticiones, las barras en cada símbolo es el error estándar de la media.....	31
Figura 9: Biomasa (%) con relación al control. Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.....	33
Figura 10: Peso 1000 granos (%). Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.	33
Figura 11: Número de granos por planta (%). Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.....	34
Figura 12: Rendimiento (%). Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.....	35
Figura 13: Índice de cosecha (%). Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.....	35

Índice de Anexos

Anexo 1: Cálculos de fertilización.....	48
Anexo 2: Análisis del suelo	52
Anexo 3: Escala de la fenología BBCH.....	54
Anexo 4: Fotografías.....	55
Anexo 5: Tabla de resultados.....	61
Anexo 6: Certificación de traducción del Abstract	62

1. Título

**“Efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación solar,
sobre el crecimiento y rendimiento de la Quinoa la Argelia, Loja”**

2. Resumen

La quinua es un cultivo de gran importancia ya que en los últimos años se ha expandido a nivel mundial, gracias a su alto valor nutricional y su adaptabilidad. En Ecuador se la cultiva en la región Sierra con rendimientos que no superan 0,70 t/ha, además, el rendimiento de dicho cultivo puede ser afectado por varios factores abióticos y bióticos. Conocer la etapa fenológica más susceptible (conocida como periodo crítico) a factores estresantes (sombra) es fundamental para optimizar el manejo agronómico del cultivo. El objetivo de la presente investigación consistió en determinar el efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación solar incidente sobre el crecimiento y rendimiento en quinua en distintos estados fenológicos. El ensayo se estableció en la Quinta Experimental Docente “La Argelia” ubicada en la ciudad de Loja, utilizando un diseño experimental completamente al azar con un arreglo bifactorial con 8 tratamientos y 3 repeticiones que consistieron en 3 periodos sucesivos de sombreado (80%) con una duración de 15 días, más un control sin sombreado, combinado con aplicación de nitrógeno en dos dosis (0 y 150 kg/ha) con el propósito de modificar la relación: fuente -destino. Se evaluó la fenología, altura de planta, tasa de elongación del tallo y biomasa aérea. En cosecha se evaluó el rendimiento y sus componentes: número de granos, peso de granos, biomasa e índice de cosecha. No se encontraron efectos significativos del factor sombra y nitrógeno sobre las variables de crecimiento y producción. Sin embargo, se observó mayor crecimiento (cobertura vegetal y biomasa área) en las plantas con la mayor dosis de nitrógeno, independiente del momento de sombreado. La biomasa área de las plantas disminuyeron cuando fueron sombreadas al inicio del llenado de grano, así mismo, se observó una caída en el peso de 1000 granos cuando se sombreado en esta misma etapa, no obstante, esto fue más notorio solamente en las plantas que recibieron nitrógeno. Los resultados sugieren que una de las etapas más sensibles a la disminución de recursos (radiación solar y nitrógeno) es el inicio del llenado de grano, lo cual puede afectar el rendimiento al disminuir el número de granos en el cultivo de quinua y este efecto se vio afectado mayormente en plantas que no tuvieron fertilización nitrogenada. El rendimiento con sombreado más la fertilización nitrogenada alcanzo el 4,19 t /ha.

Palabras clave: Quinua, componentes del rendimiento, sombreado, nitrógeno

2.1 Abstract

Quinoa is a crop of great importance since in recent years it has expanded worldwide, thanks to its high nutritional value and adaptability. In Ecuador it is grown in the Sierra region with yields that do not exceed 0,70 t/ha, and the yield of this crop can be affected by various abiotic and biotic factors. Knowing the phenological stage that is most susceptible (known as the critical period) to stress factors (shading) is fundamental to optimize agronomic management of the crop. The objective of this research was to determine the effect of nitrogen fertilization and the modification of incident solar radiation on growth and yield in quinoa at different phenological stages. The trial was established at the Experimental Teaching Farm "La Argelia" located in the city of Loja, using a completely randomized experimental design with a bifactorial arrangement with 8 treatments and 3 replications consisting of 3 successive periods of shading (80%) with a duration of 15 days, plus a control without shading, combined with nitrogen application in two doses (0 and 150 kg/ha) with the purpose of modifying the relationship: source - destination. Phenology, plant height, stem elongation rate and aerial biomass were evaluated. Yield and its components were evaluated at harvest: number of grains, grain weight, biomass and harvest index. No significant effects of shading and nitrogen on growth and production variables were found. However, greater growth (plant cover and biomass area) was observed in plants with the highest dose of nitrogen, independent of the time of shading. The biomass area of the plants decreased when they were shaded at the beginning of grain filling, likewise, a drop in the weight of 1000 grains was observed when shaded at the same stage, however, this was more noticeable only in the plants that received nitrogen. The results suggest that one of the most sensitive stages to the decrease in resources (solar radiation and nitrogen) is the beginning of grain filling, which can affect yield by reducing the number of grains in the quinoa crop, and this effect was seen mostly in plants that did not have nitrogen fertilization. The yield with shading plus nitrogen fertilization reached 4,19 t/ha.

Keywords: Quinoa, yield components, shading, nitrogen.

3. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un cultivo que ha ganado importancia en la última década al reconocimiento de su valor nutritivo, económico y agronómico, además, es una planta andina que se originó en el medio ambiente del lago Titicaca de Perú y Bolivia esta fue cultivada y utilizada por las civilizaciones y sustituida por los cereales a la llegada de los españoles (Nieto *et,al*, 2016).

En los años anteriores la producción de la quinua adquirió mayor importancia debido a su gran valor nutricional, destacando su equilibrio en el contenido de aminoácidos y alto valor de proteínas, esto ha favorecido la demanda externa y se ha sugerido como un cultivo estratégico para fomentar la seguridad y sostenibilidad alimentaria (Navruz-Varli y Sanlier, 2016).

Ecuador proyecta producir quinua en 16 mil hectáreas, ubicadas en las provincias de Carchi, Chimborazo, Imbabura, Pichincha y Loja el país siembra alrededor de 2 mil ha de quinua al año, con un total de producción de 1.400 toneladas métricas, que se acerca a un promedio de 0,70 t/ha, el rendimiento nacional alcanzado es muy bajo si se considera que el rendimiento potencial de este cultivo puede superar las 8 t/ha (MAGAP, 2017).

El nitrógeno es uno de los elementos más importantes para la producción de cultivos de granos (Fageria, 2014) el uso del N en la producción es concluyente para el aumento del rendimiento, la calidad y la rentabilidad de los cultivos. Así mismo el Nitrógeno ha mostrado tener influencia sobre el rendimiento y calidad de la quinua (Mendoza *et al.*, 2016) a pesar de ello, no existe información sobre la respuesta de la quinua a la fertilización nitrogenada en genotipos que crecen entre 2000 y 3000m.s.n.m en ambientes interandinos como son los de Ecuador.

Por otro lado, el nitrógeno es frecuentemente uno de los nutrientes más limitantes en la producción de los cultivos, debido a que participa en procesos fundamentales para el crecimiento, así mismo, es el elemento que está relacionado con la expansión foliar y ganancia de biomasa vegetal, por lo tanto, es probable que este elemento pueda modificar la duración del periodo crítico debido a que puede interferir en la capacidad de captura de recursos de la radiación y del suelo debido a su impacto sobre el crecimiento del cultivo como se ha visto en otros cultivos (Caviglia, y Sadras, 2001; Muurinen y Peltonen-Sainio, 2006; Wang *et al.*, 2021).

Entender cómo se genera el rendimiento de los cultivos es fundamental para tomar decisiones de manejo encaminadas a evitar la coincidencia de estres con los periodos sensibles del cultivo con el propósito de incrementar el rendimiento del grano. En este sentido, durante la ontogenia de los cultivos existen etapas que son sensibles a la pérdida del rendimiento que se denomina periodo crítico, que generalmente está ubicado alrededor de la antesis, debido a que aquí ocurren procesos fisiológicos claves que determinan la formación y crecimiento de los granos. Estudios recientes, usando genotipos andinos bajo las condiciones de Loja informan que el periodo crítico para la determinación del rendimiento en quinua estaría ubicado inmediatamente después del inicio de antesis (Villavicencio y Vásquez 2021).

No obstante, la etapa crítica del rendimiento puede variar entre las especies e incluso entre variedades de la misma especie como se ha visto en otros cultivos de grano (Estrada, 2010). En este contexto el presente proyecto cuantificó el impacto de la disminución de la radiación en la etapa crítica de la quinua, que permitió identificar cómo se afectan los componentes del rendimiento para este cultivo.

En el cultivo de quinua, si bien existen estudios sobre fertilización (Nieto, Olivas, Dominguez, Cochango, 2016) (Herreros y León, 2018), aún es escaso el conocimiento sobre potenciales interacciones entre el nitrógeno y estreses que disminuyan el uso de la radiación por el cultivo durante la etapa crítica en la quinua, por ejemplo, estreses hídricos térmicos, bióticos entre otros, que pueden disminuir la cobertura vegetal y por consiguiente la radiación interceptada por el cultivo (Kaur, Bedi, Gurjit, y Kumar, 2012).

A pesar de la importancia que tiene este cultivo, el área producida y el rendimiento de quinua a nivel nacional son bajos a 3 t/ha, comparados con otros países de la región como Perú y Bolivia donde la superficie cultivada es 79 -65 t/ha significativamente superior (Teomerio, 2016). Incrementar el rendimiento de la quinua implica mejorar el proceso productivo, por lo tanto, es fundamental generar conocimiento sobre los factores que determinan el rendimiento, incluyendo la fertilización y los factores fisiológicos del rendimiento, lo que ayudará a tomar decisiones para un manejo eficiente del cultivo (Estrada, 2010). Para lograr este propósito se ha planteado los siguientes objetivos.

Objetivo General

- Determinar el efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación fotosintéticamente activa sobre el crecimiento y rendimiento en quinua.

Objetivo Específicos

- Identificar cuál de los componentes del rendimiento es más sensible a los cambios de la radiación fotosintéticamente activa durante la etapa reproductiva.
- Evaluar el crecimiento y el rendimiento en el cultivo de quinua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada.

4. Marco teórico

4.1 Origen del cultivo de quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) es un cultivo originario de los Andes Centrales, fue descrita por primera vez por Carl Ludwig Willdenow en 1797, alrededor de 7.000 años la quinua ha sido cultivada en la región andina, donde ha sido apreciada por su valor nutritivo y durabilidad frente a condiciones ambientales su centro de origen se ubica en la región del Lago Titicaca de Perú y Bolivia y fue un grano básico de la cultura Inca.

La quinua fue cultivada y utilizada por las civilizaciones prehispánicas y reemplazada por los cereales a la llegada de los españoles, a pesar de constituir un alimento básico de la población (Mujica, Izquierdo, y Marathee, 2013).

4.2 Clasificación taxonómica y características morfológicas del cultivo de quinua

Según (Ramos, 2018) la clasificación botánica y morfológica de la quinua es importante para diferenciar e identificar las variables, formas silvestres y cultivadas, concluyendo que la quinua se ubica en la siguiente clasificación:

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la quinua según Ramos (2018).

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Fanerógamas</i>
Clase:	<i>Dicotiledóneas</i>
Subclase:	<i>Angiospermas</i>
Orden:	<i>Centrospermas</i>
Familia:	<i>Amaranthaceae</i>
Género:	<i>Chenopodium</i>
Sección:	<i>Chenopodia</i>
Subsección:	<i>Cellulata</i>
Especie:	<i>Chenopodium quinoa Willd</i>
Variedades:	<i>Tunkahuan</i> <i>Pata de venado</i> <i>Chimborazo</i>

Es una especie anual, dicotiledónea, perteneciente a la familia Amaranthaceae, según el periodo vegetativo de 4 a 9 meses y su altura va desde los 30 cm hasta los 2.20 m y estas presentan colores olor puede ser verde, amarillo, rojo a violeta dependiendo del ecotipo o variedad (FAO, 2011).

4.2.1 Raíz

La raíz de quinua es del tipo pivotante, consta de una raíz principal de la cual salen un gran número de raíces laterales muy ramificadas. La longitud de las raíces es variable, de 0.8 a 1.5 m. Su desarrollo y crecimiento está determinado por el genotipo, tipo de suelos, nutrición y humedad entre otros factores (Gómez y Aguilar, 2016).

4.2.2 Tallo

El tallo es cilíndrico y anguloso, con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada; alcanza de 0.4 a 3 m de longitud, el grosor disminuye de la base al ápice, presenta diferentes coloraciones que generalmente coincide con el color de las hojas. El número de ramificaciones es dependiente de la densidad de población en la que se encuentra el cultivo (León, 2014).

4.2.3 Hojas

Las hojas son alternas, de longitud y forma variable dentro de la misma planta, la lámina es polimorfa y la morfometría es variable según el genotipo. Las láminas son de consistencia algo suculenta y presentan en ambas superficies cristales de oxalato de calcio de colores variables que cumplen función de captación de humedad y disminución del exceso de radiación directa incidente (León, 2014).

4.2.4 Flores

La inflorescencia es una panoja de longitud variable con un eje principal del cual se originan ejes secundarios y terciarios. Pueden ser laxas o compactas. Se describen dos tipos de inflorescencia: amarantiforme y glomerulada, dependiendo de la inserción del glomérulo. Las flores están agrupadas en glomérulos, son incompletas por carecer de pétalos. El glomérulo puede presentar flores perfectas y pistiladas. La flor perfecta presenta un perigonio sepaloide, anteras y un ovario superior del cual emergen dos o tres estigmas. En general las flores perfectas están ubicadas en el extremo distal del glomérulo sobresaliendo sobre las pistiladas, ubicadas en el extremo proximal (Rojas, 2010).

4.2.5 Fruto

El fruto es un aquenio que presenta una única semilla, tiene forma elipsoidal o redonda de colores diferentes dados por el perigonio que lo recubre y que se desprende fácilmente cuando está seco. El pericarpio del fruto está adherido a la semilla pudiendo algunas veces separarse fácilmente y es donde está presente la saponina, un factor antinutritivo que le transfiere sabor amargo y es muy dependiente del genotipo (Gómez & Aguilar, 2016).

4.2.6 Semilla

La semilla está envuelta por la episperma en forma de una delgada membrana. El embrión es periférico y curvado por lo que es muy susceptible al daño mecánico. Está formado por un eje hipocotileradícula y los cotiledones, que envuelven al perisperma como un anillo. El perisperma, tejido de reserva, es almidonoso, generalmente de color blanco y constituye la mayor parte de la semilla. Los diferentes colores del perigonio, pericarpio y episperma dan a la inflorescencia de quinua esa gran variabilidad de colores (Rojas, 2010).

4.3 Necesidades nutricionales en cada fase del cultivo

Según, Better (2015) el ciclo de cultivo dura aproximadamente 180 días (6 meses) la absorción de nutrientes especialmente el nitrógeno aumenta intensamente entre la emergencia de la inflorescencia hasta la senescencia.

Tabla 2: Necesidades nutricionales en las diferentes fases fenológicas de la quinua según Better, (2015).

Fases fenológicas del Cultivo de Quinua	Absorción de nutrientes / fase (kg / ha de forma elemental)						Absorción proporcional de nutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Germinación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desarrollo de la hoja	60	20	50	30	20	21	1,00	0,33	0,83	0,50	0,33	0,35
Formación de brotes laterales	100	22	55	40	18	23	1,00	0,22	0,55	0,40	0,18	0,23
Emergencia de inflorescencia	150	28	100	75	25	29	1,00	0,19	0,67	0,50	0,17	0,19
Floración	340	50	150	230	28	32	1,00	0,15	0,44	0,68	0,08	0,09
Desarrollo del fruto	340	50	115	2020	25	35	1,00	0,15	0,34	0,65	0,07	0,10
Maduración	320	50	140	215	20	30	1,00	0,16	0,44	0,67	0,06	0,09
Senescencia	300	45	130	210	16	25	1,00	0,15	0,43	0,70	0,05	0,08

4.4 Importancia nutricional y agronómica

El valor nutritivo de la quinua es excepcional debido a que tiene un excelente balance de carbohidratos, grasas y proteínas para la alimentación humana

La quinua posee un alto porcentaje de fibra dietética total (FDT), lo cual la convierte en un alimento ideal que actúa como un depurador del cuerpo, logrando eliminar toxinas y residuos que puedan dañar el organismo. Produce sensación de saciedad. El cereal en general y la quinua en particular, tiene la propiedad de absorber agua y permanecer más tiempo en el estómago. El valor nutricional de la quinua por 100 gramos corresponde a 370 calorías, 14 de proteína, 64 de carbohidratos, 6 de lípidos, 7 de fibra cruda y 2.9 de ceniza. (Calla, 2015).

4.4.1 Proteína

Según Nowak *et al.* (2016) en su revisión literaria sobre Evaluación de la composición nutricional de la quinua determinaron rangos de proteína (9.1-15.7 g). Así la quinua presenta un patrón equilibrado de aminoácidos esenciales siendo una de sus principales características, las proteínas de la quinua tienen un alto contenido de lisina (4,8 g/100 g de proteína) y treonina (3,7 g/100 g de proteína).

Se observa que las proteínas de la quinua tienen concentraciones más altas o adecuadas de los aminoácidos esenciales, además, puede satisfacer los requerimientos de fenilalanina, tirosina, histidina, isoleucina, treonina y valina para niños de entre 10 a 12 años de edad (González y Prado, 2013).

4.4.2 Grasas

Es importante recalcar la cantidad relativamente alta de aceite en la quinua, aspecto que ha sido muy poco estudiado, que la convierte en una fuente potencial para la extracción de aceite el mayor porcentaje de ácidos grasos presentes en este aceite es el Omega 6 (ácido linoleico), siendo de 50,24% para quinua, el Omega 9 (ácido oleico) se encuentra en segundo lugar, siendo 26,04% para aceite de quinua los valores encontrados para el Omega 3 (ácido linolénico) son de 4,77%, seguido del ácido palmítico con 9,59%.

En algunos casos el 82,71% de ácidos grasos en el aceite de quinua pertenece a ácidos grasos insaturados. En las últimas décadas los ácidos grasos insaturados han cobrado gran importancia por la actividad benéfica para el organismo que se les atribuye, al mantener la fluidez de los lípidos de las membranas (FAO, 2011).

4.4.3 *Carbohidratos*

La quinua contiene entre un 58 y 68% de almidón y un 5% de azúcares, lo que la convierte en una fuente óptima de energía que se libera en el organismo de forma lenta por su importante cantidad de fibra (León, 2014).

4.4.4 *Minerales*

La quinua es un alimento muy rico en:

- **Calcio:** fácilmente absorbible por el organismo (contiene más del cuádruple que el maíz, casi el triple que el arroz y mucho más que el trigo), por lo que su ingesta ayuda a evitar la descalcificación y la osteoporosis; además, este es responsable de muchas funciones estructurales de los tejidos duros y blandos del organismo, así como de la regulación de la transmisión neuromuscular de estímulos químicos y eléctricos, la secreción celular y la coagulación sanguínea (González y Prado, 2013).
- **Hierro:** contiene el triple que el trigo y el quintuple que el arroz, careciendo el maíz de este mineral) (González y Prado, 2013).
- **Potasio:** posee el doble que el trigo, el cuádruple que el maíz y ocho veces más que el arroz (González y Prado, 2013).
- **Magnesio:** en cantidades bastante superiores en un hombre adulto de 70 kg de peso contiene aproximadamente 20 a 28 g de magnesio y el aporte recomendado es del orden 300 a 350 mg/día en el adulto La quinua contiene 270 mg/100 g de materia seca. El magnesio es un componente y activador de muchas enzimas, especialmente aquellas que transforman fosfatos ricos en energía, además, es un estabilizador de los ácidos nucleicos y de las membranas (FAO, 2011).
- **Fósforo:** los niveles son parecidos a los del trigo, pero muy superiores a los del arroz y, sobre todo, a los del maíz (González y Prado, 2013).
- **Zinc:** casi dobla la cantidad contenida en el trigo y cuadruplica la del maíz. El zinc actúa en la síntesis y degradación de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Si el aporte de zinc proveniente de los alimentos es aprovechable en un 20%, se recomienda un consumo de 8.3 mg/día (niños menores de 1 año), 8.4 y 11.3 mg/día (preescolares y escolares), 15.5 y 19.5 mg/día (adolescentes) y 14 mg/día (adultos) (FAO, 2011).

- **Manganeso:** sólo el trigo supera en este mineral a la quinua mientras el arroz posee la mitad y el maíz la cuarta parte (FAO, 2011).

4.4.5 Vitaminas

Según Ortiz (2015) la vitamina A, que es importante para la visión, la diferenciación celular, el desarrollo embrionario, el gusto, la audición, el apetito y el desarrollo, está presente en la quinua en rango de 0,12 a 0,53 mg/100 g de materia seca La vitamina E tiene propiedades antioxidantes e impide la peroxidación de los lípidos, contribuyendo de esta forma a mantener estable la estructura de las membranas celulares y proteger al sistema nervioso.

Las necesidades diarias son del orden de 2,7 mg/día y para niños de 7 a 12 meses es de 10 mg/día de alfa-tocoferol o equivalentes (FAO, 2011).

4.5 Requerimientos climáticos y edáficos de la quinua

4.5.1 Suelo

La quinua necesita de suelos francos, franco-arenosos, franco-arcilloso, con pendientes moderadas, y deben poseer contenidos altos de materia orgánica porque es exigente en nitrógeno.

En suelos arenosos las plantas emergen más rápido de lo normal, pero el desarrollo de la planta es débil en suelos arcillosos el agua se encharca y en suelos con bajos niveles de materia orgánica su desarrollo será también muy débil propensa al ataque de plagas y enfermedades (Calla, 2015).

4.5.2 pH

La quinua requiere de un pH neutro, sin embargo, puede prosperar muy bien en suelos alcalinos de hasta 9.0, y también en suelos ácidos de hasta 4.5, esto dependerá de la variedad de quinua; pero el pH óptimo varía de 6.5-8.0 (Calla, 2015).

4.5.3 Agua

El requerimiento mínimo de precipitación para la germinación es de 30 a 45 mm por dos a cinco días. La cantidad requerida óptima de agua es de 300-500 mm. de precipitación por campaña agrícola, bajo estas condiciones se puede observar el crecimiento y desarrollo adecuado de la planta (Calla, 2015).

4.5.4 Clima

La amplia variabilidad genética de la quinua hace que puedan prosperar en diversos climas desde los niveles del mar y las partes altas andinas. (Calla, 2015).

4.5.5 Temperatura

La temperatura óptima media varía en un rango de 5 – 15 °C y una oscilación térmica de 5-7 °C, la presencia de bajas temperaturas afecta especialmente en las etapas de germinación pues se requiere un mínimo de menos 4 °C, también en la etapa de floración causando baja producción de polen en consecuencia esterilidad de la planta; pero en la etapa de ramificación la planta no tendrá mayores problemas a descensos de temperaturas hasta de menos 4 °C (Luzón, 2016). Por otra parte, la presencia de altas temperaturas puede afectar los procesos fisiológicos de la planta, generando que la planta acelere el proceso de producción de grano para asegurar su sobre vivencia, es decir a temprana edad fenológica se puede observar el panojamiento y la floración para su posterior llenado precoz; otro desorden también es el aborto de flores (Calla, 2015).

4.5.6 Fotoperiodo

Según Calla (2015) este factor en la quinua también prospera muy bien en zonas con fotoperiodos de rangos diferentes (días largos y cortos), por la gran variabilidad genética de la planta. El óptimo es de 12 horas luz por día.

El fotoperiodo está relacionado con el lugar de origen, así variedades de trópico se caracterizan por una mayor sensibilidad al fotoperiodo y por una larga fase hasta antesis, variedades del Altiplano de Perú y Bolivia y de nivel de mar son de menor sensibilidad al fotoperiodo y tienen una fase a antesis más corta (Gómez y Aguilar, 2016).

4.5.7 Altitud

La quinua prospera en diferentes altitudes desde el nivel del mar hasta altitudes casi de 4,000 msnm., al nivel de mar va (0 a 500 m.s.n.m.), la yunga (500 hasta 2500 m.s.n.m.); sierra media (2 500 – 3 500 m.s.n.m.) y hasta la sierra alta (3 500 a 4 000 m.s.n.m.) (Calla, 2015).

4.6 Fenología de la quinua

4.6.1 Siembra y Densidad de siembra

La época de quinua según Peralta (2010) en su literatura nos menciona en el mes de noviembre a febrero con una cantidad de semilla por ha de 12 a 16 kg con una distancia

entre surcos de 60 a 80 cm, el sistema de siembra es de chorro continuo o golpes pequeños cada 20 cm. Las etapas fenológicas del crecimiento de la quinua están basadas según la escala BBCH, descrita por (Sosa *et al*, 2017) identifica las siguientes etapas:

4.6.2 Etapa de crecimiento principal 0: germinación

Describe la germinación de la semilla hasta que los cotiledones emergen de la superficie del suelo aquí hay etapas secundarias como el inicio de la imbibición de la semilla (etapa 0), la imbibición de la semilla completa (etapa 03) y la emergencia de la radícula de la semilla (etapa 05) La germinación es epigea seguida por la emergencia del hipocótilo (estadio 07) y el hipocótilo con los cotiledones creciendo hacia la superficie (estadio 08). La etapa de germinación finaliza con la emergencia de los cotiledones a través de la superficie del suelo (etapa 09).

4.6.3 Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de la hoja

Describe las hojas fotosintéticas en el brote principal. Las hojas emergieron en pares en la quinua, por lo que un par de hojas se consideró visible cuando las dos láminas de las hojas se separaron entre sí. Esta etapa comenzó cuando los cotiledones se separaron entre ellos (etapa 10) mientras que la aparición de las hojas fotosintéticas en el brote principal determinó la etapa de crecimiento secundario. El primer par de hojas fotosintéticas visibles se codificó como etapa 11, seguido de la etapa 12 y sucesivamente.

4.6.4 Etapa de crecimiento principal 2: Formación de brotes laterales (tallos secundarios).

La aparición de brotes laterales puede comenzar antes o después de la emergencia de la inflorescencia, se consideró visible un brote lateral cuando mostraba 1 cm o más de longitud. La primera toma lateral se codificó como etapa 21, seguida por la segunda toma lateral codificada como etapa 22 y posteriormente.

4.6.5 Etapa de crecimiento principal 5: emergencia de la inflorescencia

La emergencia de la inflorescencia ocurrió antes del final de la etapa de desarrollo de la hoja en el brote principal (etapa 1). Al principio, las yemas de la inflorescencia estaban cubiertas por hojas jóvenes y no eran visibles Después del alargamiento de las hojas, la inflorescencia se hace visible desde arriba (etapa 51). Esta etapa finaliza cuando la inflorescencia queda expuesta sin hojas que la cubran, aunque todas sus flores siguen cerradas (etapa 59).

4.6.6 Etapa principal de crecimiento 6: floración

La floración comienza con la extrusión de las primeras anteras (etapa 60) la anthesis fue seguida por el final temprano de la floración, que comenzó con las primeras anteras senescentes de las flores principales de la inflorescencia (estadio 67). En esta etapa, el color de la inflorescencia cambia según el genotipo, en el cual el color del perigonio cambia a medida que avanza la floración. Cuando todas las anteras visibles de la inflorescencia principal se consideraron completada (estadio 69).

4.6.7 Etapa principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto

El desarrollo del fruto se inició con el cuajado (estadio 70), que se definió como el engrosamiento del ovario y la presentación de los primeros granos visibles. El desarrollo de la fruta en la quinua fue visible, pero no fue práctico seguir el sistema de codificación BBCH que sugiere usar el porcentaje del diámetro final del grano como una medida para el desarrollo de la fruta en condiciones de campo. Considerando que el diámetro final del aqueno de quinua es de aproximadamente 2 mm, esa metodología de medición no fue factible para describir el resto de etapas secundarias.

4.6.8 Etapa principal de crecimiento 8: Maduración

Durante el proceso de maduración, el contenido de agua en el aqueno varió, modificando su textura y cambiando el color del pericarpio, que pasó de verde a beige, rojo o negro. Para medir la maduración (etapa 8), en la que el grano se consideró lechoso (etapa 81), de espesor (etapa 85) y maduro (etapa 89). El estadio lechoso era característico de granos con pericarpio verde que se aplastaban fácilmente con las uñas liberando un contenido líquido blanco. Los granos gruesos tienen un contenido pastoso blanco cuando se trituran, y sus pericarpios eran de color verde, beige, rojo o negro. Los granos maduros imposibles de triturar y tenían un contenido seco; sus pericarpios eran de color beige, rojo o negro dependiendo de sus genotipos, y estos granos estaban listos para cosechar.

4.6.9 Etapa principal de crecimiento 9: Senescencia

La senescencia comenzó en las hojas basales (estadio 91) y continuó hacia arriba, pero el tallo permaneció verde (estadio 93). Luego, las hojas restantes se murieron y el tallo pasó de amarillo a marrón (etapa 95). Finalmente, toda la planta estaba muerta y seca (etapa 97), y luego se cosechó el producto (etapa 99).

4.7 Generación del rendimiento en quinua

El rendimiento puede ser explicado como una función directa de la producción de biomasa total (BT) y el índice de cosecha (IC) en la generación interactúan factores que interactúan simultáneamente en la producción de biomasa, como I), la radiación solar incidente propio del área geográfica y estación del año, II) la eficiencia de intercepción determinada por la capacidad del canopeo para capturar la radiación incidente, y, III) la eficiencia de conversión o de uso de radiación que expresa la capacidad del cultivo de transformar la energía lumínica interceptada en biomasa (González y Prado, 2013)

4.8 Componentes del rendimiento

El rendimiento es un conjunto de componentes que se van generando durante el desarrollo del cultivo y cada uno es fijado en un momento específico, este es definido por sus dos principales componentes, el número de granos m^{-2} y el peso promedio del grano (Sandaña y Calderini, 2014).

4.9 Número de granos

Es un proceso secuencial de una etapa vegetativa en la cual se determina el número de plantas por unidad de superficie y el número de ramificaciones por planta, finalmente una etapa reproductiva en la cual se determina el número de panojas por planta y el número de granos por panoja (Sandaña y Calderini, 2014).

4.10 Peso de granos

El peso del grano depende de la tasa de acumulación de materia seca del grano y tiempo de llenado, comprende tres fases. La fase uno donde se produce la división celular acelerada y el incremento del peso es leve, la fase dos “de crecimiento lineal” donde hay una gran acumulación de biomasa y se definen los componentes comerciales, finalmente, la fase tres “de estabilidad” donde no hay acumulación de biomasa su peso se estabiliza alcanzando su máximo peso seco. Este componente en los cultivos de granos es mucho más estable que el número (Sandaña y Calderini, 2014).

4.11 Radiación solar y el desarrollo vegetal

4.11.1 Relación solar y su importancia del crecimiento

La radiación solar es el factor ambiental más importante, pues influyen en los procesos de la fotosíntesis, balance de agua y energía y el crecimiento y desarrollo del cultivo. Dicha importancia se sustenta en la alta tasa de fotosíntesis, en la relación directa que

existe entre la producción de materia seca y rendimiento con la cantidad de radiación interceptada por el cultivo (Intagri, 2009).

Además, presenta un desarrollo del área foliar menor debido a la cantidad de luz que intercepta la planta es afectado por la densidad de plantación, el tamaño y la forma de su follaje (Inta, 2014).

4.11.2 Relación fuente destino

La base fisiológica de la producción de biomasa depende de la relación fuente -destino en donde la fuente es el potencial de la fotosíntesis y el destino es la capacidad de utilizar los productos fotosintéticos estos dos se ven fuertemente afectados por las interacciones entre el genotipo y el medio ambiente (Gómez, 2019)

Se conoce como fuentes a los órganos que exportan en la planta (hojas maduras) mientras que al destino se los conoce a las hojas inmaduras y a los órganos no fotosintéticos (raíces, tubérculos y frutos). Si el destino es pequeño el rendimiento no será alto y viceversa si la fuente es limitada (Ramírez *et al.*, 2016).

4.11.3 Efectos de la disminución de la radiación

La manipulación de la radiación solar en diferentes etapas del cultivo es una herramienta útil para explorar la sensibilidad que tienen los cultivos a diferentes estreses, debido a que mediante el sombreado se simula los efectos de la disminución de los recursos como los estreses bióticos o abióticos. Es así que en varios estudios se han encontrado el periodo crítico del rendimiento usando períodos discretos y sucesivos de sombreado como en el trigo (Fischer, 1975), maíz (Kiniry & Ritchie, 1985), avena (Mahadevan *et al.*, 2016) soja (Jiang & Egli, 1993, 1995), girasol (Cantagallo *et al.*, 2004), triticale (Estrada *et al.*, 2008).

En soja el sombreado durante la etapa reproductiva redujo el número de vainas y semillas resultando una menor cantidad de flores por planta y por abscisión de vainas y flores (Jiang y Egli, 1993, 1995) en maíz el rendimiento se vio afectado negativamente durante el periodo crítico debido a la reducción de la radiación solar se puede restringir el número de células de endospermo desarrolladas en los granos cercanos a la punta de mazorca, impidiendo el llenado (Kiniry y Ritchie, 1985),

Lo descrito anteriormente proporciona información para cultivos anuales de grano como es el arroz, maíz, y estos concuerdan en la disminución de los rendimientos de número de granos por unidad de superficie más que el peso de cada grano.

4.12 La fertilización nitrogenada

El aporte de nutrientes al suelo para obtener una repercusión productiva, y concretamente la adición de nitrógeno, no es una práctica moderna en absoluto. Podemos decir, en todo caso, que ha cambiado drásticamente la forma y la capacidad para realizar ese aporte. El nitrógeno fomenta el crecimiento vegetativo y aumenta la producción de hojas (Betràn, 2006).

Cuando todos los restos de elementos esenciales no se encuentran en déficit el nitrógeno es el motor del crecimiento de la planta, normalmente mostrará su eficiencia poco después de su aplicación, las plantas desarrollarán un color verde oscuro y crecerán más vigorosamente (Bojanic, 2011). Sin embargo, el nitrógeno excesivo, desequilibrado en cereales/arroz puede resultar en vuelco, mayor competencia de malas hierbas y ataques de plagas, con pérdidas sustanciales de producción de cereal o de arroz (en otros cultivos decrece la calidad, particularmente la capacidad de almacenamiento). Además, el nitrógeno no absorbido por el cultivo posiblemente se pierda en el ambiente (Peralta, 2010).

5. Metodología

5.1 Ubicación

El presente trabajo se realizó en la “Quinta Experimental Docente La Argelia” (QEDA) de la Universidad Nacional de Loja, en el barrio la Argelia, parroquia Punzara, cantón Loja; la QEDA se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 4°02'19.2" S 79°12'00.6" W (Figura 1). La zona de estudio se encuentra a 2150 m.s.n.m, presenta una temperatura promedio de 18 °C y una precipitación media anual de 1058 mm en un suelo de naturaleza franco limoso con un pH de 5 a 6.

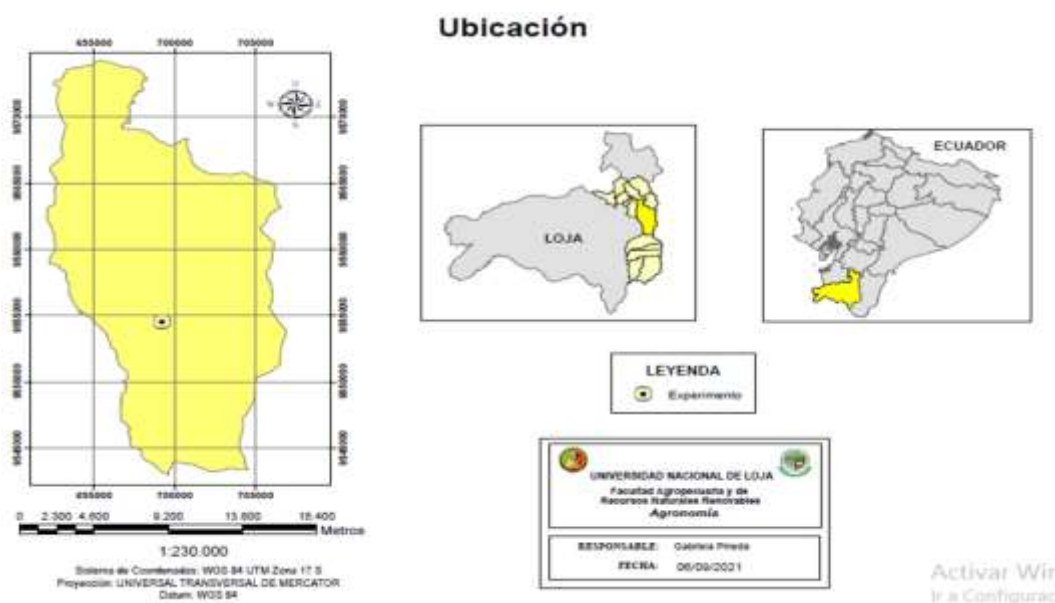


Figura 1: Ubicación del experimento en el cantón Loja, ciudad de Loja, sector La “Argelia”

5.2 Diseño Experimental

Se usó un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo bifactorial, los factores evaluados fueron la fertilización nitrogenada (2 niveles) y sombreado (4 niveles).

El factor fertilización tuvo dos niveles 0 kg/ha y 150 kg/ha (aplicado 75 kg en el estado de 4 a 6 hojas y 75 kg en la iniciación del meristemo floral (BBCH50).

El factor sombreado tuvo 4 niveles que consistieron en tres períodos sucesivos de sombreado iniciando en primera antesis (BBCH60), inicio de llenado de grano (BBCH70) y finalizando en llenado de grano (BBCH 80), y un control sin sombreado, la duración de los periodos de sombreado fueron de 15 días, es decir se utilizaron 8 tratamientos y 3 repeticiones con un total de 24 unidades experimentales por ensayo. La unidad experimental estuvo conformada con dimensiones de 2 m de largo y 2 m de ancho

conformando 5 hileras y cada hilera constituida por alrededor de 20 plantas de la variedad Tunkahuan (Tabla 3).

Tabla 3: Tratamientos de la investigación en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Tratamiento	Nitrógeno	Sombreo
1	0 kg/ha	S1 (Sin sombra)
2		S2 (Inicio de antesis)
3		S3 (Inicio de llenado)
4		S4 (Llenado de grano)
5	150 kg/ha	S1 (Sin sombra)
6		S2 (Inicio de antesis)
7		S3 (Inicio de llenado)
8		S4 (Llenado de grano)

El diseño experimental se estableció en condiciones de campo como se indica en el siguiente esquema gráfico (figura 2) donde cada color significa el nivel de sombra y fertilización nitrogenada para cada caso.

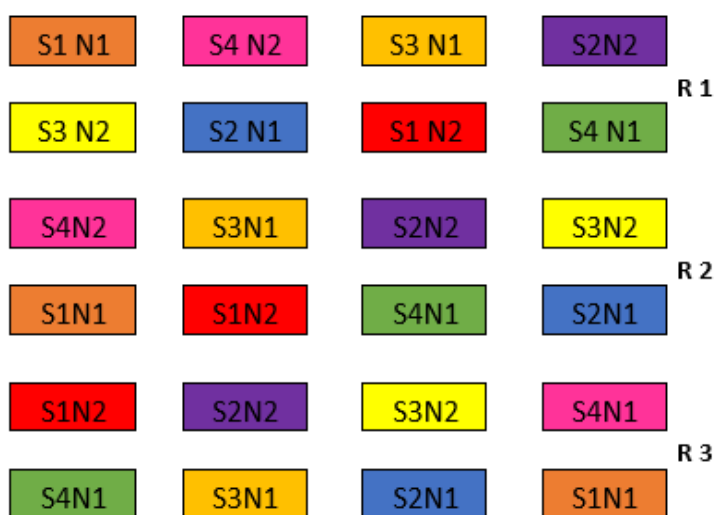


Figura 2: Diseño experimental de la investigación de la quinua. Donde; Naranja: sin sombra sin nitrógeno; Rosa: sombra en llenado de grano con nitrógeno; Amarillo oscuro: sombra en inicio de llenado más sin nitrógeno; Morado: sombra en inicio de antesis con nitrógeno; Amarillo claro: sombra en inicio de llenado con nitrógeno; Azul: sombra en inicio de antesis sin nitrógeno; Rojo: sin sombra con nitrógeno y Verde: sombra en llenado de grano sin nitrógeno.

5.3 Modelo matemático del diseño experimental

Establecerán bajo un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo factorial:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha * \beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} : respuesta de las k repeticiones en los i niveles del factor de fertilización nitrogenada y j nivel del factor de la sombra.

μ : media global (kg/parcela).

α_i : Efecto de los i -ésimo niveles del factor fertilización nitrogenada.

β_j : Efecto de los j -ésimo niveles del factor sombra

$\alpha\beta_{ij}$: Efecto de la interacción entre los niveles

ε_{ijk} : Error experimental

5.4 Análisis Estadístico

Los datos registrados fueron tabulados en Microsoft Excel para su respectivo análisis estadístico mediante el programa Infostad versión Libre estudiantil. Los datos fueron ingresados en el programa antes mencionado, luego se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) factorial en función del factor de la fertilización nitrogenada y pruebas de comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey con un (p -valor <0.05) para determinar diferencias estadísticamente significativas en la altura, índice de área foliar, rendimiento, biomasa, número de granos y peso de granos. Finalmente fueron graficadas en el Graph PAD 8.

5.5 Metodología

5.5.1 Manejo del Experimento

La preparación del terreno se realizó de forma convencional con maquinaria agrícola, (Anexo 4; figura 13) donde se ejecutaron dos pasadas con arado de discos de vertedera y dos pasadas de rastra a una profundidad de 0.20m y luego se procedió a efectuar la medición del terreno y delimitación de las parcelas (Anexo 4; figura 14-15).

Se realizó un análisis de suelo (Anexo 2) para determinar las características químicas del sitio de experimentación, encontrándose un pH:5.96; M.O:1.77%; N:0.09%;

P:16.3mg/kg; K:0.10cmol/kg; Ca:3.81cmol/kg; Mg:0.28 cmol/kg, debido a los resultados se realizó la corrección del pH con cal agrícola (Anexo 1), según Soprocal, (2015):

- a) Diferencia entre el pH a alcanzar y el pH actual.
- b) Se multiplicó el valor obtenido: por 8 300 en el caso de suelos: porosos. - por 6 700 en el caso de A. suelos: rojos; por 5 000 en el caso de otros suelos: graníticos, metamórficos y aluviales.
- c) El resultado fue la dosis de cal en kilos por hectárea utilizando 0,9 kg/m², mientras que el del potasio se realizó la corrección con muriato de potasio (Anexo 1; figura 16-18).

La siembra se llevó a cabo el 7 de octubre del 2021, se realizó manualmente a chorro continuo, a una distancia de 0.5 m entre hileras, además se utilizó 50 kg de abono orgánico (compost) distribuyéndolo en una forma homogénea en todos los surcos para ayudar a la germinación. A los 30 días de la emergencia, se hizo un raleo de la quinua (Anexo 4; figura 19-21).

Los tratamientos con sombreado se realizó con la instalación de una malla sarán al 80% colocada sobre una estructura metálica con cuatro cuadrantes laterales (Anexo 4; figura 22) que ayudaron a sostener una base cuadrangular, en manera de una carpa, de tal manera que la malla cubrió todo el cuadrante del cultivo, luego se procedió a coser los laterales dejando un lateral descubierto para la entrada de los polinizadores este se lo orientó de tal manera que no permita el ingreso de la radiación al cultivo(Anexo 4; figura 23-24).

Así mismo, se monitoreó permanentemente el cultivo (Anexo 4; figura 25) siendo la *Diabrotica spp*; la principal plaga presente, para lo cual se hizo un control fitosanitario a base de cipermetrina cada 8 días con una dosis de 15 ml de cipermetrina/ bomba de 20 litros. (Anexo 4; figura 26).

Finalmente, la cosecha se realizó de forma manual cuando las plantas llegaron a la madurez fisiológica (Anexo 4; figura 27) y posteriormente las plantas obtenidas de cada tratamiento fueron guardadas en fundas de papel (Anexo 4; figura 28-29) llevadas al laboratorio de suelos para seguir con el procedimiento del trillados para obtener las diferentes variables a evaluar (Anexo 4; figuras 30).

5.5.2 Tipo de investigación

Se realizó una investigación tipo descriptiva donde nos permitió determinar la respuesta del rendimiento de la quinua mediante la aplicación de la fertilización nitrógeno y de sombreo continuos durante el ciclo del cultivo, así se identificó la etapa donde son más sensibles; durante el ciclo del cultivo se tomaron diferentes variables como la fenología, altura de la planta y la biomasa en cinco estadios del cultivo, mientras que en la cosecha se midió número de granos por planta, número de granos por m², peso de 1000 granos, rendimiento y el índice de cosecha.

5.5.3 Método

Se aplicó el método inductivo - deductivo el cual nos ayudó a razonar partiendo de varias observaciones en campo, donde se pudo distinguir las particularidades de reacciones al sombreo en la calidad del grano, ello nos permitió generar ideas y conclusiones generales para nuestra investigación, considerando el periodo crítico de la quinua y esto a su vez ser aplicado o enseñados a los productores de la zona de Loja.

5.5.4 Metodología para el primer objetivo específico. Identifica cuál de los componentes del rendimiento es más sensible a los cambios de la radiación fotosintéticamente activa durante la etapa reproductiva

Para identificar los componentes del rendimiento que son afectados por los cambios de la radiación fotosintéticamente activa, se consideraron las siguientes variables:

a) Número de granos

Se determinó luego de la cosecha contando el número de granos obtenidos por planta, tomados de 5 plantas aleatorias de los surcos centrales de cada unidad experimental, cuando el cultivo llegó a madurez fisiológica (Anexo 4, figura 31-32).

Determinado el número de granos por planta se extrapoló al número de plantas promedio, es decir se multiplicó el número de granos por planta por el número de plantas por m².

b) Peso de 1000 granos

Se determinó secando en horno las muestras de los granos durante tres días a 75 ° C, además, se eligió al azar una muestra representativa de 100 granos del total de granos cosechados en las plantas de los surcos centrales de las diferentes unidades experimentales se procedió llevar a la balanza y finalmente se realizó una regla de tres para estimar el peso de los 1000 granos (Anexo 4, figura 33-36).

c) Biomasa aérea

Se tomaron en cinco momentos durante el ciclo del cultivo (dos momentos en la etapa vegetativa, antesis, comienzo de llenado y cosecha, se cosecharon 3 plantas de las hileras centrales por repetición (Anexo 4, figura 37-38).

d) Índice de cosecha (IC)

Se evaluó después de la cosecha, una vez determinada la biomasa y rendimiento de cada unidad experimental, para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\text{rendimiento del grano } gm^{-2}}{\text{biomasa aérea total } gm^{-2}}$$

5.5.5 Metodología para el segundo objetivo específico. Evaluar el crecimiento y el rendimiento en el cultivo de quinua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada.

Para evaluar el crecimiento de quinua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada, se consideraron las siguientes variables:

a) Condiciones climáticas

Los registros de los datos diarios de temperatura y humedad relativa se tomaron mediante el uso de un termograficador, ubicado en el experimento, en las Quintas de la Universidad Nacional de Loja.

b) Fenología

Establecido el cultivo se realizó el seguimiento de la fenología y desarrollo del cultivo de la variedad de quinua Tunkahuan utilizando como referencia la escala elaborada por (Sosa *et al.*,2017) que consiste en la escala BBCH (Tabla 4). Cada etapa fenológica se estableció cuando más del 50 % de las plantas de la parcela alcanzo al estado fenológico. También se registró la duración de las etapas fenológicas para ello se cuantifico en días calendario.

Tabla 4: Etapas fenológicas del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la escala BBCH según Sosa *et al.*, (2017).

Código	Descripción
0	Geminación
1	Desarrollo de hojas
2	Formación de brotes laterales
3	Elongación del tallo

4	Desarrollo de partes vegetativas cosechables
5	Emergencia de florescencia
6	Floración
7	Desarrollo del fruto
8	Fruto maduro
9	Senescencia

c) Altura de planta

Se midió la longitud del tallo principal desde el cuello de la planta hasta su ápice central con una cinta métrica y estos fueron registrados en metros y cada 15 días (Anexo 4, figura 39-40).

d) Tasa de elongación del tallo

Se obtuvo con la altura de la planta de quinua, esto se determinó aplicando la siguiente fórmula:

$$TET = \frac{(AT_f - AT_i)}{(ND_f - ND_i)}$$

Donde:

TET = tasa de elongación del tallo

AT_f = altura del tallo final

AT_i = altura del tallo inicial

ND_f = número de día final

ND_i = número de día inicial

e) Cobertura vegetal

Se obtuvo mediante la toma de imágenes cada 15 días utilizando la aplicación (canopeo) colocada en una misma altura en el centro de la parcela para finalmente analizar los datos obtenidos (Patrignani y Ochsner, 2015).

f) Rendimiento

Se obtuvo después de la cosecha una vez obtenidos los componentes del rendimiento de la quinua, se determinó aplicando la siguiente fórmula:

$$R = NG \text{ m}^{-2} * PG$$

Donde:

R= rendimiento

NG m⁻²= número de granos por metro cuadrado

PG= peso de granos

6. Resultados

6.1 Condiciones climáticas

En la figura 3, se representan las condiciones climáticas de la Quinta Experimental Docente La Argelia (QEDA) a las que el cultivo estuvo expuesto desde el inicio hasta el final de su ciclo.

La temperatura media que presentó fue de 16,97 °C y la humedad relativa promedio fue de 80,70%.

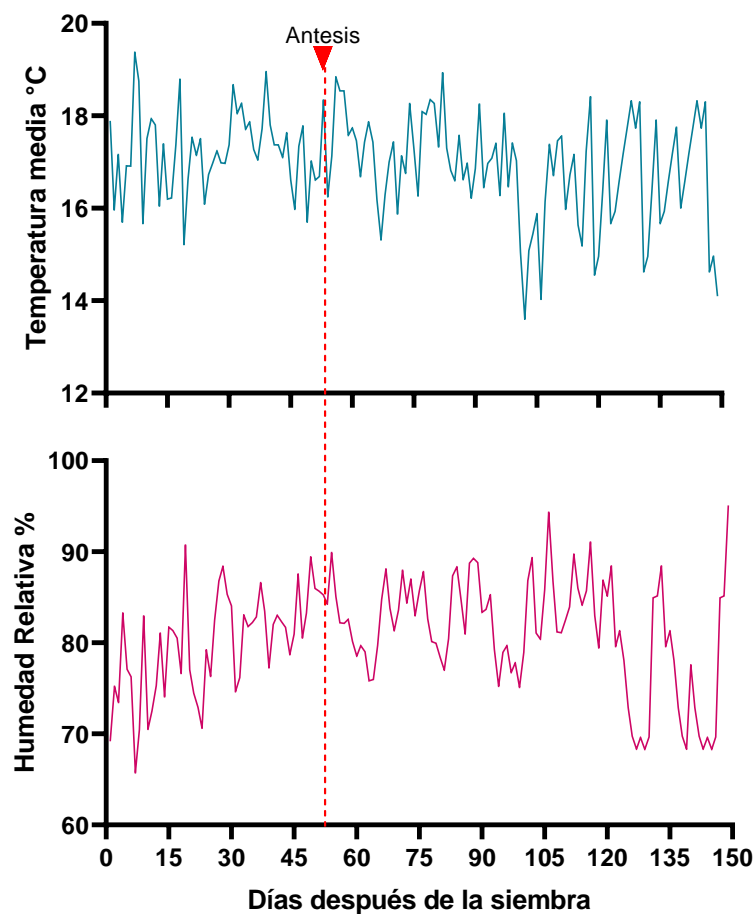


Figura 3: Temperatura media diaria °C y humedad relativa % durante el ciclo del cultivo de quinua. Línea roja indica el inicio antesis (BBCH60).

6.2 Fenología de la quinua

La duración de las etapas fenológicas de la quinua al evaluar la duración de las etapas fenológicas de la quinua variedad Tunkahuan presentaron concordancia durante el estado de emergencia, con una duración en cada fase: BBCH 9 (6 DDS), BBCH 14 (16 DDS),

BBCH 20 (38 DDS), BBCH 52 (54 DDS). Desde el comienzo de antesis hasta culminado el estado de senescencia no presentaron concordancia, las cuales mostraron una duración mayor durante cada fase: BBCH 60 (87 DDS), BBCH69 (100 DDS), BBCH 70 (DDS), BCH 89 (136 DDS) y (BBCH 99 (149 DDS).

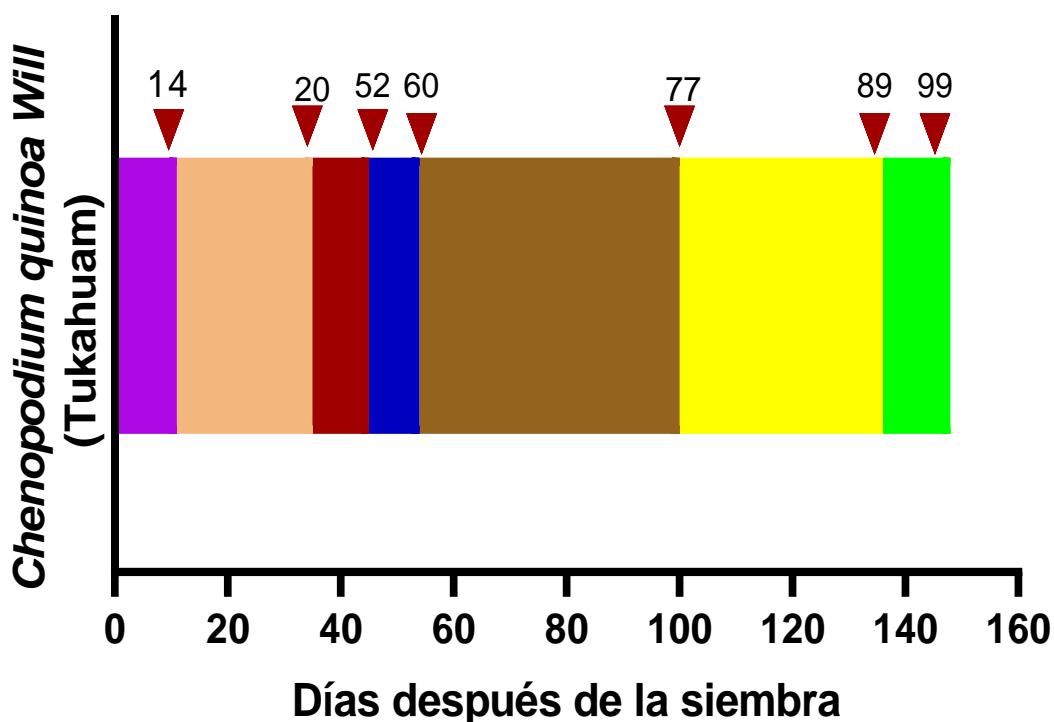
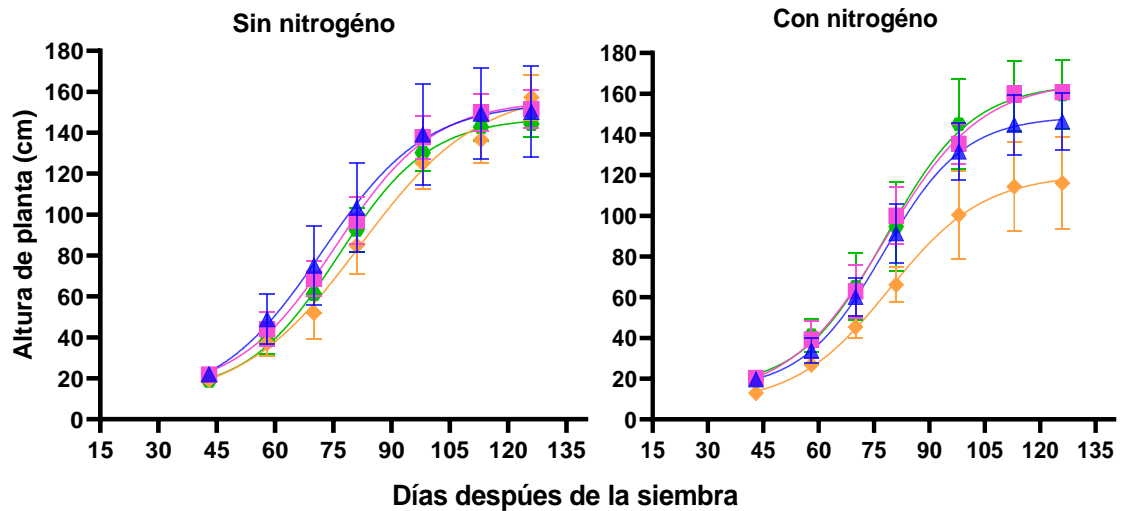


Figura 4: Duración de las etapas fenológicas de la quinua variedad Tunkahuan cultivado en la Argelia, Loja en días después de la siembra. Morado: Desarrollo de hojas (BBCH14); Rosado: Brotes laterales (BBCH20); Vino: Emergencia de inflorescencia (BBCH52); Azul: Comienzo de antesis (BBCH60); Café: Desarrollo de fruto (BBCH77); Amarillo: Maduración (BBCH89); Verde: senescencia (BBCH99).

6.3 Altura de la planta

La altura de la planta no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$); sin embargo, las plantas con el tratamiento sin nitrógeno más sombreo inicio de llenado de granos (S3N2) presentó el menor valor de 1,58 m y el tratamiento con nitrógeno más sombreo en antesis (S2N1) presentó el mayor valor de 1,65 m (Figura 5).

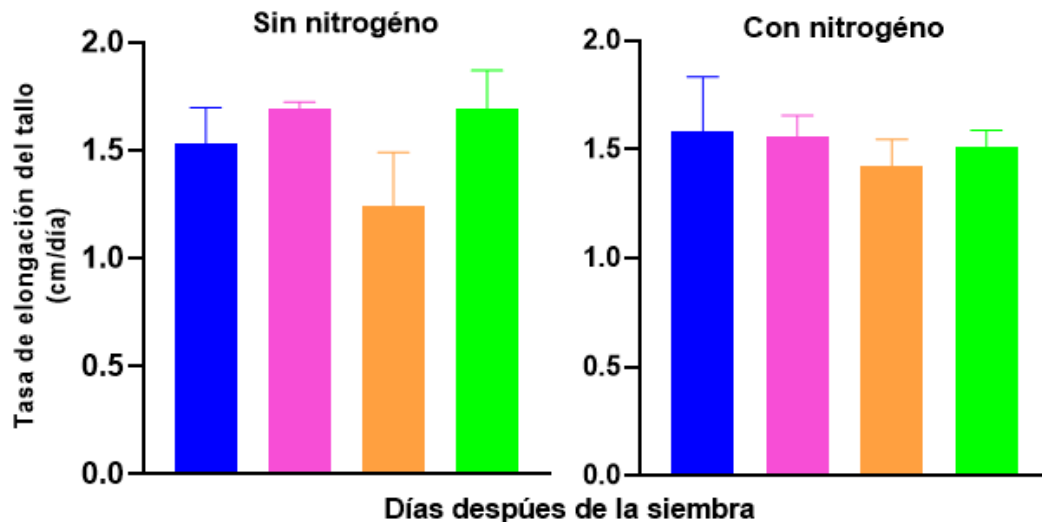


▲ Control ■ Somb Antesis ◆ Somb Inicio llenado ● Somb llenado

Figura 5: Altura de la planta del cultivo de quinua bajó a dos tratamientos sin nitrógeno más sombra y con nitrógeno más sombra. Cada punto representa el promedio de las tres repeticiones, las barras en cada símbolo es el error estándar de la media.

6.4 Tasa de Elongación del tallo

La tasa de elongación del tallo en todos los casos no tuvo un efecto directo del tratamiento con nitrógeno más sombra los valores variaron de 0,1 a 0,3 cm/día, efecto similar se evidencio con el tratamiento sin nitrógeno más sombra (S3N1) obteniendo 1,24 cm/día (Figura 6).



▲ Control ■ Somb Antesis ◆ Somb Inicio llenado ● Somb llenado

Figura 6: Tasa de elongación del tallo del cultivo de quinua bajó a dos tratamientos sin nitrógeno más sombra y con nitrógeno más sombra. Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media.

6.5 Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal del cultivo de quinua no presentó diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) según la dosis de nitrógeno y el periodo de sombreo, no obstante, hubo un mayor porcentaje de cobertura vegetal en plantas evaluadas sin nitrógeno más sombreo 50,2 a 57,3% y un menor porcentaje de cobertura vegetal en plantas con nitrógeno más sombreo 41,4 a 55,6% (Figura 7).

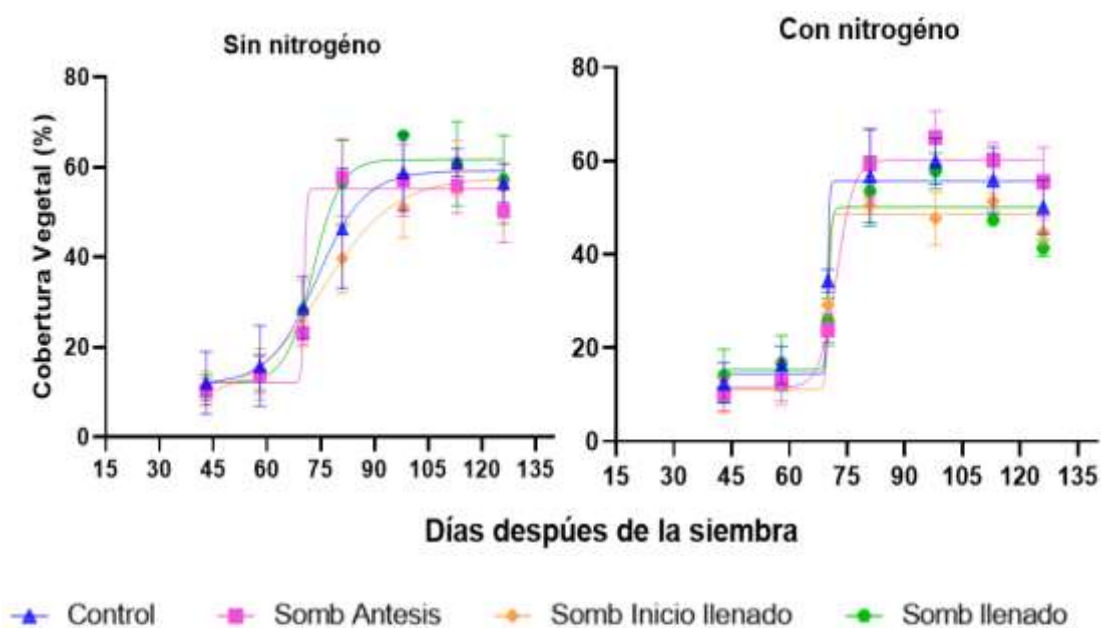
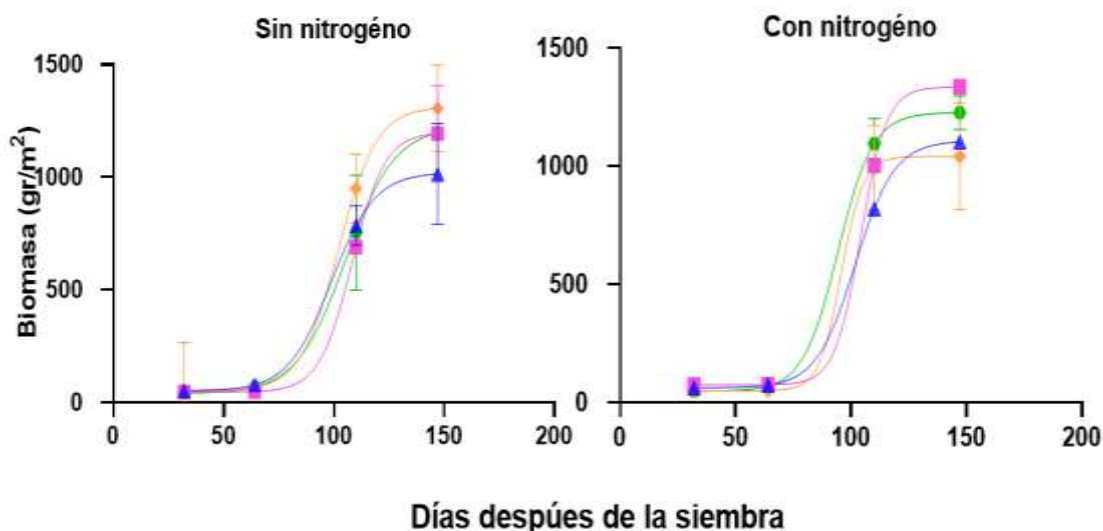


Figura 7: Cobertura Vegetal (%) de las plantas de quinua bajo a dos tratamientos sin nitrógeno más sombra y con nitrógeno más sombra. Cada punto representa el promedio de las tres repeticiones, las barras en cada símbolo es el error estándar de la media.

6.6 Biomasa

La biomasa no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p>0,05$); sin embargo, ambos tratamientos presentan una biomasa creciente, en el tratamiento sin nitrógeno más sombreo 1305,7 gr/m² a 1041,73 gr/m², mientras que en los del tratamiento con nitrógeno más sombreo de 1335,33 gr/m² a 1014,27 gr/m², siendo el tratamiento control el que presentó una menor biomasa en relación a los demás tratamientos (Figura 8).



▲ Control ■ Somb Antesis ◆ Somb Inicio llenado ● Somb llenado

Figura 8: Biomasa (gr/m^2) recolectada en cinco estadios de la quinua bajo a dos tratamientos sin nitrógeno más sombra y con nitrógeno más sombra. Cada punto representa el promedio de las tres repeticiones, las barras en cada símbolo es el error estándar de la media.

6.7 Rendimiento y sus componentes

El rendimiento de grano y sus componentes (índice de cosecha, número de granos/planta, número de granos/ m^2 y peso de 100 granos) (Tabla 5) no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos evaluados.

En cuanto al rendimiento los tratamientos sin nitrógeno más sombreado presentaron rendimientos de 3,22 t/ha a 3,77 t/ha, en cambio, en los tratamientos con nitrógeno más sombreado mostraron un rendimiento de 4,19 t/ha a 2,67 t/ha.

Con respecto al índice de cosecha presentaron variaciones entre 0,28 a 0,33 gr/m^2 tanto en los tratamientos, sin nitrógeno más sombreado, así como, en los tratamientos con nitrógeno más sombreado.

Con respecto al número de granos por planta se obtuvo un mayor valor en plantas evaluadas con el tratamiento nitrógeno más sombreado en el estado de inicio de llenado de grano 8364,24 granos por planta y un menor valor durante el inicio de llenado con nitrógeno más sombreado 5 344,89 granos por planta. Una respuesta diferente se observó en la (Tabla 5) los tratamientos sin nitrógeno más sombreado en inicio de llenado (S3N1) de 8133,85 granos planta y el menor fue del tratamiento de con nitrógeno más sombreado inicio de llenado (S2N1) de 5344,89 granos planta.

En cuanto al mayor número de granos por m² en el tratamiento con nitrógeno más sombreado en inicio de llenado de grano (S3N2) 120982,04 gr/m² y con menor número sin sombra más sombreado en llenado de grano (S4N2) 167284,75 gr/m². Una dinámica diferente se observó en los tratamientos sin nitrógeno más sombreado en inicio de llenado (S3N1) 162676,90 gr/m² y con menor número de granos fue (S2N1) 106897,83 gr/m².

Al comprar el peso de los 1000 granos tanto el tratamiento con nitrógeno más sombra y sin nitrógeno más sombra mostraron una diferencia entre 30 y 50 gr (Tabla 5).

Tabla 5: Medias de rendimiento de grano, sus componentes, índice de cosecha de la variedad Tukahuan con los diferentes niveles de sombra y nitrógeno.

Sombreo	Nitrógeno (Kg/ha)	Rendimiento (T/ha)	Índice de cosecha	Número de granos (planta)	Número de granos (m ²)	Peso de 1000 granos (gr)
Sin sombra	0	2,09	0,27	6214,09	124281,76	309,20
Inicio de antesis	0	2,27	0,28	5344,89	106897,83	266,67
Inicio de llenado de grano	0	3,77	0,30	8133,85	162676,90	387,40
Llenado de grano	0	3,22	0,26	6472,31	129446,13	348,27
Sin sombra	150	3,54	0,33	6681,56	14631,30	364,40
Inicio de antesis	150	2,67	0,31	6049,10	120982,04	297,47
Inicio de llenado de grano	150	4,19	0,38	8364,24	167284,75	419,20
Llenado de grano	150	3,58	0,35	7116,04	142320,78	381,60
CV		37,45	17,61	35,88	35,88	37,54
Sombra		ns	ns	ns	ns	ns
Nitrogeno		ns	ns	ns	ns	ns
S*N		ns	ns	ns	ns	ns

Los valores son medias de tres repeticiones ns= efecto no significativo p>0.05; * efecto significativo p<0.05** efecto muy significativo p<0.01; *** efecto altamente significativo p<0.001; CV=Coefficiente de Variación.

6.8 Efecto de la sombra y el nitrógeno sobre el rendimiento y sus componentes

6.8.1 Biomasa

Una disminución de la biomasa ocurrió cuando se sombreado al inicio del llenado de grano con nitrógeno (7,51%) respecto del control, mientras que la disminución fue mayor

cuando se sombreó en el inicio de llenado de grano (83DDS), pero sin adición de nitrógeno (13,80 %) (Figura 9).

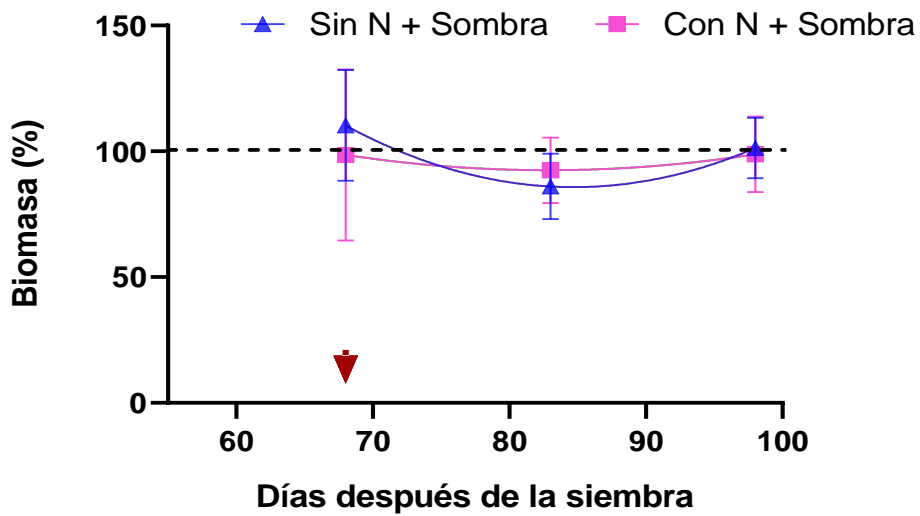


Figura 9: Biomasa (%) con relación al control. Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.

6.8.2 Peso 1000 granos

Al evaluar el peso de 1000 granos presentó un mayor peso cuando se sombreó al inicio de la antesis (9%) pero sin adición de nitrógeno respecto del control, presento un menor peso cuando se sombreó en el inicio de llenado de grano, pero con adición de nitrógeno (27,74 %) (Figura 10).

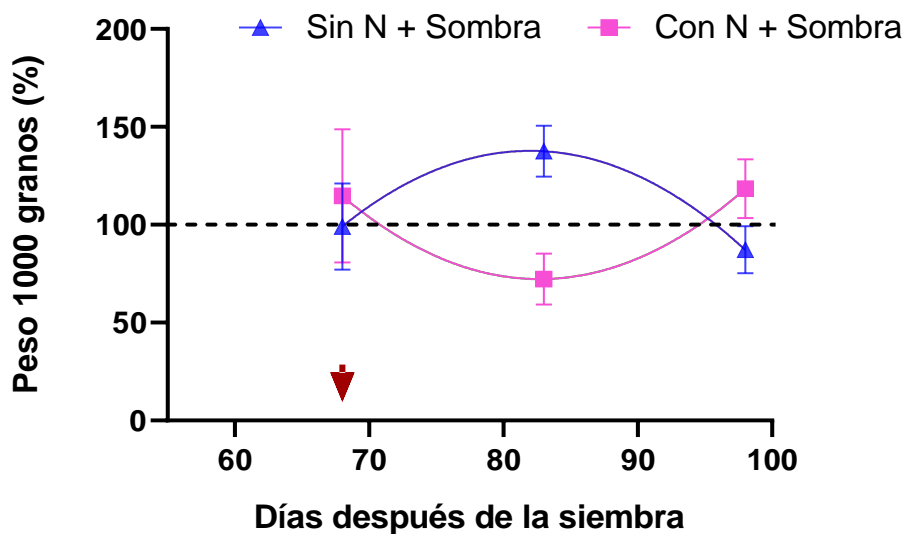


Figura 10: Peso 1000 granos (%). Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.

6.8.3 Número de granos

Cuando se sombreó al inicio del llenado de grano presentó un mayor número de granos por planta (39,11 %) respecto al control, mientras que, cuando se sombreo durante el inicio de llenado de grano, pero sin nitrógeno presentó un menor número de granos (24,73 %) (Figura 11).

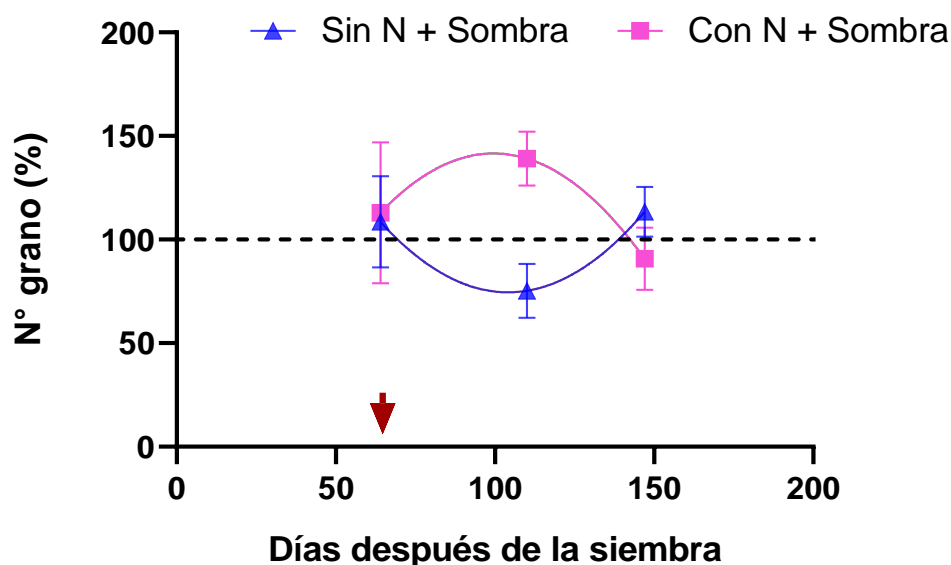


Figura 11: Número de granos por planta (%). Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.

6.8.4 Rendimiento

Al evaluar el rendimiento hubo una disminución del (26,01 %) en plantas evaluadas con nitrógeno y sombreo en el llenado de grano en relación al tratamiento control, mientras que, en plantas evaluadas sin nitrógeno y sombreo en el inicio del llenado de grano presento una disminución del (35,34 %) con respecto al control (Figura 12).

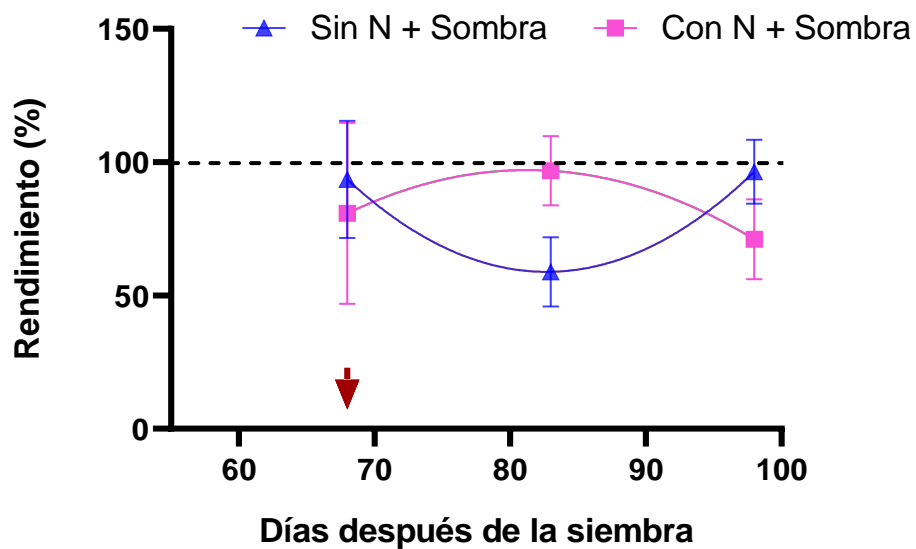


Figura 12: Rendimiento (%). Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.

6.8.5 Índice de cosecha

Un aumento del índice de cosecha ocurrió cuando se sombreó en llenado de grano (27,45 %) respecto del control, mientras que, cuando se sombreo en el inicio de llenado de grano, pero sin adición de nitrógeno, presentó un menor Índice de cosecha (26,47 %) (Figura 13).

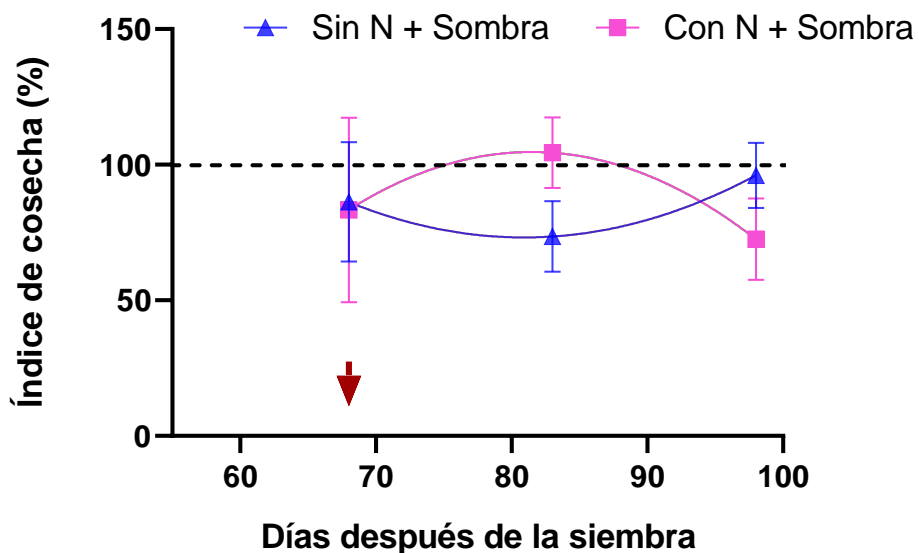


Figura 13: Índice de cosecha (%). Cada punto representa el promedio de las repeticiones respecto al control, flecha roja: antesis y las barras representan el error estándar.

7. Discusión

El presente estudio se realizó con la finalidad de conocer el efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación solar, sobre el crecimiento y rendimiento de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), la identificación de esto es importante para poder realizar el manejo adecuado de la fertilización, con el propósito de hacer eficiente el proceso productivo de este importante cultivo andino.

Las plantas de quinua cumplieron su ciclo fenológico a los 148 días, de acuerdo a la escala BBCH existen 9 estadios principales en el cultivo de quinua que comprende desde el estadio 0 que corresponde a la germinación hasta el estadio 9 que es la senescencia, cada etapa se subdivide en etapas secundarias que describe detalladamente el desarrollo que debe cumplir la quinua (Sosa *et al.*, 2017).

El inicio de la etapa reproductiva se produjo a los 54 DDS, mientras que a la etapa de madurez fisiológica llegó a los 136 DDS y finalmente la etapa de senescencia a los 148 DDS; el inicio de la etapa reproductiva cambia en algunos días referente a los datos reportados por (Peralta *et al.*, 2014) quienes mencionan que la etapa reproductiva está dentro de los 40 a 50 DDS y que el ciclo está desde los 130 a 150 DDS; en el estudio se cumplió la finalización del ciclo a los 148 DDS, estas pequeñas diferencias es la duración del ciclo del cultivo el cual puede estar relacionado con las diferencias de temperatura y radiación que experimentan los cultivos en distintos lugares.

En el cultivo de quinua como señalan (Bertero y Ruiz, 2008) aplicando un análisis directo, basados en la asociación entre la altura y el número de granos, estos dos autores muestran que la fase de antesis hasta su finalización es la más crítica. En cambio, Mignone y Bertero (2007) muestra que el periodo crítico mediante la manipulación de la radiación directa con sombreado la etapa más crítica es durante el inicio del llenado de grano, lo que concuerda con los resultados de este experimento sobre el momento de estrés hídrico, pues el momento más crítico se dio a los 110 DDS (BBCH70) en inicio de llenado de grano, donde el rendimiento se redujo en los dos tratamiento, en el tratamiento sin nitrógeno más sombreado al 64 % y con nitrógeno más sombreado al 88% con respecto al control. De igual manera, un trabajo previo en Loja muestra que la etapa crítica esta iniciaría en antesis hasta el llenado de grano (Villavicencio y Vásquez 2021; 2022). La diferencia encontrada con los trabajos previos podría deberse a la diferente sensibilidad que tiene los genotipos, en nuestro caso usamos variedades del grupo genético adaptado

avalles interandinos, mientras que los trabajos de Mignone y Bertero (2007) y Bertero y Ruiz (2008) usaron genotipos del nivel del mar.

Muchas evidencias señalan que el periodo crítico puede ser diferente entre genotipos y entre distintas especies en función de su estrategia para generar el rendimiento de grano en términos de sus componentes numéricos (Estrada, *et.al*, 2008). Por otro lado, Egli y Bruening (2005) al usar tratamientos continuos de sombreo (80% a partir de la floración hasta la madurez) en el cultivo de soya encontraron diferencias estadísticamente significativas en el número de vainas.

La altura de la planta no se vio afectada por el sombreo a pesar que este proceso no le facilitaba la disponibilidad de los foto-asimilados, restringiendo la cantidad de ellos para mantener el crecimiento de la planta (Bertero, 2001) debido a que no presentó diferencias significativas se puede decir que se debió a que las diferencias existentes en la altura entre los tratamientos de sin y con nitrógeno más sombreo al culminar el tiempo de su crecimiento se sellará como diferencias significativas en las alturas que presentaron los dichos tratamientos. Además, Caballero, *et.al*, (2015) señala que el nitrógeno en el cultivo de la quinua es esencial y que la falta o ausencia de este elemento influye en la reducción de la altura de la planta.

El rendimiento está conformado por varios componentes, entre ellos la biomasa de las plantas, peso de 1000 granos y número de granos. En el presente estudio no se vieron influenciados estadísticamente por los tratamientos de sombra y nitrógeno. Sin embargo, una caída de la biomasa cuando el sombreo se hizo al inicio de llenado de grano independientemente de la oferta de nitrógeno. Esto sugiere que la disminución de la radiación es más crítica en esta etapa, y la aplicación de N, no fue capaz de amortiguar la caída de la biomasa por efecto de la sombra.

El rendimiento de la quinua en estudios anteriores muestra un registro en otras provincias como Pichincha, Carchi, Cotopaxi, Imbabura y Cañar varían entre 2.77 t/ha 0.25 t/ha mostrando un promedio nacional de 1,76 t/ha (Inca *et.,al* 2018) el rendimiento de nuestro estudio fue mayores en todos los tratamientos, el tratamiento con nitrógeno sin sombreo llegó a las 4.19 t/ha (Tabla 5) en comparación con las provincias vecinas , lo que mostró que un manejo y una fertilización nitrogenada apropiada, la zona Sur del Ecuador presenta las condiciones apropiadas para la producción de la quinua y esta puede generar

altos rendimientos, el estrés de la sombra no se ve afectado por el déficit del agua o de las temperaturas.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación demostraron que el rendimiento de la quinua fue particularmente sensible a la reducción de la radiación; los periodos de sombreo que fueron cada 15 días nos permitieron identificar el periodo crítico que fue permanente en los tratamientos donde varió de 2.09 t/ha a 3.77t/ha y 2.67 t/ha a 4.19 t/ha para el tratamiento de sin nitrógeno más sombra y con nitrógeno más sombra, reduciendo el rendimiento en relación al control. Según Riviero (1985) citado por (Borda, 2011) señala que, en diferentes ensayos de fertilización de quinua, con humedad apropiada, se ha calculado que por cada kilogramo aplicado de nitrógeno por hectárea hasta un nivel de 120 kg/ha, el rendimiento de la quinua se elevará un 16 kg/ha y a su vez el número de granos también será beneficiarios.

Además, Aroni (1991), Bartolome 81993), Nina (1992) y Tuleda (1999) citados por Condori (2008) indican que la adición de nitrógeno al suelo tiene efecto benéfico en el rendimiento, ya que tiende a incrementarlo, pero no de forma ilimitada, porque a partir de los 120 kg de N/ ha decrece el rendimiento por factores fisiológicos que resultan en decremento del rendimiento, siendo esta cantidad recomendada como máximo aplicable.

La aplicación de nitrógeno en nuestro trabajo de investigación fue de 150 kg/ha donde se obtuvo un índice de cosecha de 0.38 en el tratamiento con nitrógeno más sombra concuerda con el estudio de Calvache, (2021) con la dosis de aplicación pero no con los estadios de aplicación donde el sugiere que sean tres estadios diferentes al momento de la siembra , a la deshierba a los 30 días y al aporque a los 50 días de edad del cultivo donde presentó un índice de cosecha 0.63 superando a los de nuestro ensayo.

El efecto de sombreo en el número de granos fue afectado ya que este es un componente importante para el rendimiento entre los diferentes ambientes y cultivos (Lachlan, *et al*, 2021 y Guglielmini, *et al*, 2019) de manera similar en el estudio, el rendimiento del grano estuvo estrechamente correlacionado con el número de granos m² mientras que el peso del grano no se vio afectado por los tratamientos de sombreo de esta manera similar a lo que ocurre con otros cultivos por ejemplo en el chocho, la arveja (Sandaña y Calderini, 2012) en respuesta al sombreo, la causa de la disminución del rendimiento es el número de granos y no el peso de los granos.

El peso del granos se incrementó cuando se sombreo al inicio de llenado de grano sin nitrógeno por ende al existir menos granos tiene la posibilidad de recibir mas los fotoasimilados y asi provocan el aumento de peso (Guarda *et,al*, 2004) en el cultivo de trigo dicho incremento puede ser considerablemente por la suplementacion adecuada de agua y condiciones ambientales; ademas, manifiesta (Kirda *et,al*, 2001), quienes encontraron una respuesta negativa del peso del grano al aplicar dosis de nitrogeno por encima de los 140-200 kg/ha.

Cabe recalcar que el efecto del sombreo y nitrógeno en el rendimiento y sus componentes presenta un decaimiento en la etapa de llenado de grano con respecto al control debido a la presencia de abundante lluvia y aves (Carpio, Clavitea, y Delgado, 2016) que habitan a los alrededores del lugar del estudio.

El número de granos fue el componente que mostró mayores cambios en respuesta a tratamientos de sombra y nitrógeno, el sombreo en los tres momentos evaluados disminuyó el número de granos comparado con el control en los tratamientos sin nitrógeno, siendo más pronunciada el periodo de granos cuando el sombreo se aplicó al inicio de llenado de grano disminuyó cerca del 40%. Cuando se aplicó nitrógeno este componente logró superar esta caída, esto resalta la importancia de la nutrición nitrogenada en el cultivo de quinua, que pese a estar sometido a un estrés (disminución de radiación), logró mantener el número de granos gracias al aporte de nitrógeno. Debido a que el número de granos es el componente que más explica el rendimiento en quinua (Villavicencio y Vásquez, 2021), se observó esa misma tendencia en el rendimiento de grano en donde la adición de nitrógeno compensó la caída del rendimiento cuando hay estrés por falta de radiación solar en el inicio de llenado de grano.

8. Conclusiones

El trabajo agronómico de la quinua bajo condiciones experimentales sin estrés de sombra y con la aplicación de 150 kg/ha de N alcanzó las 4,19 t/ha en la variedad Tunkahuan superando el promedio de rendimiento nacional, indicando que la producción de la quinua es una alternativa para diversificar la producción de granos en Loja.

El componente del rendimiento más sensible frente a la disminución de radiación solar y nitrógeno fue el número de granos, el cual, fue afectado mayoritariamente cuando el estrés por la sombra coincidió con la etapa de inicio de llenado de grano, donde este componente se redujo 24,73%.

La sensibilidad del rendimiento de grano a la disminución de radiación y el nitrógeno fue distinta durante el ciclo fenológico de la quinua, donde el estado de inicio de llenado de grano fue el más sensible, disminuyendo el rendimiento en un 27 %, lo cual fue explicado por la disminución de la biomasa, y la partición de la misma debido que disminuyó el índice de cosecha.

9. Recomendaciones

Establecer el cultivo en una fecha favorable, debido a que en este experimento la madurez fisiológica coincidió con la temporada lluviosa donde hubo problemas para la cosecha, debido a que los frutos son susceptibles a la dehiscencia en campo.

Incrementar los tratamientos de sombreado para mejorar el estudio del momento más sensible debido a que este estudio solamente cubrió tres momentos del ciclo fenológico.

Evaluar distintas variedades de quinua para determinar el grado de sensibilidad controlada por el genotipo.

10. Bibliografía

- Aroni, & J. (1991). *Fertilización química en el cultivo de quinua en condiciones del antiplano sur, Comunidad Chacala-Quijarro*. Bolivia.
- Betràn, J. (2006). Revisión de la fertilización nitrógeno. En *Informaciones Técnicas "Fertilización Nitrogenada"* (págs. 36-38). Perú.
- Better, J. (2015). Fases fenológicas de la quinua y sus requerimientos nutricionales. *Sqm Speacialty Plant Nutrition Naturally Better*.
- Bertero, D. H. (1 de abril de 2001). Effects of Photoperiod, Temperature and Radiation on the Rate of Leaf Appearance in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Field Conditions. *Annals of Botany* , 87 (4),495-502. Obtenido de <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1362>
- Bertero, H., & Ruiz, R. (186–194 de 2008). *Determination of seed number in sea level quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Obtenido de Cultivars. *European Journal of Agronomy*, 28(3),: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.07.002>
- Berti, M., Wilckens, R., Hevia, F., Serri, Vidal, I., & Mendez, C. (2008). Nitrogen Fertilization in Quinoa. *Ciencia e Investigación Agraria*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/71898937/856-libre.pdf?1633718171=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DFertilizacion_Nitrogenada_en_Quinoa_Ch en.pdf&Expires=1658525118&Signature=EscT2FVbxRCIamQzjR8iKXkSxSTl ANiXmbeYCohv143NErzzmFo-6RvHq4
- Bojanic, A. (2011). La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Obtenido de FAO.
- Caballero, A., Maceda, W., Miranda, R., & bosque, H. (2015). Yield and protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa*),in five phenological stages, under four levels of incorporation of nitrogen . *Revista de investigacion e Innovacion Agropecuaria y de Recursos Naturales*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182015000100009

- Calvache, A. (2021). *Índice de cosecha con macronutrientes en grano de quinua (Chenopodium quinoa Willd)*. Obtenido de Alfa Revista de investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias: <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/96>
- Carpio, A., Clavitea, J., & Delgado, P. (2016). *Incidencia de aves granívoras y su importancia como plagas en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en el altiplano Peruano*. Obtenido de Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. : http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612016000300001
- Calla, J. (2015). Manual técnico "Manejo del cultivo de quinua". *Agro banco, Financiamiento, Asistencia Técnica y Capacitación*, 8-10.
- Egli, D., & Bruening, W. (2005). *Shade and temporal distribution of pod production and pod set in soybean*. Obtenido de <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0557>
- Estrada, C., Mirralles, J., & Slafer, G. (2008). *Yield determination in triticale as affected by radiation in different development phases*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.003>
- Estrada, G. (2010). Determinación del rendimiento en triticale afectado en diferentes fases de desarrollo. *Elsevier*.
- Fageria, N. (2014). *Nitrogen Management in Crop Production*. Obtenido de CRC Press: <https://www.routledge.com/Nitrogen-Management-in-Crop-Production/Fageria/p/book/9781138034167>
- FAO. (Julio de 2011). *Oficina Regional para América Latina y el Caribe*. Obtenido de FAO. (2011). La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. In Oficina Regional para América Latina y el Caribe, FAO (Vol. 37).
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. (pág. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima: 7-10 p.

- Gómez, M. B. (2019). Impacto de condiciones ambientales y manipulaciones en la relación fuente -destino sobre el llenado de granos en genotipos de quinoa (*Chenopodium Quinoa Will*) adaptados a climas templados. *Fauna Digital Repositorio Institucional Científico y Académico de la Facultad de Agronomía-UBA*, 45-49.
- González, J., & Prado, F. (2013). Quinoa su valor nutricional. *Ciencia y tecnología de los cultivos industriales*, 103.
- Guarda, G., Delogu, G., & Padovan, S. (2004). *Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels*. Obtenido de *European Journal of Agronomy*: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.001>
- Guglielmini, A., Forcat, J., & Miralles, D. (2019). The critical period for yield determination in common buckwheat. *European Journal of Agronomy* ,110, 125933. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125933>
- Herreros, Q., & Leon, A. (2018). *Fertilización nitrogenada y fosfórica en quinoa (chenopodium quinoa willd.) CV. 'Salcedo INIA' bajo riego a goteo en zona árida*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6276>
- Inca, A., Barba, T., Bastidas, K., & Heredia, M. (2018). *Boletín situacional Cultivo de Quinoa* . Quito, Ecuador. Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/granos/quinoa>
- Inta. (2014). *Fruticultura*. Obtenido de La radiación solar y las plantas un delicado equilibrio: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_fyd_74_la-radiacion-solar-y-las-plantas.pdf
- Intagri. (2009). *Importancia de la Radiación Solar en la Producción Bajo Invernadero*. Obtenido de Categorías de Artículos: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/importancia-de-la-radiacion-solar-en-la-produccion-bajo-invernadero>
- Kirda, C., Derici, M., & Schepers, J. (2001). *Yield response and N-fertiliser recovery of rainfed wheat growing in the Mediterranean region* . Obtenido de Faculty of Agriculture:

<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1076&context=agronomyfacpub>

- Lachlan, L., Calderini, D., Kuchartt, D., & Sadras, V. (2021). Critical developmental period for grain yield and grain protein concentration in lentil. *Field crops Research*, 270, 108203. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108203>
- Leòn, R. (2014). *RESPUESTA DEL CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd)*. Lima-Perú 106 p: Línea mutante La Molina a tres regímenes de riego en condiciones de la Molina.
- Luzón, S. (2016). Respuesta de la quinua variedad tunkahuan a la fertilización nitrogenada, en las condiciones edafoclimáticas de la Argelia. Loja.
- MAGAP. (2017). *Exportacion y produccion de Quinoa en el Ecuador*. Obtenido de [https://www.agricultura.gob.ec/2017-ano-clave-para-ecuador-en-exportacion-de-quinua/#:~:text=En%20el%20a%C3%B1o%202017%2C%20Ecuador,\(MAGAP\)%2C%20Jamil%20Ram%C3%B3n](https://www.agricultura.gob.ec/2017-ano-clave-para-ecuador-en-exportacion-de-quinua/#:~:text=En%20el%20a%C3%B1o%202017%2C%20Ecuador,(MAGAP)%2C%20Jamil%20Ram%C3%B3n).
- Mignone, C., & Bertero, D. (2007). Identificación del período crítico de determinación del rendimiento en quínoas de nivel del mar. In Proceedings of the Congreso Internacional de la Quinoa. Obtenido de In Proceedings of the Congreso Internacional de la Quinoa: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Identificación del periodo
- Nieto, E., Olivas, D., Dominguez, C., & Cochange, j. (2016). *Nitrogen fertilization on yield of two varieties of quinoa*. Obtenido de <https://doi.org/10.51431/infinitem.v6i1.3>
- Nina, A. (1992). *Efecto de la fertilización orgánica y química en el cultivo de quinua*. Bolivia .
- Ortiz Ureta, A. (2015). *Evaluación de la Composición Nutricional de la Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) Procedente de los*. Argentina.
- Peralta, E. (2010). *INIAP Tunkahuan variedad mejorada. Estación Experimental Santa Catalina. Plegable Divulgativo N0 345. INIAP*. Obtenido de coin.fao.org/coinstatic/cms/media/16/13709687510440/6.quinoa_inia

- Ramos, I. (2018). *Chenopodium quinoa* Willd. Perú.
- Rojas, W. (2010). Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia, en el marco del proyecto *IFAD-NUS I y II para Bolivia. 2001-2010*. La Paz, Bolivia.: Fundación PROINPA.
- Sandaña, P., & Calderini, D. (2012). Comparative assessment of the critical period for grain yield determination of narrow-leafed lupin and pea. *European Journal of Agronomy*, 40,94–101. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.02.009>
- Sandaña, P., & Calderini, D. (2014). *Applications for Genetic Improvement and Agronomy (2nd ed., Vol1)* . Crop Physiology: Academic Press-Elsevier. Obtenido de <https://www.elsevier.com/books/crop-physiology/sadras/978-0-12-417104-6>
- Soprocál. (2015). Guía de uso de Cal Agrícola. Cuarta edición. Obtenido de https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5cdc5dda3aa85.pdf
- Teomerio, E. (2016). *El boom de la quinua a nivel Nacional* . Obtenido de Universidad de Navarra : [https://www.unav.edu/web/global-affairs/detalle/-/blogs/el-boom-de-la-quinua#:~:text=El%20ranking%20de%20pa%C3%ADses%20productores,hect%C3%A1reas\)%20%5BTabla%201%5D](https://www.unav.edu/web/global-affairs/detalle/-/blogs/el-boom-de-la-quinua#:~:text=El%20ranking%20de%20pa%C3%ADses%20productores,hect%C3%A1reas)%20%5BTabla%201%5D).
- Tudela, E. (1999). *Fertilización nitrogenada en quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo riego-secano y distancia entre surcos*. Bolivia.
- Villavicencio E.I. y Vásquez S.C. 2021. Periodo crítico para el rendimiento y la calidad del grano de quinua (*Chenopodium quinoa willd.*) mediante la aplicación de sombra en distintos estados fenológicos, en el sector la Argelia, Loja. Tesis de grado previa a la obtención de título de ingeniero agrónomo. Carrera de Agronomía. Universidad nacional de Loja. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24449>
- Villavicencio E.I. y Vásquez S.C. 2022. Efecto de la disminución de la radiación solar en distintas etapas de desarrollo sobre el rendimiento de grano en el cultivo de quinua. VIII Congreso Internacional de Investigación REDU <http://doi.org/10.5867/Medwave.2022.S1.CI40>. Disponible en:

<https://www.medwave.cl/resumenescongreso/ci2022/cienciasdelosrecursosnaturales/8567.html?lang=es#>

11. Anexos

Anexo 1: Cálculos de fertilización

11.1.1 Requerimiento del cultivo

N	P	K
120	80	64

11.1.2 Nitrógeno (N).

- **Cálculo de requerimiento del cultivo:**

Materia Orgánica: 1.77%

$$\frac{100 \text{ kg}}{\text{suelo}} \leftrightarrow \frac{1.77 \text{ kg}}{\text{MO}}$$

dp= 1.3

p=0.2 mm

$$\text{PCA} = 10000 \text{ m}^2 \times 0.2 \times 1.30 = 2600 \text{ t}$$

$$\begin{array}{l} \bullet \quad 1\text{t} \quad \quad 1000\text{kg} \\ \quad 2600\text{t} \quad \quad x \end{array}$$

$$x = 2600000 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{l} \bullet \quad 100 \text{ kg/suelo} \quad \quad 1.77 \text{ kg MO} \\ \quad 2600000 \text{ kg} \quad \quad x \end{array}$$

$$x = 46.020 \text{ kg de MO}$$

$$\text{N.T (Total) } 5 \% = 46.020 \times 0.05 = 2301 \text{ kg de MO}$$

$$\text{ND (Disponible) } 2 \% = 2301 \text{ kg} \times 0.02 = 46.02 \text{ kg de N}$$

- **Cálculo del nitrógeno por hectárea**

Fertilizante: Urea 46% de N

$$120 - 46.02 = 73.98 \text{ kg de N}$$

$$100 \text{ kg/ ha} \quad 46 \text{ N}$$

$$x \quad 73.98 \text{ kg/ N}$$

$$x = 160 \text{ kg/ha de N}$$

- **Cálculo de N para el ensayo (96 m²):**

$$160 \text{ kg/ha} \quad 10000 \text{ m}^2$$

$$x \quad 96 \text{ m}^2$$

$$x = 1.53 \text{ kg de Urea}$$

- **Cálculo de N para 12 parcelas (48 m²):**

150 hay que aplicar al proyecto

$$150 + 1.53 = 151.53 \text{ kg/ha x aplicar}$$

$$151.53$$

- 100 kg 46 kg N
x 151.53 kg/ha

$$x = 329.41 \text{ kg /ha de N}$$

- 10000 m² 329.41 kg/ha
48 m² x

$$x = 1.58 \text{ kg de N}$$

TRANSFORMAR EN GRAMOS:

$$1.58 \text{ kg x } 1000 = 1.580 \text{ gr/N}$$

$$1.580 \text{ gr/N} \div 12 \text{ parcelas} = 131.6 \text{ gr}$$

$$131.6 \text{ gr} \div 2 \text{ aplicaciones} = 65.8 \text{ gr de N}$$

$$\text{gr/N} \div 5 \text{ hileras} = 13 \text{ gr N/ hileras}$$

11.1.3 Fósforo (P)

No se requiere dosis de corrección

Requerimiento de P para el ensayo (96 m²):

$$80 \text{ kg/ha} \quad 10000 \text{ m}^2$$

$$x \quad 96 \text{ m}^2$$

$$x = 0.76 \text{ kg de P}_2\text{O}$$

11.1.4 Potasio (K).

CIC→11.54

$$11.54 \quad 100 \%$$

$$0.10 \quad x$$

$$x = 0.86 \% \text{ de déficit}$$

$$K = 2\% - 0.86 = 1.14 \text{ de déficit}$$

Déficit de K:

$$\% \text{ deficit de K } \left(\frac{mg}{kg} \right) = CIC \times \left(\% \frac{\text{deficit}}{100} \right) \times 390 \text{ mg de kmol}$$

$$= 11.54 \times \left(\frac{1.14}{100} \right) \times 390$$

$$= 51.3 \text{ mg/kg}$$

Dosis de K₂O (kg/ha)

$$= \frac{mg}{kg} \times prof. (m) \times Da \left(\frac{g}{cm^3} \right) \times \frac{10}{0.32}$$

$$= \left(\frac{20mg}{kg} \right) \times 0.2 \times 1.1 \times \frac{10}{0.32}$$

$$= 137.5 \text{ kg/ha.}$$

- **Cálculo de K para el ensayo (96 m²):**

Fertilizante: muriato de potasio 60 %

Dosis de corrección: 137.5 kg/ha

$$64 + 137.5 = 201.5 \text{ kg/ha}$$

- $\frac{60kg}{100} \quad \frac{201.5 \text{ kg/ha}}{x}$

$$x = 33.5 \text{ Kg /ha}$$

- $\frac{10000 \text{ m}^2}{96 \text{ m}^2} \quad \frac{33.5 \text{ kg/ha}}{x}$

$$x = 3.21 \text{ Kg /ha}$$

TRANSFORMAR EN GRAMOS:

$$3.21 \text{ kg} \times 1000 = 3.210\text{gr/K}$$

$$3.210/\text{K} \div 12 \text{ parcelas} = 0.28\text{gr por parcela}$$

11.2 Cálculo de cal agrícola en el encalado de corrección

a) Cálculo de la dosis de cal (pH a alcanzar y el pH actual).

pH que se desea alcanzar.....7

pH del suelo (actual).....5,96

Diferencia de Ph..... .1,04

b) Dosis de Cal Agrícola

$$1,04 \times 8\ 300: 8\ 632 \text{ kg/ha}:0,9\text{kg/m}^2$$

Tabla 6: Resumen de las dosis de fertilizante

Elemento	Dosis para el ensayo (96m ²)	Dosis para el ensayo (48 m ²)	Dosis para 12 parcelas
N		1.58 kg	gr

Anexo 2: Análisis del suelo

	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE LEN 09.003

Informe N°: LN-SFA-E21-1514
 Fecha emisión informe: 21/10/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Gabriela Jiménez Jiménez y Gabriela Pineda Suquilanda
Dirección¹: México y Brasil
Provincia¹: Loja **Cantón¹:** Loja
Teléfono¹: 0959759125
Correo Electrónico¹: gabymjj20@gmail.com
N° Orden de Trabajo: 11-2021-303
N° Factura/Documento: 012-001-1055

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo¹: Quinua		
Provincia¹: Loja	Coordenadas¹:	X: ----
Cantón¹: Loja		Y: ----
Parroquia¹: San Sebastián		Altitud: ----
Muestreado por¹: ----		
Fecha de muestreo¹: 01-10-2021	Fecha de inicio de análisis: 07-10-2021	
Fecha de recepción de la muestra: 07-10-2021	Fecha de finalización de análisis: 21-10-2021	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-1585	Quinua 1	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	5,96
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	1,77
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,09
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	16,3
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,10
		Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	3,81
		Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,28
		Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	205,1
		Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	13,17
		Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	2,68
		Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	< 1,60
		ClC*	Cálculo PEE/SFA/14	cmol/kg	11,54

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 5 Hoja 2 de 2

Observaciones:

- (**) Bases de cambio.
- Informe revisado por: Pablo Atapuma
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
- Las interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA										
PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BAJO	< 1,0	< 0,15	< 10,0	< 0,20	< 1,0	< 0,33	< 20,0	< 5,0	< 1,0	< 3,0
MEDIO	1,0 - 2,0	0,15 - 0,30	10,0 - 20,0	0,20 - 0,38	1,0 - 3,0	0,33 - 0,66	20,0 - 40,0	5,0 - 15,0	1,0 - 4,0	3,0 - 7,0
ALTO	> 2,0	> 0,30	> 20,0	> 0,38	> 3,0	> 0,66	> 40,0	> 15,0	> 4,0	> 7,0

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA Y COSTA					
	ÁCIDO	LIGERAMENTE ÁCIDO	PRÁCTICAMENTE NEUTRO	LIGERAMENTE ALCALINO	ALCALINO
pH	≤ 5,5	> 5,5 – 6,5	> 6,5 – 7,5	> 7,5 – 8,0	> 8,0

FUENTE: INIAP. 2002



Verificado digitalmente por
**PABLO XAVIER
 ATAPUMA ACUNA**

Ing. Pablo Atapuma
Responsable de Laboratorio (E)
Suelos, Foliares y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 3: Escala de la fenología BBCH

Tabla 7: Estadios de crecimiento fenológico de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) basada en la escala BBCH descrita por (Sosa *et al.*, 2017)

ESTADIO PRINCIPAL	ESTADO	Código
ESTADIO 0 Germinación	siembra	0
	emergencia de la radícula	5
	emergencia del hipocótilo	7
	hipocótilo con cotiledones que crecen hacia la superficie del suelo	8
	emergencia de los cotiledones a través del suelo	9
ESTADIO 1 Desarrollo de hojas	cotiledones emergieron completamente	10
	primer par de hojas verdaderas	11
	segundo par de hojas verdaderas	12
	tercer par de hojas verdaderas	13
	cuarto par de hojas verdaderas	14
	se continua	1..
	noveno par de hojas verdaderas	19
ESTADIO 2 Formación de brotes laterales	brotes laterales visibles	20
	un brote lateral visible	21
	dos brotes laterales visibles	22
	se continua	2..
	nueve brotes laterales visibles	29
ESTADIO 5 Emergencia de Inflorescencia	inflorescencia presente pero todavía encerrada por las hojas	50
	las hojas que rodean la inflorescencia están separadas, la inflorescencia es visible desde arriba	51
	la inflorescencia es visible, pero todas las flores siguen cerradas	59
ESTADIO 6 Floración	comienzo de la antesis: flores de la inflorescencia principal con las primeras anteras extruidas	60
	fin de la antesis: la inflorescencia principal florece con las primeras anteras senescentes	67
	antítesis completa: flores de la inflorescencia principal con anteras senescentes	69
ESTADIO 7 Desarrollo del Fruto	cuajada: engrosamiento del ovario y primeros granos visibles en el tallo principal	70
ESTADIO 8 Maduración	grano lechoso, fácilmente aplastado con las uñas, contenido líquido y pericarpio verde	81
	grano grueso, fácilmente aplastado con las uñas, contenido pastoso blanco, pericarpio verde, beige, rojo o negro	85
	grano maduro, difícil de aplastar con las uñas, contenido seco, el grano tiene un color beige, rojo o negro en su exterior. Listo para cosecha	89
ESTADIO 9 Senescencia	sólo las hojas basales están secas	91
	las hojas de la primera mitad de la planta, empezando por la base, están muertas	93
	todas las hojas están muertas; el color del tallo y panoja pasa de amarillo a marrón	95
	planta muerta y seca	97
	producto cosechado	99

Anexo 4: Fotografías



Figura 14: Preparación del terreno



Figura 15: Trazado de parcelas y surcos



Figura 16: Siembra de quinua



Figura 17: Colocación del compost



Figura 18: Fertilización



Figura 19: Cultivo de quinua



Figura 20: Raleo de la quinua



Figura 21: Colocación de los parantes para la sombra



Figura 22: Tejido de la malla



Figura 23: Parcelas con la sombra



Figura 24: Control fitosanitario *Diabrotica*



Figura 25: Control de arvenses



Figura 26: Plantas en madurez



Figura 27: Cosecha



Figura 28: Muestra cosechada



Figura 29: Muestras en laboratorio



Figura 30: Trillado de las plantas



Figura 31: Tamizaje para la obtención de grano



Figura 32: Granos de quinua



Figura 33: Secado de muestras



Figura 34: Selección y conteo de granos



Figura 35: Muestra de 100 granos



Figura 36: Pesado de 100 granos



Figura 37: Toma de muestra parte vegetativa



Figura 38: Pesado de muestras



Figura 39: Altura etapa llenado inicio de grano



Figura 40: Altura etapa Vegetativa



Figura 41: Sensor de la Temperatura

Anexo 5: Tabla de resultados

Tabla 8: Medias de las variables respuestas de sombra-nitrógeno de la variedad Tunkahuan de quinua.

Sombreo	Nitrógeno (Kg/ha)	Biomasa 32 días estadio vegetativo gr/m ²	Biomasa 64 días estadio antesis gr/m ²	Biomasa 110 estadio llenado gr/m ²	Biomasa 147 días estadio cosecha gr/m ²	Peso de 1000 granos	Número de granos (planta)	Número de granos m ²	Rendimiento T/ha	IC
Sin sombra	0	36,67 a	69,00 a	654,33 a	997,07 a	309,20 a	6214,09 a	124281,76 a	2,09 a	0,27 a
Inicio de antesis	0	42,67 a	69,00 a	816,33 a	973,07 a	266,67 a	5344,89 a	106897,83 a	2,27 a	0,28 a
Inicio de llenado de grano	0	44,25 a	58,00 a	925,00 a	1462,00 a	387,40 a	8133,85 a	162676,90 a	3,77 a	0,30 a
Llenado de grano	0	64,33 a	77,67 a	894,00 a	1183,47 a	348,27 a	6472,31 a	129446,13 a	3,22 a	0,26 a
Sin sombra	150	54,33 a	71,00 a	1054,33 a	1369,60 a	364,40 a	6681,56 a	14631,30 a	3,54 a	0,33 a
Inicio de antesis	150	43,33 a	74,00 a	903,67 a	1028,40 a	297,47 a	6049,10 a	120982,04 a	2,67 a	0,31 a
Inicio de llenado de grano	150	104,50 b	74,00 a	769,00 a	1304,80 a	419,20 a	8364,24 a	167284,75 a	4,19 a	0,38 a
Llenado de grano	150	55,67 a	49,00 a	1022,33 a	1045,20 a	381,60	7116,04 a	142320,78 a	3,58 a	0,35 a
CV		26,22	26,91	27,04	29,80	37,54	35,88	35,88	37,45	17,61
S*N		***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
p		0,004	0,2053	0,3147	0,5544	0,9113	0,9735	0,9735	0,8974	0,3559

Los valores son medias de tres repeticiones ns= efecto no significativo p>0.05; * efecto significativo p<0.05** efecto muy significativo p<0.01; ***

efecto altamente significativo p<0.001; CV=Coeficiente de V

Anexo 6: Certificación de traducción del Abstract

Loja, 8 de diciembre del 2022

Yo, Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval, con cédula de identidad 1104226913, como traductora certificada por el Ministerio de trabajo del Ecuador con licencia número MDT-3104-CCL-252643, certifico que la traducción del resumen del trabajo de titulación titulado "Efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación solar, sobre el crecimiento y rendimiento de la Quinoa en la Argelia, Loja". es precisa en mis capacidades como traductora certificada.

El trabajo en mención es de autoría de la señorita **Gabriela del Cisne Pineda Suquilanda**, con cédula de identidad **1106055328**, estudiante de la carrera de Ingeniería Agrónoma de la Universidad Nacional de Loja.

I, Xilena Aldeán Sandoval, certify that I am fluent in the English and Spanish language and that the abstract of the thesis belonging to **Gabriela del Cisne Pineda Suquilanda** is an accurate translation of its original Spanish version.



Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval, Mg.
Traductora/Translator

Traductor/Translator: Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval
Número de licencia/Acreditation number: MDT-3104-CCL-252643
Correo electrónico/E-mail: xaldeans@gmail.com
Teléfono/Phone number: +593 989491170