



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

### Carrera de Agronomía

## Evaluación de la fertilización nitrogenada y su efecto en el crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Sector la Argelia, Cantón Loja.

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma

#### AUTOR:

Stefany Natali Sigcho González

#### DIRECTOR:

Ing. Santiago Cristóbal Vázquez Matute PhD.

Loja – Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 17 de febrero de 2023

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez M.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular titulado: **“Evaluación de la fertilización nitrogenada y su efecto en el crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Sector la Argelia, Cantón Loja”** de autoría de la estudiante **Stefany Natali Sigcho González**, con **cédula de identidad Nro. 1105604746** previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para los trámites subsiguientes.



Firmado electrónicamente por:  
**SANTIAGO CRISTOBAL  
VASQUEZ MATUTE**

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Stefany Natali Sigcho González**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1105604746

**Fecha:** 15 de febrero de 2024

**Correo electrónico:** stefany.sigcho@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0980140715

**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo, **Stefany Natali Sigcho González**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la fertilización nitrogenada y su efecto en el crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en el Sector la Argelia, Cantón Loja**, como requisito para optar por el título de Ingeniero Agrónomo, autorizo al sistema Bibliotecario 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 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 14 días del mes de febrero de dos mil veinticuatro.

**Firma:**



**Autora:** Stefany Natali Sigcho González

**Cédula:** 1105604746

**Dirección:** Colinas Lojanas

**Correo electrónico:** stefany.sigcho@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0980140715

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:**

Ing. Santiago Cristóbal Vázquez Matute PhD.

## **Dedicatoria**

Dedico este logro a mi madre Alba González por su apoyo y amor incondicional que me ha brindado todos los días de mi vida, especialmente a lo largo de este camino, ya que ha sabido aconsejarme y apoyarme para lograr todos los objetivos que me he propuesto, siendo el principal motor de mi vida.

A mi padre Nelson Sigcho que a pesar de que se encuentra en otro país, con una llamada me brinda todo su amor y cariño, recordándome siempre lo fuerte e imparable que puedo llegar a ser.

A mis hermanas Johanna y Andrea, por siempre motivarme con una sonrisa o un detalle para no rendirme y siempre impulsarme a seguir esforzándome para ser una mejor persona y profesional a futuro.

*Stefany Natali Sigcho González*

## **Agradecimiento**

Mis más sinceros agradecimientos primeramente a Dios por la sabiduría que me otorgó en este arduo proceso y sobre todo por permitirme trabajar con unas excelentes personas, a mi madre, padre y hermanas. A mi director de tesis Ing. Santiago Vásquez, por ser mi guía durante el desarrollo de la investigación, por apoyarme y orientarme con sus conocimientos para culminar con mi tesis y sobre todo forjarme para ser un excelente profesional.

También quiero agradecer a la Universidad Nacional de Loja a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a la Carrera de Agronomía, por brindarme sus instalaciones para la ejecución de la investigación, así también, por los conocimientos impartidos por cada uno de los docentes para mi formación profesional, de igual manera al Ing. Ángel Robles por sus palabras de aliento y sobre todo por brindarme su apoyo y amistad.

Todo este trabajo ha sido fruto de un gran esfuerzo, que he podido culminar gracias a la compañía de mis amigos: Hugo, Samantha, Daniel, Johanna, David, Manuel, María, María Ángel, Kevin, Sahiro, Dalton, Junior y Javier quienes me ayudaron y apoyaron emocionalmente en todas las fases de ejecución del trabajo, especialmente durante la implementación de las parcelas y la cosecha, quienes entre sonrisas, anécdotas reuniones me impulsaron a seguir adelante, convirtiéndose cada uno de los momentos en inolvidables para mí.

Por último, quiero agradecer a mis abuelitos Marina y Nahún, a mi primo Juan Carlos y demás familiares por siempre motivarme a continuar y no rendirme nunca. Gracias infinitas.

*Stefany Natali Sigcho González*

## Índice de contenidos

<b>Portada.....</b>	<b>i</b>
<b>Certificación.....</b>	<b>ii</b>
<b>Autoría.....</b>	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización.....</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos.....</b>	<b>vii</b>
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xiii
<b>1. Título.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Resumen.....</b>	<b>2</b>
2.1. Abstract.....	3
<b>3. Introducción.....</b>	<b>4</b>
3.1. Objetivo general.....	5
3.2. Objetivos específicos.....	5
<b>4. Marco Teórico.....</b>	<b>6</b>
4.1. Generalidades del cultivo de quinua: origen y distribución.....	6
4.2. Producción.....	6
4.3. Clasificación taxonómica y morfológica.....	6
4.3.1. <i>Crecimiento</i> .....	7
4.3.2. <i>Raíz</i> .....	7
4.3.3. <i>Tallo</i> .....	8
4.3.4. <i>Hojas</i> .....	8
4.3.5. <i>Inflorescencia</i> .....	8
4.3.6. <i>Flores</i> .....	9
4.3.7. <i>Fruto</i> .....	9
4.3.8. <i>Semilla</i> .....	9

4.4.	Fenología .....	9
4.4.1.	<i>Etapa de crecimiento principal 0: germinación</i> .....	10
4.4.2.	<i>Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de la hoja</i> .....	10
4.4.3.	<i>Etapa de crecimiento principal 2: formación de brotes laterales</i> .....	10
4.4.4.	<i>Etapa de crecimiento principal 3: alargamiento del tallo</i> .....	10
4.4.5.	<i>Etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables</i> 10	
4.4.6.	<i>Etapa de crecimiento principal 5: aparición de inflorescencias</i> .....	10
4.4.7.	<i>Etapa de crecimiento principal 6: floración</i> .....	11
4.4.8.	<i>Etapa de crecimiento principal 7: desarrollo del fruto</i> .....	11
4.4.9.	<i>Etapa de crecimiento principal 8: maduración</i> .....	11
4.4.10.	<i>Etapa de crecimiento principal 9: senescencia</i> .....	11
4.5.	Requerimientos edafoclimáticos .....	12
4.6.	Generación del rendimiento del cultivo de quinua .....	12
4.6.1.	<i>Componentes del rendimiento</i> .....	13
4.7.	Nutrición y fertilización .....	13
4.8.	Contenido de clorofila foliar .....	14
4.9.	Contenido de nitrógeno foliar .....	14
4.10.	Antecedentes .....	15
<b>5.</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>16</b>
5.1.	Ubicación geográfica del área de estudio .....	16
5.2.	Metodología general .....	16
5.2.1.	<i>Tipo de investigación</i> .....	17
5.2.2.	<i>Diseño experimental</i> .....	17
5.2.3.	<i>Metodología para el primer objetivo específico</i> .....	18
5.2.4.	<i>Metodología para el segundo objetivo específico</i> .....	20
5.2.5.	<i>Análisis estadístico</i> .....	23
<b>6.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>25</b>
6.1.	Contenido de clorofila .....	25
6.2.	Contenido de nitrógeno .....	26
6.3.	Relación entre el contenido de clorofila y el contenido de nitrógeno foliar .....	27
6.4.	Relación entre el índice de nutrición nitrogenada y el contenido de clorofila A ....	28
6.5.	Altura de la planta .....	29



6.6.	Tasa de elongación del tallo .....	30
6.7.	Cobertura vegetal.....	31
6.8.	Índice de área foliar .....	31
6.9.	Biomasa aérea.....	32
6.10.	Rendimiento y componentes del rendimiento .....	33
6.11.	Eficiencia agronómica del nitrógeno .....	34
6.12.	Correlación entre variables .....	35
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>37</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>43</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>43</b>
<b>10.</b>	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>44</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>49</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica de la quinua. ....	7
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos con diferentes dosis de nitrógeno.....	17
<b>Tabla 3.</b> Etapas Fenológicas de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Will.) basadas en la escala BBCH. ....	19
<b>Tabla 4.</b> Relación entre el índice de nutrición nitrogenada y el contenido de clorofila foliar tipo A en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada, en 6 momentos: formación de los primeros brotes laterales (58 dds), elongación del tallo (80 dds), aparición completa de inflorescencias (80), antesis completa (96 dds), llenado del grano (111 dds) y madurez del fruto (149 dds).....	29
<b>Tabla 5.</b> Medias de rendimiento de grano y sus componentes en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada: T1 (0 kg N ha <sup>-1</sup> ), T2 (50 kg N ha <sup>-1</sup> ), T3 (100 kg N ha <sup>-1</sup> ), T4 (200 kg N ha <sup>-1</sup> ) y T5 (300 kg N ha <sup>-1</sup> ). ....	34
<b>Tabla 6.</b> Correlación entre las distintas variables evaluadas en plantas de quinua variedad tunkahuan.....	36

## Índice de figuras

- Figura 1.** Ubicación del experimento en la Estación Experimental “La Argelia” ..... 16
- Figura 2.** Distribución de los tratamientos en campo. Donde, T1-T5 son los tratamientos de N y R1-R3 son las repeticiones de cada tratamiento. .... 18
- Figura 3.** Contenido de clorofila ( $\text{ml g}^{-1}$ ) tipo A (a), B (b) y total (c) en plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente expresan que no hay diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). ..... 26
- Figura 4.** Contenido de nitrógeno (%) en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente expresan que no hay diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ). ..... 27
- Figura 5.** Relación entre el contenido de nitrógeno en biomasa y el contenido de clorofila foliar tipo A (a), B (b) y total (c) en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Los símbolos morados corresponden a los datos de los estadios de formación de los primeros brotes laterales hasta alargamiento del tallo y los verdes a la aparición completa de inflorescencias hasta madurez del fruto. 28
- Figura 6.** Clorofila foliar tipo A en función del INN en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Los símbolos morados corresponden a los datos de los estadios de formación de los primeros brotes laterales hasta alargamiento del tallo y los verdes a la aparición completa de inflorescencias hasta madurez del fruto. 29
- Figura 7.** Dinámica de crecimiento en altura (cm) de plantas de quinua a lo largo de la evaluación, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente expresan que no hay diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ). ..... 30
- Figura 8.** Tasa de elongación del tallo de plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. La línea sobre las barras indica el error estándar de la media considerando tres repeticiones. Letras iguales no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ). ..... 30
- Figura 9.** Porcentaje de cobertura vegetal de plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ). ..... 31

<b>Figura 10.</b> Índice de área foliar (IAF) de plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ). .....	32
<b>Figura 11.</b> Biomasa ( $\text{g m}^{-2}$ ) de plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ). .....	33
<b>Figura 12.</b> Eficiencia Agronómica del nitrógeno (EA) en plantas de quinua,. La línea sobre las barras indica el error estándar de la media considerando tres repeticiones. Letras iguales no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ). .....	35

## Índice de anexos

<i>Anexo 1. Análisis de suelo .....</i>	<i>50</i>
<i>Anexo 2. Preparación del terreno .....</i>	<i>51</i>
<i>Anexo 3. Trazado de parcelas .....</i>	<i>51</i>
<i>Anexo 4. Dosis de N: 0, 50, 100, 200 y 300 kg ha<sup>-1</sup> .....</i>	<i>51</i>
<i>Anexo 5. Siembra y fertilización.....</i>	<i>52</i>
<i>Anexo 6. Hojas verdaderas.....</i>	<i>52</i>
<i>Anexo 7. Labores culturales .....</i>	<i>52</i>
<i>Anexo 8. Medición de altura.....</i>	<i>53</i>
<i>Anexo 9. Riego por aspersión.....</i>	<i>53</i>
<i>Anexo 10. Medición del IAF.....</i>	<i>53</i>
<i>Anexo 11. Determinación de biomasa.....</i>	<i>54</i>
<i>Anexo 12. Determinación del contenido de clorofila.....</i>	<i>54</i>
<i>Anexo 13. Etapa de floración .....</i>	<i>54</i>
<i>Anexo 14. Certificado de traducción del resumen .....</i>	<i>55</i>

## **1. Título**

**Evaluación de la fertilización nitrogenada y su efecto en el crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Sector la Argelia, Cantón Loja.**

## 2. Resumen

La quinua (*Chenopodium quinoa*), ha sido uno de los granos más importantes para los pueblos andinos, debido a su alto valor nutricional ya que cuenta con todos los aminoácidos esenciales, por otro lado, este cultivo ha sido reconocido por su gran adaptabilidad a diferentes agro ecosistemas. A pesar de que nuestro país cuenta con todas las condiciones propicias para su cultivo, los rendimientos alcanzados son bajos con un promedio nacional de 1 t ha<sup>-1</sup>. Los factores que condicionan el incremento del rendimiento del cultivo, no solo son los factores climáticos, sino también los relacionados al manejo agronómico, principalmente, la fertilización nitrogenada, ya que el nitrógeno es el principal constituyente de los aminoácidos y de la clorofila, pigmento que permite a las plantas absorber luz y convertirla en energía necesaria para los procesos fotosintéticos. Conocer el efecto de la fertilización nitrogenada, es necesario para maximizar el rendimiento de grano y mejorar la eficiencia del fertilizante. En el presente estudio se investigó el efecto del nitrógeno sobre el contenido de clorofila, el crecimiento y rendimiento. Se utilizaron cinco niveles de fertilización nitrogenada desde 0, 50, 100, 200 y 300 kg ha<sup>-1</sup>. El contenido de nitrógeno y clorofila foliar incrementó con las dosis de 200 y 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, exhibiendo una relación positiva entre estas dos variables, sugiriendo que el contenido de clorofila podría ser una variable importante para predecir el estado nutricional del N en el cultivo de quinua. El mayor rendimiento, número de granos por planta, número de granos m<sup>-2</sup> e índice de cosecha obtenido fue de: 4,08 t ha<sup>-1</sup>, 22 629,79 granos por planta, 150 865,29 granos m<sup>-2</sup> y 0,5 con 100 kg N ha<sup>-1</sup>. La eficiencia agronómica del nitrógeno se obtuvo con una dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup> para obtener 22,22 kg de grano por cada kg de nitrógeno aplicado.

**Palabras clave:** concentración de nitrógeno, clorofila, proteína, desarrollo, Tunkahuan

## 2.1. Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa*), has been one of the most important grains for the Andean peoples, due to its high nutritional value as it has all the essential amino acids, on the other hand, this crop has been recognized for its great adaptability to different agro ecosystems. In spite of the fact that our country has all the favorable conditions for its cultivation, the yields achieved are low with a national average of 1 t ha<sup>-1</sup>. The factors that condition the increase in crop yield are not only climatic factors, but also those related to agronomic management, mainly nitrogen fertilization, since nitrogen is the main constituent of amino acids and chlorophyll, a pigment that allows plants to absorb light and convert it into energy needed for photosynthetic processes. Knowing the effect of nitrogen fertilization is necessary to maximize grain yield and improve fertilizer efficiency. In the present study, the effect of nitrogen on chlorophyll content, growth and yield was investigated. Five levels of nitrogen fertilization were used, from 0, 50, 100, 200 and 300 kg ha<sup>-1</sup>. Nitrogen and leaf chlorophyll content increased with doses of 200 and 300 kg N ha<sup>-1</sup>, exhibiting a positive relationship between these two variables, suggesting that chlorophyll content could be an important variable for predicting the nutritional status of N in the quinoa crop. The highest yield, number of grains per plant, number of grains m<sup>-2</sup> and harvest index obtained were: 4.08 t ha<sup>-1</sup>, 22 629.79 grains per plant, 150 865.29 grains m<sup>-2</sup> and 0.5 with 100 kg N ha<sup>-1</sup>. The agronomic efficiency of nitrogen was obtained with a dose of 100 kg N ha<sup>-1</sup> to obtain 22.22 kg of grain for each kg of nitrogen applied.

**Key words:** nitrogen concentration, chlorophyll, protein, development, Tunkahuan.



### 3. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Will) se cultiva en la región andina de América del Sur y se ha expandido hacia otros lugares, aun así, Perú y Bolivia siguen siendo los principales productores de quinua (Alandia et al., 2020). Es un cultivo de gran importancia reconocido incluso por la FAO, que declaró el año 2013 como el Año de la quinua por su potencial para garantizar la seguridad alimentaria en el futuro (Biswas et al., 2021).

Entre las variedades más valiosas en Ecuador se encuentra la INIAP-Tunkahuan e INIAP Pata de Venado o también denominada Turaka chaki, siendo conocidas por su gran adaptabilidad y rendimiento, pero a pesar de ello la variedad más empleada por los agricultores fue Eco Tipo Chimborazo (99 %), seguida de INIAP Pata de Venado (1 %), con un rendimiento a nivel nacional de 1,34 t ha<sup>-1</sup>, de las provincias registradas para este cultivo Chimborazo alcanzó un rendimiento de 1,05 t ha<sup>-1</sup> y Cotopaxi 1,82 t ha<sup>-1</sup> (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2022). Sin embargo, no se logra llegar al rendimiento potencial, que generalmente se encuentra alrededor de 8 t ha<sup>-1</sup> (Gómez et al., 2011; Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2013).

La gran adaptabilidad de la quinua a diversos pisos altitudinales le confiere la capacidad de soportar distintos estreses ambientales e incluso desarrollar diversos mecanismos de respuesta ante distintos suelos, ya sea con poca capacidad de retención de agua hasta suelos muy pobres respecto al contenido de nutrientes, características propias de la provincia de Loja. No obstante, la presencia de nitrógeno es imprescindible para el cultivo de quinua, siendo así que un previo diagnóstico con base en sus deficiencias nutricionales optimizaría el manejo del mismo (Basra et al., 2014). Un déficit de este nutriente puede generar bajos rendimientos, pero la aplicación de elevadas cantidades de fertilizantes para obtener un mayor índice de área foliar no siempre indica mayor crecimiento o productividad, ya que las plantas altas podrían tener mayor área foliar, pero un bajo índice de cosecha (García et al., 2017).

García et al. (2017) y Bascuñán et al. (2018) determinan que cuando el número de hojas incrementa existe una mayor capacidad receptiva de clorofila y traslocación de fotosintatos, lo cual es directamente proporcional al aumento del contenido de nitrógeno, componente estructural de las proteínas y determinante de la creación de cloroplasto. A pesar de ello la aplicación de este elemento a lo largo del cultivo, sin conocer la fase de aprovechamiento máximo puede provocar una disminución sustancial del rendimiento y sus componentes, especialmente al llegar a la etapa de madurez fisiológica.

En este sentido, además de conocer los requerimientos en nutrientes, es fundamental determinar cuál es la etapa fenológica y la duración del periodo crítico (gaps) para el rendimiento en quinua, o si existe algún efecto de la fertilización en dicha etapa, fundamentalmente del nitrógeno cuando se aplican estrategias como la manipulación de la relación fuente-destino (Lake y Sadras, 2014; Mahadevan et al., 2016; Kirkegaard et al., 2018; Lake et al., 2019; Angeli et al., 2020; Diez et al., 2021).

Por la escasa o casi nula información sobre la fase fisiológica más vulnerable del cultivo a diversos estreses tanto bióticos como abióticos, conocer la dosis adecuada y el momento pertinente para la fertilización, permitirá una mayor precisión y eficiencia en el sistema y así evitar que esta etapa coincida con la etapa más sensible a la pérdida del rendimiento (periodo crítico). La presente investigación está vinculada con la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja denominada “Sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria” y con la de la Carrera de Agronomía “Tecnologías para la producción y posproducción agrícola sostenible”, además de que forma parte del proyecto institucional denominado “Bases fisiológicas del uso de la radiación solar y el nitrógeno en genotipos de quinua ecuatoriana”.

### **3.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will) en el Sector la Argelia, Cantón Loja.

### **3.2. Objetivos específicos**

- Analizar la relación entre la concentración de clorofila y la concentración de nitrógeno foliar en diferentes etapas fenológicas del cultivo de quinua.
- Determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Generalidades del cultivo de quinua: origen y distribución

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano histórico de la Región Andina de América del Sur y el principal alimento del hombre andino, hoy en día es considerada estratégica para la soberanía alimentaria debido a su alto valor nutritivo (Alfonso et al., 2017). La mayor distribución de esta especie andina tanto en forma, genotipos y progenitores silvestres se encuentran en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia. La quinua en la actualidad presenta distribución mundial: en América (desde Estados Unidos, Canadá hasta Chile), Europa, Asia y África, obteniendo resultados aceptables en cuanto a producción y adaptación (Mujica, 2015).

Entre los posibles parientes más cercanos y con mayor relación originarios de los Andes se encuentran: *Chenopodium berlandieri* var. *nuttalliae*, distribuida en América del Norte, especies de Sur América: *Chenopodium pallidicaule* Aellen (Kañahua), *Chenopodium petiolare* Kunth, *Chenopodium carnosolum* Moq., y *Chenopodium hircinum* Schard o *Chenopodium quinoa* var. *melanospermum* (Martínez et al., 2015).

### 4.2. Producción

Según Minh et al. (2022) por su alto contenido de proteína, así como todos los aminoácidos esenciales, grasas, carbohidratos, minerales, vitaminas, propiedades nutraceuticas y medicinales, la quinua se cultiva en varios países del mundo. Para 2021 los principales países importadores fueron Estados Unidos, Canadá y Francia, con una participación de 30 %, 9 % y 8 % respectivamente, y en cuanto a las exportaciones, estas descendieron un 20 % por parte de países como Perú con 43 %, Bolivia 25 % y Países Bajos con un 5 % (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2021).

En 2021 Ecuador alcanzó un rendimiento de 0,62 t ha<sup>-1</sup>, con una producción de 1,482 t en una superficie de 2,390 ha, siendo Carchi, Chimborazo, Pichincha, Cotopaxi, Imbabura y Azuay las principales provincias productoras que en su conjunto forman unidades productivas agropecuarias de 5,514 hectáreas (MAG, 2021).

### 4.3. Clasificación taxonómica y morfológica

Clasificación taxonómica de la quinua (Tabla 1), según el Sistema Integrado de Clasificación Taxonómica [ITIS] (2011):

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la quinua.

Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	<i>Chenopodium</i>
Especie	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.
Nombres comunes	Quinua, Quinoa, Quínoa

Fuente: ITIS, 2011

Elaboración: Autor

La quinua es una planta herbácea anual, cuyo tamaño puede variar dependiendo del genotipo y la influencia de factores bióticos como abióticos, pero generalmente su tamaño puede encontrarse en el rango de 0,2 m a 3,0 m de altura con colores que van desde verde, morado a rojo y los subtonos de los colores ya mencionados (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011).

#### **4.3.1. Crecimiento**

Se trata de una planta que, según el lugar donde se cultive, esta presenta diferencias en su comportamiento, debido a su gran plasticidad y adaptación a diferentes condiciones agroecológicas. Su período vegetativo puede variar desde los 90 hasta los 240 días aproximadamente (Mujica et al., 2001).

Sosa et al. (2017) opina que la fenología, es decir, los cambios externos visibles que experimenta la planta en el proceso de desarrollo, está afectada por las condiciones ambientales, presentando fases fenológicas muy marcadas y diferenciadas. Sin embargo, las modificaciones evidenciadas durante el ciclo del cultivo como: el pronto desarrollo radicular, madurez prematura, acortamiento del periodo de floración como respuesta a las condiciones de sequía, y la susceptibilidad al fotoperiodo provocan el acortamiento del ciclo vegetativo.

#### **4.3.2. Raíz**

Posee una raíz pivotante, es decir, una raíz principal que da lugar a un gran número de raíces laterales muy ramificadas. Las raíces poseen una longitud que va de 0,8 a 1,5 m. Su

desarrollo y crecimiento está influenciado por el genotipo, tipo de suelos, nutrición y humedad entre otros factores (Gómez y Aguilar, 2016).

#### **4.3.3. Tallo**

El tallo es de tipo herbáceo, erecto y glabro (Aguirre, 2016). En la unión con el cuello de la raíz es cilíndrico y se vuelve un tanto anguloso donde se da el nacimiento de nuevas hojas y ramas. Los tallos jóvenes se caracterizan por presentar una médula suave, y a medida que madura se vuelve esponjosa y se seca, para posteriormente quedar el tallo hueco (Gómez y Aguilar, 2016).

El color característico del tallo durante la floración puede ser verde, verde-amarillo, naranja, rosado, rojo y púrpura. Algunas variedades pueden presentar estrías con colores variables como el verde, amarillo, rosado y púrpura y en otras la presencia de axilas de color rosado, rojo y púrpura. El color básico del tallo, el de las estrías y de axilas constituyen un indicador para identificar la variedad. En la madurez el color del tallo, en general, se torna de un color crema o rosado con diferentes intensidades (Gómez y Aguilar, 2016).

#### **4.3.4. Hojas**

Se puede identificar claramente el peciolo y la lámina, ya que el peciolo de las hojas es largo y acanalado, siendo más largos los peciolos originados directamente del tallo y más cortos los procedentes de las ramas. El color del peciolo puede variar de verde, rosado, rojo a púrpura, mientras que las láminas son más grandes en el follaje y más pequeñas en la inflorescencia; las del follaje pueden ser triangulares o romboidales y las de la inflorescencia pueden ser triangulares o lanceoladas. Generalmente las láminas presentan una coloración verde. Las hojas pueden presentar márgenes enteros, dentados o aserrados, cuyo número de dientes es variable generalmente de 3 a 20 (Gómez y Aguilar, 2016).

#### **4.3.5. Inflorescencia**

Se trata de una panoja con una longitud comprendida entre los 15 y 70 cm. Se la encuentra en el ápice de la planta y en el ápice de las ramas. Posee un eje principal, ejes secundarios y terciarios. Considerando la forma y posición de los glomérulos (grupos de flores) se clasifican en amarantiformes, glomerulatas e intermedias (Gómez y Aguilar, 2016).

#### **4.3.6. Flores**

Las flores pueden ser sésiles o pediceladas y están agrupadas en glomérulos. La posición del glomérulo en la inflorescencia y de las flores dentro de este definen el tamaño y el número de los granos. Es una planta ginomonoica, es decir posee dos tipos de flores en la misma planta: hermafroditas y pistiladas. Las flores hermafroditas son más grandes que las pistiladas se ubican en el ápice del glomérulo con un diámetro de 3 a 5 mm; tienen cinco tépalos, anteras y un ovario súpero que puede poseer dos o tres ramificaciones estigmáticas. Las flores pistiladas se ubican alrededor y debajo de las flores hermafroditas, formadas por cinco tépalos, un ovario súpero y dos o tres ramificaciones estigmáticas con un diámetro de 2 a 3 mm (Gómez y Aguilar, 2016).

#### **4.3.7. Fruto**

Es un aquenio de forma lenticular, elipsoidal, cónico o esferoidal, constituido por el pericarpio (capa del fruto) y la semilla. Según el genotipo el pericarpio presenta una adherencia variable a la capa de las semillas, variando de igual manera la presencia de alveolos y la saponina que le da el sabor amargo al grano. El fruto puede alcanzar un diámetro de 1.5 a 3 mm (Gómez y Aguilar, 2016).

#### **4.3.8. Semilla**

Formada por epispermo, embrión y perisperma. El epispermo se trata de la capa que cubre la semilla y está adherida al pericarpio. El embrión está formado por dos cotiledones y la radícula, que constituye aproximadamente el 30 % del volumen total de la semilla y envuelve al perispermo como un anillo con una curvatura de 320 grados. La radícula presenta una pigmentación de color castaño oscuro. El perispermo reemplaza al endospermo, siendo el principal tejido de almacenamiento formado mayormente por granos de almidón cuyo color es blanquecino y representa prácticamente el 60 % de la semilla. Las semillas pueden presentar un gran rango de colores: verdes, rojos, púrpura, blanco, crema, amarillo, naranja, rosado, marrón, gris y negro (Gómez y Aguilar, 2016).

### **4.4. Fenología**

Mediante la escala BBCH propuesta por Sosa et al. (2017) la fenología o estado fenológico del cultivo de quinua se basa en la codificación del crecimiento resumido en las siguientes etapas, a excepción de las etapas principales 3, 4 y 5:

#### ***4.4.1. Etapa de crecimiento principal 0: germinación***

La etapa de crecimiento principal 0 describe la germinación de la semilla hasta que los cotiledones emergen de la superficie del suelo. Así mismo, se establecen etapas secundarias como el inicio de la imbibición de semillas (subetapa 01), la imbibición de la semilla completada (subetapa 03), emergencia de la radícula de la semilla (subetapa 05), germinación epigea seguida por la emergencia del hipocótilo (subetapa 07), hipocótilo con los cotiledones creciendo hacia la superficie (subetapa 08) finalizando con etapa de germinación a través de la emergencia de los cotiledones a la superficie del suelo (subetapa 09).

#### ***4.4.2. Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de la hoja***

Se da la aparición de las hojas fotosintéticas en el brote principal, como se menciona en las siguientes subetapas: los cotiledones se separan entre sí (subetapa 10), primer par de hojas visibles (subetapa 11), segundo par de hojas visibles (subetapa 12) por consiguiente la codificación de las subetapas continúa hasta el noveno par de hojas visibles (subetapa 19).

#### ***4.4.3. Etapa de crecimiento principal 2: formación de brotes laterales***

Describe la formación de brotes laterales. En la quinua, la aparición de brotes laterales puede comenzar antes o después de la aparición de la inflorescencia, según el genotipo: brotes laterales visibles u hojas expandidas sin tallos laterales (subetapa 20), un brote lateral visible (subetapa 21), dos brotes laterales visibles (subetapa 22) hasta llegar a nueve brotes laterales visibles (subetapa 29).

#### ***4.4.4. Etapa de crecimiento principal 3: alargamiento del tallo***

En esta etapa se da la elongación del tallo junto con la ramificación que comprende desde la subetapa 30 hasta la subetapa 39, la elongación del tallo ocurre paralelamente al desarrollo de la hoja.

#### ***4.4.5. Etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables***

Se omitió el desarrollo de partes vegetativas cosechables (etapa 4) porque en la quinua generalmente solo se cosechan frutos.

#### ***4.4.6. Etapa de crecimiento principal 5: aparición de inflorescencias***

Describe cualitativamente el desarrollo de la inflorescencia en el tallo principal: el desarrollo de la inflorescencia puede producirse antes del desarrollo de la hoja en el tallo

principal (etapa 1). Los botones de la inflorescencia no son visibles y se encuentran cubiertos por hojas jóvenes (subetapa 50). Después de la elongación de las hojas, la inflorescencia se hace visible desde la parte superior (subetapa 51) finalizando cuando la inflorescencia queda expuesta sin hojas cubriéndola, aunque todas sus flores siguen cerradas (subetapa 59).

#### ***4.4.7. Etapa de crecimiento principal 6: floración***

Es el desarrollo de las flores dentro de la inflorescencia principal. Se da el comienzo de la antesis, las flores de la inflorescencia principal presentan las primeras anteras extruidas (subetapa 60), posteriormente estas flores presentan las primeras anteras senescentes (subetapa 67), el color de la inflorescencia cambia dependiendo del genotipo, mientras que el color del perigonio cambia a medida que avanza la floración, la antesis se completa cuando las flores de la inflorescencia principal y sus anteras se vuelven senescentes (subetapa 69).

#### ***4.4.8. Etapa de crecimiento principal 7: desarrollo del fruto***

Esta etapa describe el desarrollo del fruto en el tallo principal. El desarrollo del fruto se inicia con el cuajado (subetapa 70) que se define como el engrosamiento de los ovarios y la presentación de los primeros granos visibles.

#### ***4.4.9. Etapa de crecimiento principal 8: maduración***

Se caracteriza por la maduración de los granos. Durante el proceso de maduración, el contenido de agua en el aquenio varía, modificando su textura y cambiando el color del pericarpio que puede pasar de verde a beige, rojo o negro. El grano se vuelve lechoso, fácil de triturar con las uñas, existe la presencia de líquido y el pericarpio se torna de color verde (subetapa 81), seguidamente el grano se vuelve grueso con un contenido pastoso blanco, el pericarpio puede ser verde, beige, rojo o negro (subetapa 85), cuando ya llega la etapa final de maduración el grano maduro se vuelve difícil de triturar, el contenido de líquidos disminuye sustancialmente hasta que el grano esté seco, pasando a tener un color beige, rojo o negro en su exterior.

#### ***4.4.10. Etapa de crecimiento principal 9: senescencia***

Describe la senescencia de la planta después de la maduración de la fruta, las hojas basales se secan completamente (subetapa 91) para después observarse la muerte de las hojas de la primera mitad de la planta (subetapa 93), luego se produce la muerte de todas las hojas,



así mismo el color del tallo cambia de amarillo a marrón (subetapa 95) produciendo la muerte de la planta (subetapa 97) y finalmente el producto puede ser cosechado (subetapa 99).

#### **4.5. Requerimientos edafoclimáticos**

La quinua se cultiva en zonas geográficas que van desde el nivel del mar hasta incluso los 4 000 m.s.n.m. con precipitaciones de 0 a 1 000 mm, temperaturas debajo de 0 o temperaturas más de 30 °C, suelos de diferentes texturas y con un rango de pH que fluctúa entre 4 a 9 (Gómez y Aguilar, 2016). Según Minh et al. (2022) la quinua por su resistencia a ciertos factores bióticos como abióticos, se adapta y se cultiva en varias zonas agroecológicas con una gran variación humedades relativas (40 - 80 %), siendo altamente tolerante a la deficiencia de humedad del suelo.

#### **4.6. Generación del rendimiento del cultivo de quinua**

Andrade (1995) menciona que el rendimiento generado en la mayoría de los cultivos de grano podría ser explicado como una función directa entre la producción de biomasa total y el índice de cosecha además de un conjunto de factores que interactúan simultáneamente en la producción de biomasa como I) la radiación solar incidente propia del lugar, II) la eficiencia de intercepción determinada por la capacidad del canopeo para capturar la radiación incidente, y III) la eficiencia en el uso de la radiación que expresa la capacidad del cultivo de transformar la energía lumínica interceptada en biomasa, siendo así que la cantidad de radiación solar acumulada dependerá de la duración del ciclo del cultivo y de la capacidad de captura del mismo (Satorre et al., 2015).

El rendimiento, así como las etapas de desarrollo y crecimiento del cultivo, están limitadas por factores como el genotipo, la temperatura, el fotoperiodo y la radiación solar, los cuales no son controlados por el hombre, a ello se suman otros factores como el agua, el suelo, los nutrientes, las malezas, las enfermedades, las plagas y la contaminación. El impacto de estos factores será de fuerte relevancia, ya que mientras mayor sea su incidencia durante el período crítico (Satorre et al., 2015) y los recursos que se incorporen al sistema, una parte se destina a órganos vegetativos y sólo una proporción de la biomasa representada por el índice de cosecha es lo que finalmente compone el rendimiento (Sandaña y Calderini, 2018).

#### **4.6.1. Componentes del rendimiento**

Al igual que otros cultivos de cereales el rendimiento del cultivo de quinua especialmente del grano está asociado fuertemente con el número de granos y en menor proporción con el peso del grano (Bertero, 2021).

**4.6.1.1. Número de granos.** Este componente está influenciado por distintos factores, en un proceso secuencial que se va generando a lo largo del ciclo del cultivo, siendo así que el incremento o disminución de este componente también depende de la relación fuente-destino que se genere en dicha etapa. En quinua se pueden evidenciar dos etapas: la etapa vegetativa en la cual se determina el número de plantas por unidad de superficie, así como el número de ramificaciones por planta, y una etapa reproductiva en la que se determina el número de ramificaciones de panoja por planta y el número de granos por panoja (Satorre et al., 2015; Geren, 2015).

**4.6.1.2. Peso de granos.** Para Satorre et al. (2015) el peso del grano empieza luego de la fecundación y depende de la tasa de acumulación de materia seca del grano y del tiempo de llenado. El desarrollo del peso de grano durante el periodo de llenado considera la dinámica de acumulación de materia seca, y comprende tres fases: la fase uno “lag” donde se produce la división celular acelerada y el aumento del peso es leve, la fase dos “de crecimiento lineal” donde hay una gran acumulación de biomasa y se definen los componentes comerciales, y finalmente la fase tres “de estabilidad” donde ya no hay acumulación de biomasa y su peso se estabiliza.

#### **4.7. Nutrición y fertilización**

A pesar de la gran adaptabilidad, la quinua es una planta que demanda de ciertos nutrientes, principalmente de nitrógeno, calcio, fósforo y potasio (Calvache y Valle, 2021). Cada uno de los elementos minerales suministrados desempeñan un papel fundamental en la planta: el nitrógeno es el más importante ya que participa en la formación de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y conforma la molécula de clorofila; el fósforo interviene en actividades metabólicas y energéticas como crecimiento de raíces y formación de semillas, y finalmente el potasio actúa como cofactor enzimático y regula la apertura y cierre de estomas (García et al., 2017).

#### **4.8. Contenido de clorofila foliar**

La presencia de clorofila es mayor en la fase más cercana a la floración, momento en que la planta presenta el mayor número de hojas y está estrechamente relacionada con altas aplicaciones de nitrógeno, que incrementan los contenidos de clorofila. La planta capta la mayor cantidad de elementos minerales en las fases vegetativas, mientras que, en las fases de llenado y maduración los nutrientes son finalmente acumulados en las semillas (García et al., 2019).

La reducción del contenido de clorofila está afectada por factores bióticos como abióticos, siendo que, al disminuir el contenido de clorofila, se provoca la reducción de la fotosíntesis. Como resultado, el crecimiento y el rendimiento de la planta de quinua también se reducen (Long, 2016).

García et al. (2017) afirma que la clorofila, aparte de realizar el proceso de fijación de CO<sub>2</sub>, interviene en la síntesis de moléculas que participan en el crecimiento celular, interviniendo directamente en las fases vegetativas y reproductivas de la planta.

Los rasgos relacionados con el crecimiento, como la tasa de crecimiento del cultivo, el índice de área foliar, la altura de la planta, el diámetro del tallo y la duración del área foliar, están estrechamente relacionados con el nitrógeno, parte integral de la maquinaria fotosintética (molécula de clorofila y cloroplasto). Un aumento de clorofila y área foliar fotosintéticamente activa resulta en una mayor asimilación y por ende en el crecimiento y desarrollo (Basra et al., 2014)

#### **4.9. Contenido de nitrógeno foliar**

La quinua muestra una relación positiva entre las siguientes variables: biomasa indicador principal del contenido de nitrógeno, el índice de cosecha, el contenido de proteína y la fertilización (Kakabouki et al., 2018), puesto que cuando hay ausencia de este elemento, se limita la división y expansión celular, la producción de hojas, la fotosíntesis y la producción de granos, ya que el nitrógeno es el encargado de inducir la creación de cloroplastos, por el contrario, si existe un bajo suministro de nitrógeno, sumado a otras condiciones de estrés podrían inducir una senescencia acelerada, reduciendo el período de tiempo para la translocación de nutrientes y provocando penalizaciones en el rendimiento y la calidad (Bascuñán et al., 2018; Mansouri et al., 2021).

Basra et al. (2014) recalca que el aumento del índice de área foliar y por consiguiente el porcentaje de materia seca es observable cuando la planta ha desarrollado sus hojas verdaderas,

puesto que en la emergencia el índice de área foliar es casi insignificante, sin embargo para alcanzar la madurez fisiológica en muchos de los casos el nitrógeno representa un obstáculo debido a que ayuda a mantener el contenido de clorofila de la hoja y la apertura de los estomas, lo que en última instancia retrasa la senescencia y una mayor translocación de asimilados de la hoja a la semilla.

#### **4.10. Antecedentes**

El nitrógeno es el elemento principal y el más requerido por la mayoría de las plantas, por su múltiple participación en distintos procesos metabólicos, además por formar parte de la mayoría de los componentes celulares. La información detallada a continuación se enfoca totalmente en el cultivo de quinua, a pesar de existir varias investigaciones ligadas a cultivos de granos.

Según lo expuesto por Almadini et al. (2019), cuando se realizan aplicaciones de 160 kg N ha<sup>-1</sup>, variables como la altura, área foliar y diámetro del tallo incrementa obteniéndose un contenido mayor de materia seca y número de hojas por planta. En cuanto al contenido de clorofila afirma que con tasas altas de fertilización nitrogenada el contenido de clorofila al 70,28 incrementó el número de granos por planta y peso del grano.

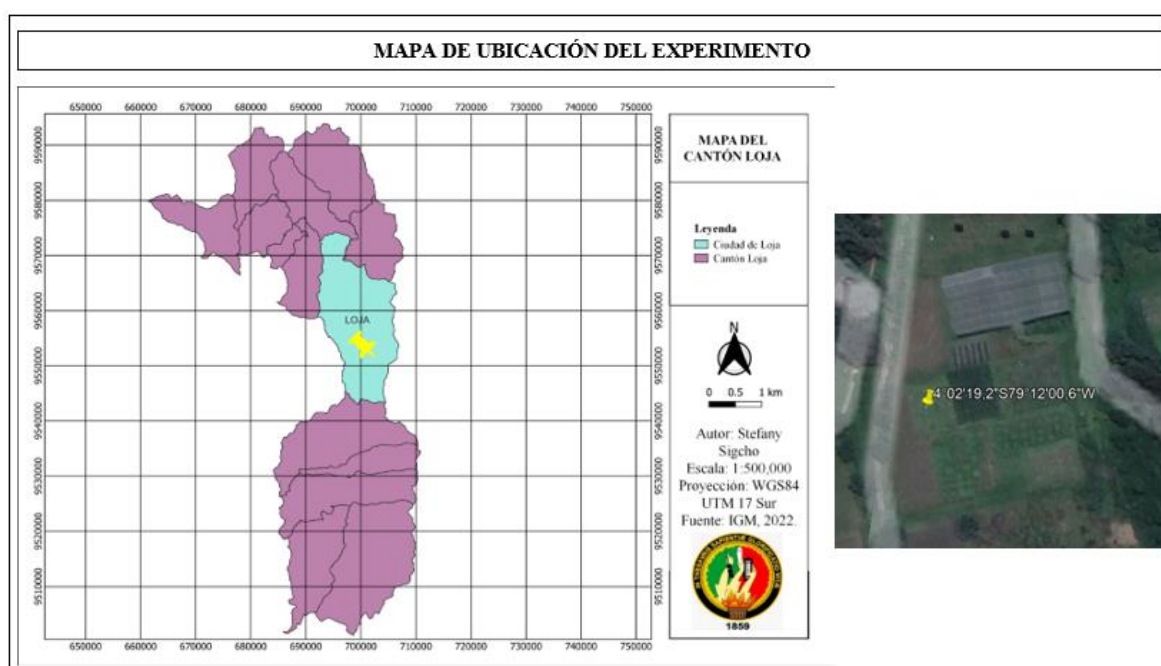
Para las variedades en estudio Mendoza et al. (2016) encontró que existe mayor respuesta al aplicarse 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, debido a que se alcanza el rendimiento máximo, ya que si se aumenta la dosis de fertilizante el rendimiento disminuye por efecto depresivo. De igual manera, Basra et al. (2014) y Bascuñán et al. (2018) afirman que una fertilización nitrogenada especialmente con dosis de 75 a 125 kg ha<sup>-1</sup> de N mejoró los componentes del rendimiento, es decir incrementó la longitud de la panícula principal produciendo un máximo número de granos, número de panículas por planta, cosecha y biomasa de los genotipos empleados.

En cuanto al contenido de nitrógeno Mansouri et al. (2021) obtuvo una mayor Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (NAE) y una Eficiencia fisiológica del nitrógeno (NUE) al aplicar dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup> las cuales fueron fraccionadas para todo el ciclo del cultivo, debido a que en etapas tempranas el débil sistema radicular de las plantas limita una rápida absorción del nitrógeno, por el contrario cuando la fertilización se aplica en la floración su absorción sucede en un lapso de tiempo menor, además de que de acuerdo con la ley de rendimientos decrecientes, la NUE más alta generalmente se obtiene absorbiendo la primera unidad de fertilizante y disminuye con un aumento en la aplicación.

## 5. Metodología

### 5.1. Ubicación geográfica del área de estudio

La presente investigación se realizó en la Quinta experimental docente La Argelia, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, ubicada en el sector la Argelia, parroquia Punzara del cantón y provincia de Loja, con las siguientes coordenadas geográficas 4°02'19,2"S 79°12'00,6"W, a una altitud de 2 150 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 18 °C y una precipitación media anual de 1 058 mm, los suelos característicos de la zona de estudio son de origen franco-limosos con un pH de 5 - 6 (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación del experimento en la Estación Experimental “La Argelia”

### 5.2. Metodología general

Para el acondicionamiento del terreno se utilizó el paso del arado y la rastra, procediéndose a la delimitación de las unidades experimentales (UE) con las siguientes dimensiones: 3 m de largo por 2,5 m de ancho dando un total de 7 m<sup>2</sup> con una distancia entre parcelas de 1 m por lo que el área total del experimento fue de 181,5 m<sup>2</sup>, cada UE constó de 5 hileras con un distanciamiento de 0,5 m por hilera y de 0,1 m entre planta (Anexo 2 y 3).

Los tratamientos correspondientes a 5 niveles de fertilización nitrogenada (urea como fuente de N al 45 %) se aplicaron al momento de la siembra, donde se utilizó semilla de la variedad INIAP-Tunkahuan, con una densidad final de 20 plantas m<sup>-2</sup> (Anexo 4 y 5). En la etapa de elongación del tallo y formación de la inflorescencia se realizaron controles de *Diabrotica*

sp. y de *Peronospora* sp. aplicando un insecticida 18 cm<sup>3</sup> y fungicida 7 cm<sup>3</sup> con Lambdacihalotrina + Tiametoxam y Dicofenazol como principio activo respectivamente en una bomba de 20 litros, además se corrigieron los elementos que estuvieron en déficit fertilizándose con muriato de potasio al 60 % a razón de 0,08 kg para cada EU para cumplir con los requerimientos nutricionales del cultivo, según lo establecido por Gómez y Aguilar (2016) y de acuerdo al análisis de suelo realizado en el año 2021 por parte del proyecto. El riego se le proporcionó según las condiciones climáticas del área de estudio (Anexo 7 y 9).

### 5.2.1. Tipo de investigación

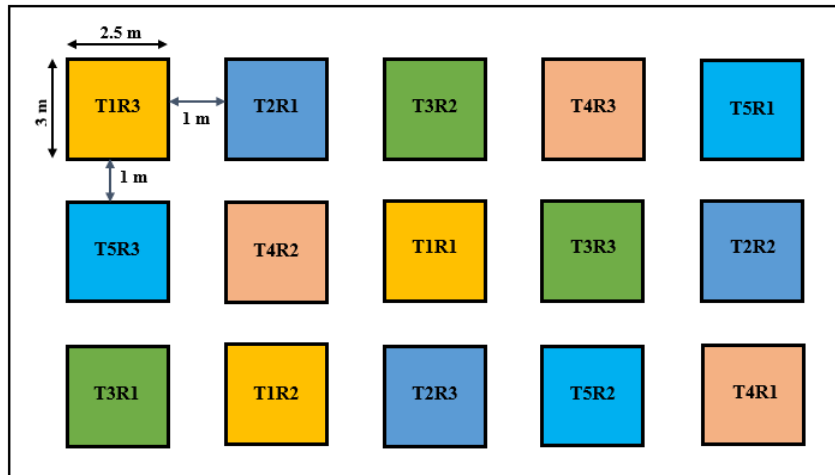
Se realizó una investigación experimental, con un enfoque descriptivo correlacional, obteniéndose resultados positivos en el crecimiento y rendimiento de quinua como respuesta a la aplicación de diferentes dosis de fertilización nitrogenada, siendo posible identificar la fase en la que este nutriente es más indispensable. Es explicativa causal, debido a que se determinó el efecto de cada tratamiento sobre cada una de las variables y la relación entre las mismas (independientes – dependientes) en diferentes momentos fenológicos.

### 5.2.2. Diseño experimental

El ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA) factorial, donde el factor fertilización nitrogenada incluyó cinco niveles o tratamientos: 0, 50, 100, 200 y 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, con 3 repeticiones cada uno (Tabla 2), obteniendo un total de 15 unidades experimentales (Figura 2).

**Tabla 2.** Tratamientos con diferentes dosis de nitrógeno

Tratamiento	Dosis de N (kg ha <sup>-1</sup> )
T1 (testigo)	0
T 2	50
T3	100
T4	200
T5	300



**Figura 2.** Distribución de los tratamientos en campo. Donde, T1-T5 son los tratamientos de N y R1-R3 son las repeticiones de cada tratamiento.

Teniendo en cuenta que el diseño experimental que se usó corresponde a un DCA (Diseño Completamente al Azar) con un solo factor, se empleó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = u + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable dependiente

$u$  = Media General

$T_i$  = Efecto del tratamiento (Dosis de N)

$E_{ij}$  = Error Experimental

**5.2.3. Metodología para el primer objetivo específico. “Analizar la relación entre la concentración de clorofila y la concentración de nitrógeno foliar en diferentes etapas fenológicas del cultivo de quinua”.**

Fenología del cultivo

Para ello se tomaron en cuenta los estados fenológicos una vez que hayan completado el 50 % de un estado fenológico a otro en cada UE, según la escala BBCH propuesta por Sosa et al. (2017) (Tabla 3).

**Tabla 3.** Etapas Fenológicas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) basadas en la escala BBCH.

Etapa fenológica	Descripción
0	Germinación
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

Fuente: (Sosa et al., 2017)

### Contenido de clorofila

Esta variable se midió en 2 plantas de las hileras centrales de cada unidad experimental en 6 momentos durante el crecimiento vegetal: formación de los primeros brotes laterales visibles (etapa 2), alargamiento del tallo (etapa 3), aparición completa de inflorescencias (etapa 5), anthesis completa (etapa 6), llenado del grano estado pastoso (etapa 7) y madurez del fruto (etapa 8) (Anexo 6, 12 y 13).

El contenido de clorofila se evaluó siguiendo el protocolo establecido por Rodés y Collazo (2006) donde por espectrofotometría se determinó la concentración de clorofila A, B y la concentración de clorofila total. Para ello se recolectaron hojas de las plantas seleccionadas de cada unidad experimental que se encontraron completamente extendidas, sanas y funcionales. Previo a la extracción se eliminó la base, el ápice y los bordes cada hoja, se cortó en pequeñas secciones cada una de ellas, sin tener en cuenta las nervaduras.

Para la extracción de pigmentos se pesó 0,5 g de hojas de cada unidad experimental, que se colocaron en tubos de ensayo cubiertos con papel aluminio para evitar el paso de los rayos solares, a los mismos que se les vertió 3 ml de etanol al 90 %, procurando que los segmentos del material vegetal se sumerjan completamente en el solvente orgánico. Para una mejor disolución de los pigmentos fotosintéticos en el solvente, las muestras se colocaron en refrigeración durante 24 horas. Una vez transcurrido el periodo de tiempo y que el solvente hubo adquirido el color verde, se separaron los segmentos (residuos) del solvente.

Para cuantificar los pigmentos se tomó 1 ml del sobrenadante de cada uno de los extractos y se diluyó hasta 5 ml con el solvente utilizado, los cuales debían estar bien tapados para evitar la volatilización del solvente, después se midió cada muestra en el espectrofotómetro a longitudes de onda deseada, siendo el blanco el solvente, las ondas para medir la cantidad de



absorbancia fueron de 645 y 663 nm, el contenido de clorofila se determinó aplicando las siguientes fórmulas:

1.  $CA \frac{(ml)}{g} = ((12,7 * A663) - (2,69 * A645)) * \frac{vol.del extracto(ml)}{peso de la hoja (g)}$
2.  $CB \frac{(ml)}{g} = ((22,9 * A645) - (4,68 * A663)) * \frac{vol.del extracto(ml)}{peso de la hoja (g)}$
3.  $C Total \frac{(ml)}{g} = ((20,2 * A645) + (8,02 * A663)) * \frac{vol.del extracto(ml)}{peso de la hoja (g)}$

### **Contenido de nitrógeno foliar**

Los análisis de concentración de nitrógeno foliar se realizaron utilizando el método de Kjeldahl (Lynch et al., 1999) y el porcentaje de proteína del grano fue estimado multiplicando el valor del nitrógeno total por la constante de 6,25 (De Book et al., 2021) (protocolo MC-LSAIA-2201 Rev. 9) los cuales fueron realizados en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en la Estación Experimental Santa Catalina.

### **Índice de nutrición nitrogenada (INN)**

El INN se calculó mediante la relación establecida entre el contenido de nitrógeno foliar y el nitrógeno crítico, para lo cual se utilizó el procedimiento propuesto por Greenwood et al. (1990) y la siguiente ecuación ajustada a un modelo de regresión potencial descrita por Correa y Vásquez (2023) para el cultivo de quinua.

$$1. Y = 3,37 x^{-0,258}$$

$$2. INN = \frac{Nt}{Nc}$$

Donde Nt es la concentración total de N en los brotes y Nc el nitrógeno crítico.

#### **5.2.4. Metodología para el segundo objetivo específico. “Determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua”**

Para determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo, se tomó en cuenta la fenología usando la escala BBCH (Tabla 3). El crecimiento se describió mediante la medición de altura de la planta, tasa de elongación del tallo y la biomasa aérea de planta. En cosecha se determinó el número de granos por planta peso del grano y rendimiento de grano se realizó eligiendo aleatoriamente 3 plantas de cada unidad experimental, mientras que para la biomasa aérea y el área foliar se utilizaron las 2 plantas seleccionadas para el contenido de clorofila y el contenido de nitrógeno.

## **Altura de la planta**

Por cada unidad experimental con la ayuda de un flexómetro se midió la longitud del tallo principal desde el cuello de la planta hasta el ápice central, de 3 plantas de cada unidad experimental elegidas aleatoriamente los datos de esta variable se registraron cada 15 días (Anexo 8).

## **Tasa de elongación y dinámica de crecimiento del tallo**

Para la elongación y dinámica del tallo se utilizaron los datos obtenidos de la altura, los cuales se ajustaron a la fórmula posteriormente descrita y a una función sigmoidea en el software GraphPad Prism 8.01 respectivamente.

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

TET: Tasa de elongación del tallo

AT<sub>f</sub>: altura final

AT<sub>i</sub>: altura inicial

ND<sub>f</sub>: número de días finales

ND<sub>i</sub>: número de días iniciales

## **Cobertura vegetal**

El porcentaje de cobertura del tapiz vegetal se calculó utilizando la aplicación móvil Canopeo, mediante fotografías tomadas cada 15 días de cada unidad experimental (Patrignani y Ochsner, 2015).

## **Biomasa aérea**

Se determinó el peso seco de las muestras de 2 plantas elegidas aleatoriamente de cada unidad experimental en las 6 etapas fenológicas correspondientes a la variable de contenido de clorofila, una vez que se las sometió a un proceso de secado en la estufa durante 3 días aproximadamente, a temperaturas de 65 °C, después de ello se pesó cada muestra haciendo uso de la balanza de precisión (0,001 g) (Anexo 11).

## **Índice de Área Foliar (IAF)**

Previamente se calculó el área foliar usando el medidor Láser Portátil de Área Foliar CI-202, para calcular la superficie en centímetros de las hojas de las 2 plantas seleccionadas aleatoriamente de cada unidad experimental de las 6 etapas fenológicas ya mencionadas (Anexo 10). Considerando el área foliar estimada anteriormente, se realizó un promedio de las 3 repeticiones de cada tratamiento cuyas unidades de medida estuvieron dadas en metros. Por otra parte, la superficie ocupada se determinó teniendo en cuenta la distancia entre hileras y la distancia entre plantas expresada en metros, de tal manera que, para la obtención del IAF se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{IAF} = \frac{\text{Área foliar (m)}}{\text{Superficie del suelo (m)}}$$

## **Peso de 1 000 granos**

Se consideró una muestra representativa de 100 granos del total de granos cosechados de 3 plantas que se eligieron de manera aleatoria de cada unidad experimental, luego a la muestra se la secó en la estufa a una temperatura de 65 °C durante 2 días, después se procedió a pesar en una balanza de precisión (0,001 g) para posteriormente extrapolar el peso a un total de 1 000 granos.

## **Número de granos por planta y por metro cuadrado**

El número de granos por planta se determinó una vez realizada la cosecha y se calculó estimando el peso de los 100 granos de las tres plantas seleccionadas aleatoriamente de cada unidad experimental, mediante una relación con el peso total en gramos de la muestra. Con los valores obtenidos del número de granos por planta, y teniendo en cuenta el número de plantas promedio por cada metro cuadrado, se determinó el número de granos por metro cuadrado, mediante una multiplicación entre estos dos componentes respectivamente.

## **Rendimiento**

Una vez obtenidos los componentes del rendimiento, se lo determinó aplicando la siguiente fórmula:

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

Donde:

*R*: rendimiento

*NG m<sup>-2</sup>*: número de granos por metro cuadrado

*PG*: peso de granos

### **Índice de cosecha (IC)**

Para la obtención del índice de cosecha, se utilizaron los datos obtenidos en el rendimiento y de la biomasa de cada unidad experimental, a la vez que se aplicó la siguiente fórmula para la determinación del IC:

$$IC = \frac{\text{rendimiento del grano } g \text{ m}^{-2}}{\text{biomasa aerea total } g \text{ m}^{-2}}$$

### **Eficiencia Agronómica (EA)**

Para la eficiencia agronómica se utilizó el rendimiento kg ha<sup>-1</sup> obtenido como respuesta a la aplicación de las cinco dosis utilizadas, todo ello expresado en la siguiente formula:

$$EA = \frac{R(E) - R(T)}{\text{Dosis}}$$

Donde:

**EA**: eficiencia agronómica

**RE**: rendimiento kg ha<sup>-1</sup>

**R(T)**: rendimiento del grano del tratamiento testigo

**Dosis**: cantidad (kg ha<sup>-1</sup>) del nutriente aplicado como fertilizante

#### **5.2.5. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se tabularon en Microsoft Excel y se ingresaron al programa Infostat versión libre para su posterior análisis estadístico mediante la verificación de los supuestos de homogeneidad y normalidad con los test de Shapiro Wilks y de Levene respectivamente, una vez cumplidos los supuestos de las variables evaluadas se realizó , un análisis de varianza (ANOVA) factorial en función de la fertilización, con un nivel de significancia del 5 %, a la vez se determinó si existe una interacción estadísticamente

significativa al 5 % entre las variables de estudio, cuando se sometieron a pruebas de comparación múltiple mediante el test de Tukey.

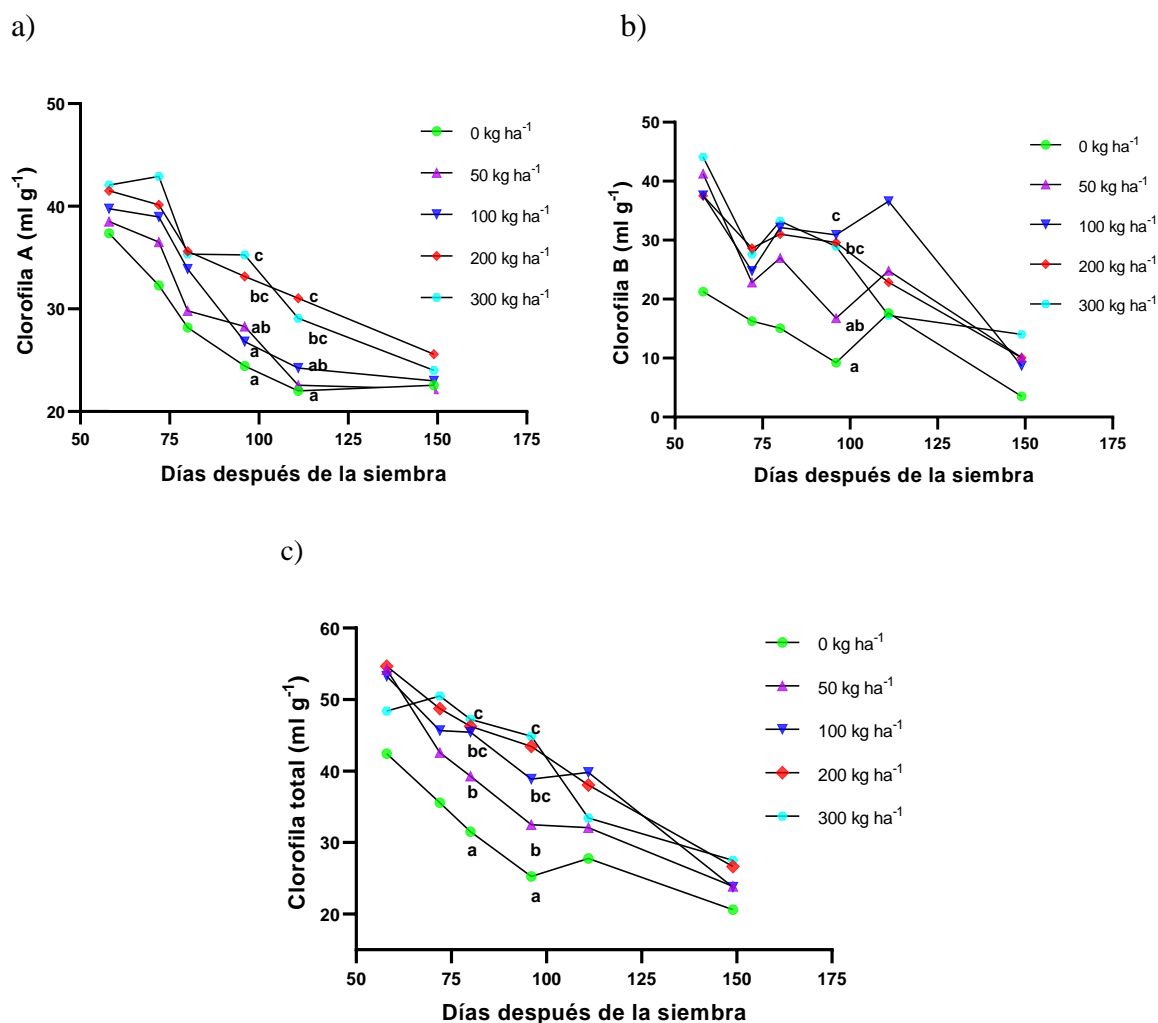
Para determinar la asociación existente entre el contenido de clorofila y el contenido de nitrógeno se aplicó un análisis de regresión lineal con una significancia del 5 % y para determinar la relación entre las variables se realizó un análisis de correlación utilizando el coeficiente de Pearson con un grado de significancia de 0,05 %.

## 6. Resultados

### 6.1. Contenido de clorofila

El contenido de clorofila del tipo A (Figura 3a) presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0,001$ ) en las primeras fases del cultivo 72, 80 y 96 días después de la siembra (dds) correspondientes a la formación de elongación del tallo, aparición completa de inflorescencias y floración alcanzando los porcentajes más altos de 42,91 ml g<sup>-1</sup> con 300 kg N ha<sup>-1</sup>, 35,60 ml g<sup>-1</sup> con 200 kg N ha<sup>-1</sup> y 35,25 ml g<sup>-1</sup> con dosis de 200 kg N<sup>-1</sup> ha respectivamente. Posteriormente se evidenció una notable disminución conforme al desarrollo del cultivo y el transcurso del tiempo, ya que para los 111 dds, es decir para la formación del grano estado pastoso el mayor contenido de clorofila fue de 31,04 ml g<sup>-1</sup> con 200 kg N ha<sup>-1</sup>. En la etapa inicial de formación de brotes laterales (58 dds) con 300 kg N ha<sup>-1</sup> se obtuvieron los mayores valores de clorofila de 42,07 ml g<sup>-1</sup>, y para la etapa de madurez del fruto (149 dds) con 200 kg N<sup>-1</sup> ha se obtuvo 25,59 ml g<sup>-1</sup> de clorofila, sin presentar diferencias estadísticas para estas dos etapas, para el tratamiento control 0 kg N ha<sup>-1</sup>, los valores más bajos fueron de 37,35 ml g<sup>-1</sup> y 22,55 ml g<sup>-1</sup>.

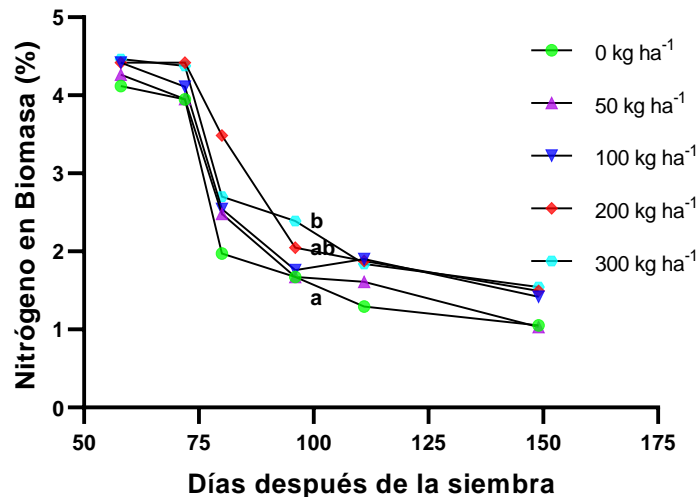
Para el tipo de clorofila B (Figura 3b), en las primeras etapas (58 y 72 dds) no se encontraron diferencias estadísticas, pero los mayores contenidos de clorofila fueron de 44,12 ml g<sup>-1</sup> con 300 kg N ha<sup>-1</sup> y 28,64 ml g<sup>-1</sup> con 200 kg N ha<sup>-1</sup>. No obstante las mayores diferencias ( $p < 0,001$ ) fueron a los 96 dds, con el mayor contenido de clorofila de 30,88 ml g<sup>-1</sup> con 100 kg N ha<sup>-1</sup>. En la clorofila total (Figura 3c) las diferencias fueron altamente significativas ( $p < 0,001$ ) en 2 momentos (80 y 96 dds), siendo la aplicación de 300 kg N ha<sup>-1</sup> que presentó contenidos más altos de clorofila de 47,22 ml g<sup>-1</sup> y 44,84 ml g<sup>-1</sup>, mientras que a los 72 y 149 dds las diferencias fueron muy significativas ( $p < 0,01$ ) con 50,48 ml g<sup>-1</sup> y 27,50 ml g<sup>-1</sup> con 300 kg N ha<sup>-1</sup>. Para los 58 dds no se encontraron diferencias significativas pero el mayor contenido de clorofila fue de 54,64 ml g<sup>-1</sup> con 200 kg N ha<sup>-1</sup>.



**Figura 3.** Contenido de clorofila (ml g<sup>-1</sup>) tipo A (a), B (b) y total (c) en plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente expresan que no hay diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 6.2. Contenido de nitrógeno

La concentración de nitrógeno presente en la biomasa en base a los diferentes tratamientos indicó que con fertilizaciones de 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup> se obtuvo una mayor concentración de N en todos los momentos de muestreo y que este aumenta en las primeras fases del cultivo (58 y 72 dds) con un contenido de 4,47 % (300 kg N ha<sup>-1</sup>) y 4,42 % (200 kg N ha<sup>-1</sup>) para posteriormente disminuir en las etapas subsiguientes (80, 96, 111 y 149 dds), siendo que en la etapa final del ciclo del cultivo (149 dds) con dosis de 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup> se obtuvieron valores más altos de 1,50 y 1,55 % respectivamente. Sin embargo, las diferencias fueron muy significativas ( $p < 0,01$ ) únicamente a los 96 dds, donde 300 kg N ha<sup>-1</sup> con 2,39 % y 200 kg de N ha<sup>-1</sup> con 2,05 % presentaron los valores más altos, en comparación a los demás tratamientos, donde el menor contenido fue con 0 kg N ha<sup>-1</sup> con 1,67 % (Figura 4).

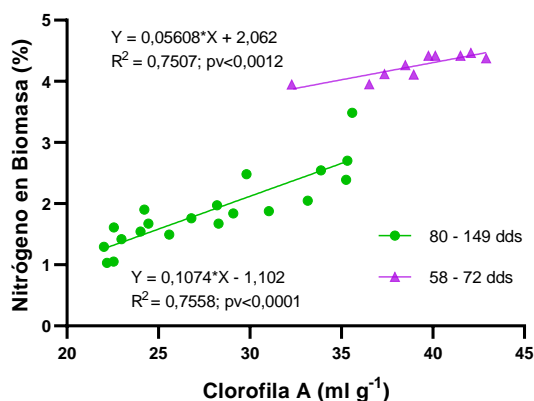


**Figura 4.** Contenido de nitrógeno (%) en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente expresan que no hay diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).

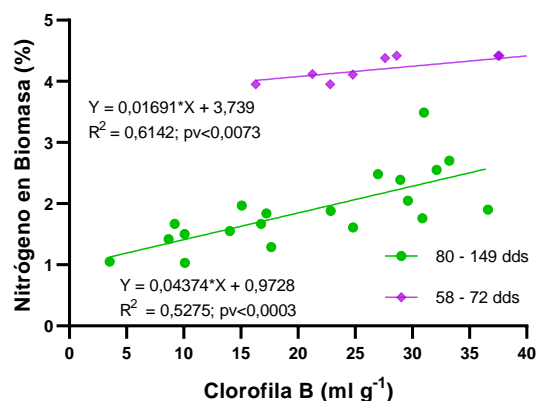
### 6.3. Relación entre el contenido de clorofila y el contenido de nitrógeno foliar

El contenido de nitrógeno foliar presentó una relación positiva ( $p < 0,05$ ) con el contenido de clorofila foliar A (Figura 5a), B (Figura 5b) y total (Figura 5c), donde a medida que incrementa el contenido de nitrógeno también lo hace el contenido de clorofila en las dos primeras fases del cultivo, para posteriormente disminuir el contenido de nitrógeno como también el contenido de clorofila, agrupándose de acuerdo a los estados fenológicos del cultivo desde el estadio correspondiente a la formación de los primeros brotes laterales hasta alargamiento del tallo (58 a 72 dds) y desde la aparición completa de inflorescencias hasta madurez del fruto (80 a 149 dds) observándose la mayor pendiente de la relación en estos estadios.

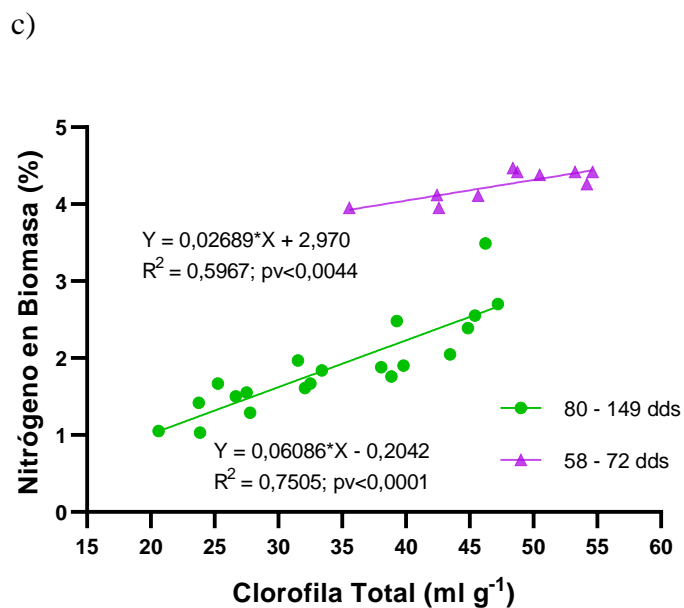
a)



b)



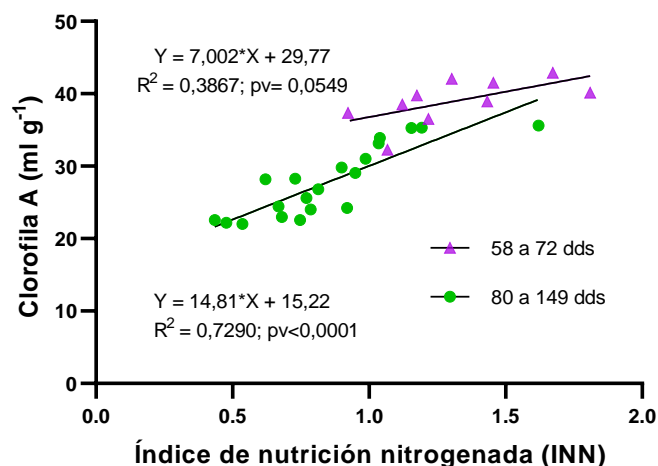




**Figura 5.** Relación entre el contenido de nitrógeno en biomasa y el contenido de clorofila foliar tipo A (a), B (b) y total (c) en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Los símbolos morados corresponden a los datos de los estadios de formación de los primeros brotes laterales hasta alargamiento del tallo y los verdes a la aparición completa de inflorescencias hasta madurez del fruto.

#### 6.4. Relación entre el índice de nutrición nitrogenada y el contenido de clorofila A

La relación entre el índice de nutrición nitrogenada y el contenido de clorofila A en 6 momentos, fue agrupada en dos ecuaciones desde los 58 a 72 dds correspondiente a la formación de los primeros brotes laterales hasta elongación del tallo donde se pudo observar que los valores de INN fueron en su mayoría superiores a 1 con dosis de 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup> y de igual manera el contenido de clorofila fue superior a 40 ml g<sup>-1</sup> para estas fases, lo que indica un exceso en el consumo de nitrógeno, por el contrario con dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup> el INN es próximo a 1 con una concentración de clorofila de 39,76 ml g<sup>-1</sup> y 38,95 ml g<sup>-1</sup> para estos dos momentos respectivamente. Mientras que la segunda ecuación correspondió desde los 80, 96, 111 a 149 dds referidos a la aparición completa de inflorescencias, anthesis completa, llenado del grano y madurez del fruto, donde a los 80 dds, a medida que el INN es cercano a 1 con dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup> el contenido de clorofila adecuado es de 33,88 ml g<sup>-1</sup>, sin embargo también fue evidente que en las fases cercanas a la finalización del ciclo del cultivo existe un déficit de nitrógeno pues los valores son menores a 1 y el contenido de clorofila que es otro indicador del estado del nitrógeno disminuye al valor mínimo de 22 ml g<sup>-1</sup> (Figura 6)



**Figura 6.** Clorofila foliar tipo A en función del INN en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Los símbolos morados corresponden a los datos de los estadios de formación de los primeros brotes laterales hasta alargamiento del tallo y los verdes a la aparición completa de inflorescencias hasta madurez del fruto.

El contenido de clorofila foliar mostró una estrecha relación con el INN, principalmente durante la etapa vegetativa (desde los 58 hasta los 96 dds), mientras que, en la etapa de llenado de grano, esta relación fue menor, posiblemente afectada por la traslocación del N en la etapa de crecimiento de los granos (Tabla 4.)

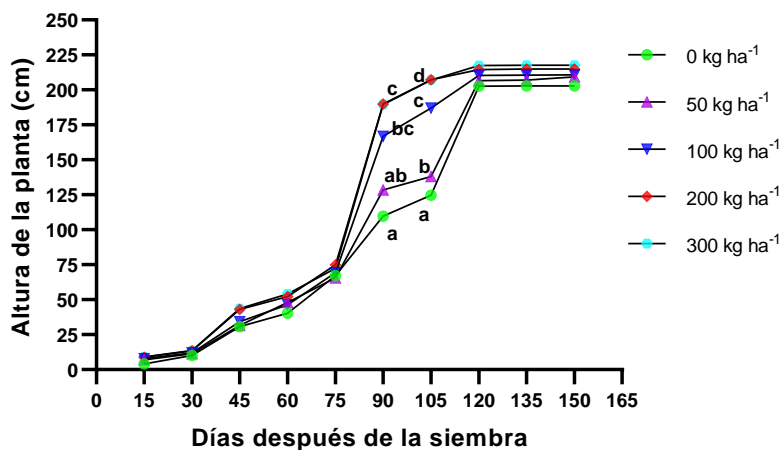
**Tabla 4.** Relación entre el índice de nutrición nitrogenada y el contenido de clorofila foliar tipo A en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada, en 6 momentos: formación de los primeros brotes laterales (58 dds), elongación del tallo (80 dds), aparición completa de inflorescencias (80), antesis completa (96 dds), llenado del grano (111 dds) y madurez del fruto (149 dds).

dds	Ecuación	R <sup>2</sup>	p valor
58	Y = 9,124*X + 28,93	0,84	0,02
72	Y = 11,58*X + 21,49	0,79	0,04
80	Y = 7,996*X + 23,97	0,78	0,05
96	Y = 20,86*X + 11,22	0,92	0,01
111	Y = 17,53*X + 11,27	0,66	0,10
149	Y = 6,815*X + 19,17	0,66	0,09

## 6.5. Altura de la planta

Existieron diferencias altamente significativas ( $p < 0,001$ ) con respecto a la altura como resultado de la fertilización nitrogenada principalmente a los 15, 30, 45, y 150 dds (momento en el que se estabilizó la medición), obteniéndose la mayor altura de 9,08 cm, 13,64 cm, 43,66 cm y 217,67 cm con aplicaciones de 300 kg N ha<sup>-1</sup> y a los 90 y 105 dds las mayores alturas fueron de 189,84 cm y 207,17 cm con 200 kg N ha<sup>-1</sup> siendo superiores a las demás dosis aplicadas 0 y 50 kg N ha<sup>-1</sup> Mientras que a los 75, 120 y 135 dds, la mayor altura fue de 74,86

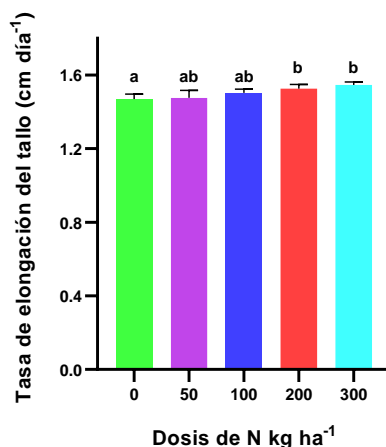
cm con 200 kg N ha<sup>-1</sup>, 217,31 cm con 300 kg N ha<sup>-1</sup> y 217,63 cm con 300 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente, presentando diferencias muy significativas respecto a los demás tratamientos ( $p < 0,01$ ) (Figura 7).



**Figura 7.** Dinámica de crecimiento en altura (cm) de plantas de quinua a lo largo de la evaluación, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente expresan que no hay diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).

### 6.6. Tasa de elongación del tallo

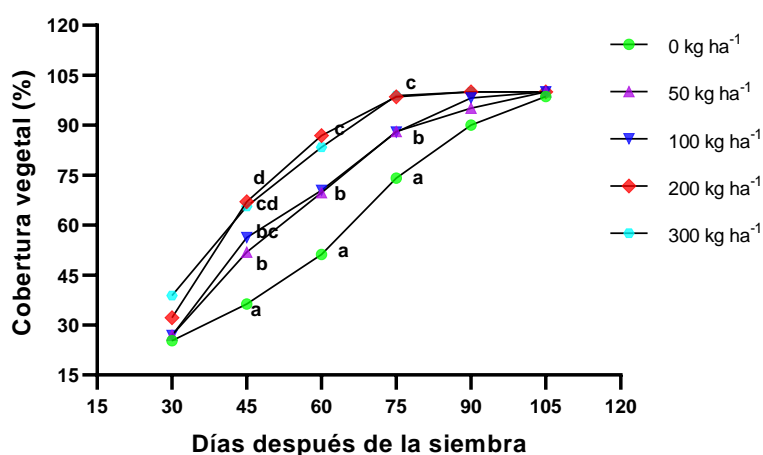
En cuanto a la tasa de elongación, fue mayor cuando se aplicó dosis de 300 kg N ha<sup>-1</sup> (1,55 cm) respecto al testigo (1,47 cm), ya que aplicaciones de 50, 100 y 200 kg N ha<sup>-1</sup> obtuvieron un incremento de 1,50 y 1,52 cm en su altura, lo cual refleja que las diferencias entre cada tratamiento fueron relativamente mínimas (Figura 8).



**Figura 8.** Tasa de elongación del tallo de plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. La línea sobre las barras indica el error estándar de la media considerando tres repeticiones. Letras iguales no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).

## 6.7. Cobertura vegetal

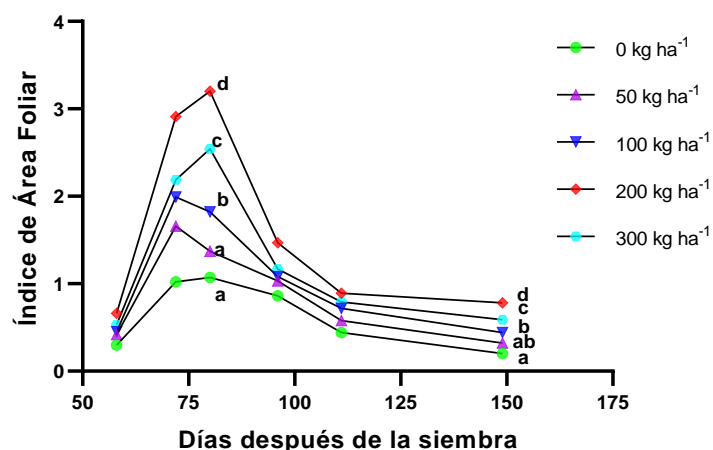
Mediante la aplicación de 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup>, la cobertura vegetal no presentó diferencias entre estas dosis para los 5 momentos de medición, pero las diferencias sí fueron altamente significativas ( $p < 0,0001$ ) con dosis de 0, 50 y 100 kg N ha<sup>-1</sup>. A los 30 dds con la aplicación de 300 kg N ha<sup>-1</sup> se obtuvo un mayor porcentaje de cobertura de 38,82 %, ya que para los demás momentos (45, 60, 75 y 90 dds) la dosis de 200 kg N ha<sup>-1</sup> incidió en una mayor cobertura con medias de 67,04, 86,86, 98,49 y 100 % respectivamente, a los 105 dds las diferencias fueron significativas ( $p < 0,05$ ), el menor porcentaje de cobertura fue con el testigo (0 kg N ha<sup>-1</sup>) para todas las etapas, con 25,24 % a los 30 dds y 98,62 % a los 105 dds donde se estabilizó la cobertura en todos los tratamientos. (Figura 9).



**Figura 9.** Porcentaje de cobertura vegetal de plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).

## 6.8. Índice de área foliar

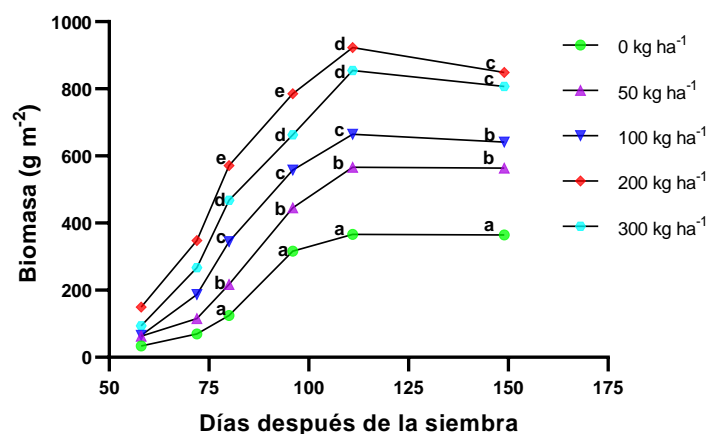
Se determinó que el IAF alcanzó el punto más alto en la etapa de formación de inflorescencias (80 dds) y a medida que incrementaron los días el IAF disminuyó. Por ello como efecto de la fertilización nitrogenada las diferencias fueron altamente significativas ( $p < 0,001$ ) cuando se aplicó 200 kg N ha<sup>-1</sup> a los 58 (0,66), 72 (2,91), 80 (3,20), 111 (0,89) y 149 (0,78) dds respecto a las demás dosis aplicadas. Para los 96 dds correspondiente a la etapa de floración, la dosis de 200 kg N ha<sup>-1</sup> obtuvo las mayores medias de IAF de 1,47 a la vez que presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) únicamente con el testigo (0 kg N ha<sup>-1</sup>), resultando en IAF similares cuando se aplicaron 50, 100 y 300 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 10).



**Figura 10.** Índice de área foliar (IAF) de plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).

### 6.9. Biomasa aérea

En concordancia con la cobertura vegetal, la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno repercutió en el contenido de biomasa, pues se mantuvo un patrón similar a la cobertura vegetal en cuanto al efecto de las diferentes dosis, es decir, con 200 kg N ha<sup>-1</sup> se logró un mayor contenido de biomasa para todas las etapas muestreadas: 58 dds (149,40 g m<sup>-2</sup>), 72 dds (347,93 g m<sup>-2</sup>), 80 dds (570,97 g m<sup>-2</sup>), 96 dds (785,80 g m<sup>-2</sup>), 111 dds (922,83 g m<sup>-2</sup>) y 149 dds (848,67 g m<sup>-2</sup>), con un efecto altamente significativo ( $p < 0,0001$ ) sobre los demás tratamientos. El menor contenido de biomasa se lo obtuvo con el tratamiento testigo y con 50 kg N ha<sup>-1</sup>, con 33,53 g m<sup>-2</sup> y 62,83 g m<sup>-2</sup> a los 58 dds, ya que a los 149 dds el contenido de biomasa fue de 364,47 con 50 kg N ha<sup>-1</sup> y 563,40 g m<sup>-2</sup> para el testigo. Cabe recalcar que cuando la planta llegó a desarrollo y madurez del grano (etapa 8) por la fisiología propia de la planta la biomasa disminuyó para cada tratamiento (Figura 11).



**Figura 11.** Biomasa ( $\text{g m}^{-2}$ ) de plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).

### 6.10. Rendimiento y componentes del rendimiento

Con la dosis de  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  se obtuvo el mayor número de granos por planta de 22 629,79, el cual no presentó diferencias estadísticas respecto a la aplicación de  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$ , a pesar de que disminuyó el número de granos ( $18\ 810,42$ ), y con aplicaciones de  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  se logró obtener resultados inferiores ( $16\ 098,02$  granos). El menor número de granos correspondiente a  $12\ 373,11$  y  $13\ 593,49$  se consiguió al aplicar dosis de 0 y  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ , dichos tratamiento no presentaron diferencias significativas entre ellos, pero sí existieron diferencias con las demás dosis aplicadas (Tabla 5).

Al igual que en el número de granos por planta, con dosis de  $100$  y  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$ , las cuales no presentaron diferencias significativas entre ellas, se obtuvo el mayor número de granos  $\text{m}^{-2}$  de  $150\ 865,29$  y  $125\ 402,83$  respectivamente, mientras que cuando se aplicó  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  el número de granos  $\text{m}^{-2}$  fue de  $107\ 320,11$ , siendo estadísticamente similar a la dosis de  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$ , al aplicarse 0 y  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  el número de granos  $\text{m}^{-2}$  disminuyó ( $82\ 487,37$  y  $90\ 623,27$ ), presentando diferencias con las demás dosis aplicadas (Tabla 5).

Referente al peso de 1000 granos los tratamientos presentaron diferencias estadísticas entre ellos, a excepción de las dosis de 0 y  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  las cuales fueron similares y a la vez presentaron los menores pesos ( $2,26 \text{ g}$ ). Cuando se aplicó  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  se obtuvo el mayor peso ( $3,12 \text{ g}$ ), seguido de dosis de  $100$  y  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  respectivamente (Tabla 5).

Los resultados nos indican que con  $100$  y  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  se obtuvieron los mayores rendimientos de  $4,08$  y  $3,9 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente, presentando diferencias con las demás dosis,

ya que con 50 y 300 kg N ha<sup>-2</sup> existieron similitudes en el rendimiento obtenido el cual fue de 2,66 y 2,04 t ha<sup>-1</sup>, siendo el menor rendimiento de 1,86 t ha<sup>-1</sup> el que se obtuvo con 0 kg N ha<sup>-1</sup>, a la vez que no presentó diferencia con la dosis más alta (Tabla 5). Aplicaciones de 100 kg N ha<sup>-1</sup> resultaron en un mayor IC (0,5), el cual no fue diferente cuando se suministraron dosis menores (0 y 50 kg N ha<sup>-1</sup>), por el contrario, con dosis de 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup> las diferencias fueron significativas, siendo el menor IC (0,21) el que se obtuvo al aplicarse 300 kg N ha<sup>-1</sup>.

La proteína en grano no presentó diferencias estadísticas significativas, pero el tratamiento que más concentración de proteína tuvo fue el de 200 kg N ha<sup>-1</sup> con 15,395 % y la menor concentración fue de 14,09 con 0 kg N ha<sup>-1</sup>. Para el rendimiento en proteína se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,001$ ), siendo la dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup> y 200 kg N ha<sup>-1</sup> con 0,61 y 0,59 t ha<sup>-1</sup> con las mayores concentraciones de proteína en rendimiento (Tabla 5).

**Tabla 5.** Medias de rendimiento de grano y sus componentes en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada: T1 (0 kg N ha<sup>-1</sup>), T2 (50 kg N ha<sup>-1</sup>), T3 (100 kg N ha<sup>-1</sup>), T4 (200 kg N ha<sup>-1</sup>) y T5 (300 kg N ha<sup>-1</sup>).

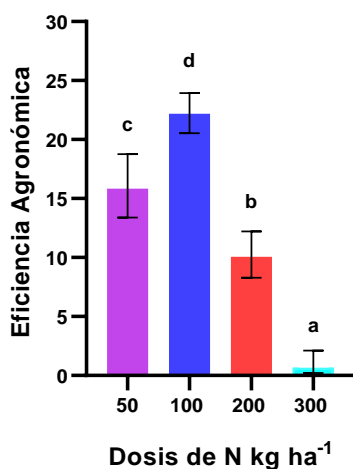
Tratamiento (kg N ha <sup>-1</sup> )	Número de granos (planta <sup>-1</sup> )	Número de granos m <sup>-2</sup>	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Índice de cosecha (IC)	Proteína en grano (%)	Rendimiento en proteína (t ha <sup>-1</sup> )
0	12 373,11 a	82 487,37 a	2,26 a	1,86 a	0,44 bc	14,09	0,26 a
50	16 098,02 ab	107 320,11 ab	2,48 b	2,66 b	0,42 bc	14,50	0,38 a
100	22 629,79 c	150 865,29 c	2,71 c	4,08 c	0,5 c	14,88	0,61 b
200	18 810,42 bc	125 402,83 bc	3,12 d	3,9 c	0,41 b	15,40	0,59 b
300	13 593,49 a	90 623,27 a	2,26 a	2,04 ab	0,21 a	15,00	0,27 a
<i>p</i> -valor	***	***	***	***	***	ns	***
E.		5934,18				0,55	0,02
estándar	890,13		0,04	0,14	0,02		

Letras iguales verticalmente no expresan diferencias estadísticas significativas según el test de Tukey ( $p > 0,05$ ). Los valores son las medias de 3 repeticiones ns: efecto no significativo; \*efecto significativo  $p < 0,05$ ; \*\* efecto muy significativo  $p < 0,01$ ; \*\*\* efecto altamente significativo  $p < 0,001$ .

### 6.11. Eficiencia agronómica del nitrógeno

Para la eficiencia agronómica (EA) como se observa en la figura 12 se encontró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $p < 0,0001$ ), la aplicación de 100 kg N ha<sup>-1</sup> contribuyó a una mayor EA con 22,22 kg de grano por cada kg de N aplicado, por el

contrario, con una dosis superior de 300 kg N ha<sup>-1</sup>, la EA disminuye notoriamente pasando a ser el tratamiento con la menor respuesta de 0,62 kg de grano por cada kg de N aplicado.



**Figura 12.** Eficiencia Agronómica del nitrógeno (EA) en plantas de quinua,. La línea sobre las barras indica el error estándar de la media considerando tres repeticiones. Letras iguales no expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).

### 6.12. Correlación entre variables

En la tabla 5 se presenta las correlaciones entre las variables, donde se puede evidenciar que la biomasa presentó una correlación altamente significativa ( $p < 0,001$ ) para la clorofila total y % de proteína en grano, mientras que la altura se correlacionó positivamente ( $p < 0,001$ ) con la clorofila total. El número de granos por planta presentó una correlación con el número de granos m<sup>-2</sup> y con el rendimiento (t ha<sup>-1</sup>), para la variable número de granos m<sup>-2</sup> se correlaciono positivamente ( $p < 0,001$ ) con el rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) y por consiguiente el rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) se correlacionó con el rendimiento en proteína.



**Tabla 6.** Correlación entre las distintas variables evaluadas en plantas de quinua variedad tunkahuan

	Biomasa g m <sup>-2</sup>	Índice de área foliar	Altura (cm)	Tasa de elongación	Cobertura vegetal	Peso 1000 granos	Nº granos por planta	Nº granos m <sup>-2</sup>	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>	Índice de cosecha	Clorofila A ml g <sup>-1</sup>	Clorofila B ml g <sup>-1</sup>	Clorofila Total ml g <sup>-1</sup>	N biomasa seca %	Proteína en grano	Rendimiento en proteína
Índice de área foliar	0,92*															
Altura (cm)	0,95*	0,82														
Tasa de elongación	0,95*	0,80	0,96*													
Cobertura vegetal (%)	0,77	0,65	0,69	0,62												
Peso 1000 granos (g)	0,57	0,80	0,50	0,35	0,47											
Nº granos por planta	0,35	0,41	0,43	0,16	0,59	0,73										
Nº granos m <sup>-2</sup>	0,35	0,41	0,43	0,16	0,59	0,73	1***									
Rendimiento t ha <sup>-1</sup>	0,46	0,59	0,50	0,25	0,57	0,89*	0,96***	0,96***								
Índice de cosecha	-0,49	-0,23	-0,45	-0,67	-0,21	0,40	0,55	0,55	0,53							
Clorofila A ml g <sup>-1</sup>	0,87*	0,73	0,78	0,92*	0,52	0,17	-0,16	-0,16	-0,04	-0,83						
Clorofila B ml g <sup>-1</sup>	0,88*	0,75	0,92*	0,81	0,89*	0,56	0,67	0,67	0,67	-0,24	0,59					
Clorofila Total ml g <sup>-1</sup>	0,97***	0,82	0,96***	0,94*	0,85	0,47	0,43	0,43	0,48	-0,49	0,81	0,95*				
N biomasa seca %	0,80	0,58	0,80	0,93*	0,43	0,01	-0,18	-0,18	-0,11	-0,89	0,96*	0,59	0,79			
% Proteína grano	0,97***	0,95*	0,94*	0,88*	0,77	0,73	0,53	0,53	0,65	-0,28	0,73	0,91*	0,94*	0,66		
Rendimiento en proteína (t ha <sup>-1</sup> )	0,45	0,60	0,48	0,24	0,53	0,91*	0,95*	0,95*	1***	0,55	-0,05	0,64	0,45	-0,13	0,64	
Eficiencia agronómica (EA)	0,08	0,13	0,09	-0,16	0,57	0,52	0,89*	0,89*	0,79	0,65	-0,38	0,45	0,19	-0,44	0,24	0,77

Los valores son los coeficientes de Pearson de 3 repeticiones ns: efecto no significativo; \*efecto significativo  $p < 0,05$ ; \*\* efecto muy significativo  $p < 0,01$ ; \*\*\* efecto altamente significativo  $p < 0,001$

## 7. Discusión

La clorofila es un pigmento verde existente en las plantas, algunas algas y bacterias que permite llevar a cabo el proceso de fotosíntesis, que es la conversión de energía luminosa en energía química (Mathews et al., 2013).

Siendo así que el contenido de clorofila del tipo a y b evidencian que el nitrógeno juega un papel importante en la producción de este pigmento, especialmente cuando se suministran en cantidades altas, debido a que en nuestro estudio con dosis de 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup> el contenido de clorofila A incrementó en un rango de 35,25 ml g<sup>-1</sup> a 42,91 ml g<sup>-1</sup> principalmente en las fases vegetativas siendo superior a las dosis restantes aplicadas. Para la clorofila tipo B la aplicación de 300 kg N ha<sup>-1</sup> incrementó considerablemente la concentración de este pigmento a 44,12 ml g<sup>-1</sup> en la fase de elongación del tallo mientras que la mayor concentración de clorofila total fue de 50,48 ml g<sup>-1</sup> con 300 kg N ha<sup>-1</sup> en la formación de brotes laterales, es decir que la concentración de clorofila aumenta al incrementar los niveles de N, sin embargo se genera una tendencia a la disminución de estos pigmentos a lo largo del ciclo del cultivo, siendo mayor en las primeras fases de formación de brotes laterales y al inicio de la elongación del tallo.

El espectro de absorción de la clorofila A sola subestima la efectividad de ciertas longitudes de onda para conducir la fotosíntesis, esto se debe a que los pigmentos accesorios como la clorofila B con diferentes espectros de absorción también son fotosintéticamente importantes en los cloroplastos y amplifican el espectro de colores que pueden utilizarse para la fotosíntesis, ya que la clorofila A es azul verdoso y la B amarillo verdosa (Campbell & Reece, 2007). Por su parte Basra et al. (2014), cita que el contenido de clorofila fue superior en la etapa de desarrollo de inflorescencias con 2,49, 1,490 y 4,02 mg g<sup>-1</sup> para el tipo de clorofila A, B y total al aplicar 75 kg N ha<sup>-1</sup> a pesar de existir dosis superiores de 100 y 125 kg N ha<sup>-1</sup>

Durante el ciclo del cultivo, se pudo evidenciar que la concentración de nitrógeno fue decreciendo conforme la planta se desarrollaba. A los 58 dds correspondiente a la fase de formación de los primeros brotes laterales la concentración de nitrógeno fue 4,47 % con la dosis máxima de fertilizante nitrogenado, mientras que para la etapa de madurez del fruto los valores con la dosis más alta oscilaron en 1,55 %. Mansouri et al. (2021) reporta que en su investigación el mayor nivel de nitrógeno (2,35 %) en la fase de madurez fisiológica correspondió a las plantas fertilizadas con 200 kg N ha<sup>-1</sup> por lo que incidió directamente en el

aumento de la concentración de nitrógeno y de proteína. Basantes et al (2015) explica que en las primeras fases de desarrollo el cultivo necesita una mayor cantidad de este nutriente para la producción de área foliar y en la finalización de esta etapa disminuye la concentración de nitrógeno para enfocarlo en la fase de floración y posteriormente para el panojamiento y formación del grano, obteniendo en su investigación a los 60 dds una concentración de nitrógeno de 4,9 % en tanto que a los 90 dds el contenido de nitrógeno promedio fue de 2,40 % con 150 kg N ha<sup>-1</sup>

Amaliotisy et al. (2004), afirma que el nitrógeno afecta la concentración de clorofila de la hoja y la apertura de estomas, obteniéndose una mayor eficiencia fotosintética. La estrecha relación entre el aumento del contenido de clorofila y el aumento del nitrógeno se debe a que es un componente estructural de las moléculas de proteína y clorofila, lo que determina la creación de cloroplastos, debido a que el 75 % del nitrógeno de la hoja se utiliza en su formación y en la acumulación de clorofila (Hak et al., 1993 y Daughtry et al., 2000).

El índice de nutrición nitrogenada propuesto por Lemaire y Gastal (1997) permite cuantificar la intensidad tanto de la deficiencia de N como del consumo de lujo de un cultivo dado, mediante una relación entre la concentración real de N en la planta del cultivo y la concentración crítica de nitrógeno en la planta. En nuestra investigación al asociar el INN y el contenido de clorofila se presentó una mejor relación en la formación de los primeros brotes laterales, elongación del tallo, formación de inflorescencias y con mayor significancia en la fase de antesis completa ( $R^2= 0,92$ ), donde, con dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup> se obtuvo los valores más cercanos a uno que indicaron una eficiencia en el consumo del nitrógeno y un contenido de clorofila ideal de 38,95 a 39,76 ml g<sup>-1</sup>, sin embargo, la determinación del INN en la finalización de antesis podría considerarse tardía para el manejo de fertilizantes nitrogenados destinados a mejorar el rendimiento, porque la acumulación de nitrógeno destinada a la producción ocurre en fases anteriores (Debaeke et al., 2006). Caviglia y Sadras (2001) en su investigación demostraron que las mediciones de INN y clorofila proporcionaron medidas consistentes de la deficiencia de nitrógeno en los cultivos de trigo

La fertilización nitrogenada causó efectos sobre la variable altura y consecuentemente sobre la dinámica de crecimiento. La máxima altura se la alcanzó a los 150 dds con dosis de 300 kg N ha<sup>-1</sup> (217,67 cm), pues el incremento de la altura con la aplicación de las diferentes dosis en la etapa cercana a la finalización de la formación del grano no presentó grandes diferencias ya que como menciona Biswas et al. (2021) en días cercanos a la cosecha,

aplicaciones de 150 a 250 kg N ha<sup>-1</sup> resultaron en alturas similares pero significativamente mayores a las demás dosis aplicadas (50, 100, 180, 200 y 220 kg N ha<sup>-1</sup>), de igual forma tratamientos con dosis menores de aplicación, no presentaron alturas menores a 47,55 cm. Minh et al. (2022) expone que al aplicarse dosis máximas de nitrógeno de 150 kg ha<sup>-1</sup> tanto la altura y número de ramas incrementan significativamente, ya que al maximizar los niveles de aplicación de N hubo tendencias ascendentes en los parámetros de crecimiento evaluados. El aumento de dosis de nitrógeno generalmente estimula el alargamiento de las plantas y la división celular, permitiendo una mayor síntesis de auxinas y citoquininas que intervienen en el crecimiento del tallo (Basra et al., 2014). Fawy et al. (2017) cita que la altura incrementó en un 33 % cuando se aplicó 240 kg N ha<sup>-1</sup>, en este sentido el nitrógeno cumple su función de facilitador de la absorción de ciertos minerales estructurales como el calcio, que proporciona rigidez a los tejidos y sobre todo la estimulación de ciertas hormonas (Fghire et al., 2017).

En cultivos de grano como trigo, arroz, maíz y algunos forrajes, es decir en la mayoría de herbáceas, como producto de la fertilización nitrogenada, el final de la fase vegetativa correspondiente a la floración en la mayoría de las ocasiones coincide con una máxima altura del tallo, mayor número de ramificaciones y mayor área foliar (Lemaire y Gastal, 2009).

Schmöckel et al. (2017) afirman que los ácidos nucleicos y las proteínas son los componentes fundamentales para el protoplasma de las células. Por ello, la deficiencia de nitrógeno se refleja en una marcada reducción en el crecimiento de órganos, como tallos y hojas. En la tasa de elongación del tallo, al igual que en las variables de crecimiento evaluadas, un aporte de N de 300 kg ha<sup>-1</sup>, generó que las plantas tuvieran una mayor tasa de crecimiento (1,55 cm), sin embargo las diferencias no fueron significativas al aplicarse dosis menores, en estudios realizados por Kansomjet et al. (2016) la tasa de elongación fue mayor (3,29 cm), pero no significativamente diferente con otros tratamientos con niveles crecientes de nitrógeno de 312,5 kg N ha<sup>-1</sup>, esto se debe principalmente a que mientras más clorofila exista, mayor será el área foliar fotosintéticamente activa.

Al existir una mayor división celular, también se desarrolla un mayor número de hojas y ramificaciones que conducen a generar una mayor cobertura vegetal, de este modo se genera un mayor aprovechamiento e intercepción de la luz mejorando el crecimiento de las plantas (Alvar et al., 2019). Los resultados de este trabajo demostraron que la cobertura vegetal fue superior cuando se aplicó de 200 a 300 kg N ha<sup>-1</sup>, obteniéndose el porcentaje máximo a los 90 dds en la etapa cercana a la floración. Esto se debe a que, en las fases vegetativas la planta

presenta un mayor número de hojas y yemas foliares para la acumulación de asimilados que se destinarán a la etapa de formación de granos (García et al., 2019). Pero, si bien una mayor cobertura vegetal es una variable determinante para la producción, no es un factor clave para el rendimiento del cultivo (Kakabouki et al., 2018).

El IAF fue significativamente mayor en la etapa de formación de inflorescencia (3,20), con la aplicación de dosis de nitrógeno de 200 kg ha<sup>-1</sup> con una marcada diferencia respecto a la dosis de 300 kg ha<sup>-1</sup>, Almadini et al. (2019) menciona que el IAF aumentó gradualmente y las diferencias fueron significativas con tasas de fertilización de 160 kg N ha<sup>-1</sup>, siendo la dosis máxima de aplicación. Castellanos et al. (2010) señala que el alto índice de área foliar generada por elevadas cantidades de fertilizantes aplicadas a una planta, no necesariamente indica mayor productividad, puesto que las plantas que son altas podrían tener mayor cantidad de hojas, pero se reflejaría en un bajo índice de cosecha. García et al. (2017) por su parte menciona que las hojas como órganos fuente y productores de carbono, se encargan de exportar asimilados hacia los tejidos vertederos como las semillas; por este motivo, la aplicación de fuentes nitrogenadas aumenta el área foliar, la tasa de translocación y la tasa fotosintética.

En las fases vegetativas y reproductivas, principalmente en la formación del grano con dosis de 200 kg N ha<sup>-1</sup> se obtuvieron los mayores porcentajes de biomasa, el cual posteriormente disminuye en la fase cercana a la madurez del grano. Resultados similares se obtuvieron con la aplicación de nitrógeno a razón de 240 kg ha<sup>-1</sup>, mostrando los valores más altos tanto para la altura, número de ramas y biomasa, por el contrario, los resultados fueron menores cuando se suministró 80 y 160 kg N ha<sup>-1</sup> (Fawy et al., 2017; Wang et al., 2020). Esto se justificaría debido a que cuando la planta genera un área foliar alta, puede aumentar la translocación de fotosintatos, sustancia importante para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, y especialmente para la acumulación de materia seca (Kansomjet et al., 2016).

La aplicación de nitrógeno tuvo un impacto notable en los componentes del rendimiento, en particular cuando se suministró de 100 a 200 kg N ha<sup>-1</sup>, es decir que cuando se aplican dosis superiores los rendimientos disminuyen. En nuestra investigación el mayor rendimiento fue de 4,08 t ha<sup>-1</sup> con dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup>, por su parte Mendoza et al. (2016) menciona que los rendimientos fueron de 2,7 y 2,8 t ha<sup>-1</sup>, al aplicar de 100 y 200 kg N ha<sup>-1</sup>, los cuales resultaron superiores en comparación a cuando se aplicó 0 y 400 kg N ha<sup>-1</sup>, debido a que el aumento de nitrógeno incrementa también los rendimientos, pero hasta alcanzar un nivel de 200 kg N ha<sup>-1</sup>, y por encima de este nivel, los rendimientos disminuyen, ajustándose la ley de

rendimientos decrecientes. A razón de adiciones mayores de nutrientes, el elemento se absorbe en cantidades elevadas aumentando su concentración en la planta, lo que en muchas ocasiones resulta en toxicidad por parte del nutriente e incluso al antagonismo de otros, principalmente del potasio y cobre (Herrera et al., 2022).

Tanto el número de granos por planta como por  $m^{-2}$  alcanzan los resultados más altos de 22 629,02 granos y 150 865,29 granos  $m^{-2}$  cuando se suministran dosis de 100  $kg N ha^{-1}$ , ya que para el peso de 1 000 granos la dosis con mejor respuesta fue 200  $kg N ha^{-1}$  para obtener 3,12 g. Almadini et al. (2019), al aplicar 160  $kg N ha^{-1}$  obtuvieron 5 207,3 número de granos y 3,47 g para el peso de 1 000 granos. Biswas et al. (2021) menciona que, en cuanto al peso de 1 000 granos, la dosis de 250  $kg N ha^{-1}$  resultó ser la más adecuada para alcanzar el mayor peso de 3,10 g. Por su parte Kakabouki et al. (2018) expone que las plantas de quinua son excelentes absorvedoras de nitrógeno del suelo; sin embargo, ocurre lo contrario en la removilización de nitrógeno de las partes vegetativas a las semillas bajo un alto suministro de este nutriente. Por lo tanto, esto podría explicar el descenso en los componentes del rendimiento cuando se suministró 300  $kg N ha^{-1}$  en nuestra investigación.

El IC, al contrario que las demás variables de rendimiento, presentó los valores más altos cuando se fertilizó con 100  $kg N ha^{-1}$ . Basra et al. (2014) menciona que con aplicaciones de 75 a 100  $kg N ha^{-1}$  se obtuvo el mayor IC ya que cuando las dosis de nitrógeno aumentan el IC disminuye, se genera una gran producción de fitomasa y el rendimiento disminuye, de igual manera el suministro de dosis altas incide negativamente en los días para alcanzar la madurez fisiológica, ya que el nitrógeno ayuda a mantener el contenido de clorofila de la hoja, retrasando la senescencia y una mayor translocación de asimilados de la hoja a la semilla, lo que prolonga el período de llenado del grano.

La concentración de proteína en el grano comprendió de 14,09 % para el testigo y 15,40 % para dosis de 200  $kg N ha^{-1}$  valores que se encuentran dentro del rango de valores mínimos de 9,1 % y un máximo de 15,5 % establecido por González y Prado (2013) en su revisión literaria sobre aspectos biológicos y propiedades nutricionales, debido a que cuando se incrementa a 300  $kg N ha^{-1}$  el contenido de proteína disminuye a 15 %. Mansouri et al. (2021) en su estudio reporta que con aplicaciones de 200  $kg N ha^{-1}$  obtiene una mayor concentración de proteínas de 15,87 %, mientras que cuando aplica dosis mayores de 300  $kg N ha^{-1}$  la concentración disminuye a 13,13 % lo que puede deberse a que la quinua no tiene el potencial

genético para absorber más nitrógeno. La aplicación de nitrógeno cerca de la etapa de floración aumenta la absorción de nitrógeno destinado a la concentración de proteína del grano.

La eficiencia agronómica del nitrógeno (EA) es un estimador del aumento del rendimiento de la planta en base a la cantidad de nitrógeno aplicado, lo que indica que en nuestro estudio las plantas fertilizadas con  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  tuvieron una mejor capacidad de asimilación de nitrógeno para incrementar el rendimiento reflejándose en una EA de 22,22 kg de grano por cada kg de N aplicado, por su parte Kakabouqui et al. (2018) obtiene una mejor EA cuando aplicó  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Berti et al. (2000) señala que la dosis óptima de fertilizante nitrogenado para un rendimiento económico óptimo en un cultivo de quinua lo obtuvo al aplicar  $75 \text{ kg N ha}^{-1}$ , dando como resultado una EA de 13,92 kg de grano por cada kg de nitrógeno aplicado, posteriormente disminuyó a medida que la fertilización aumentó. Estableciéndose así que para cultivos de grano el EA fluctúa de 0 a 26 kg de grano por cada kg de nitrógeno aplicado (Belder et al., 2005).

## **8. Conclusiones**

- La concentración de nitrógeno foliar presentó una relación positiva con el contenido de clorofila foliar, mostrando un mejor ajuste con la clorofila A y total, indicando que el contenido de clorofila puede ser utilizado como indicador del estado de nitrógeno del cultivo de quinua.
- El contenido de clorofila A exhibió estrecha asociación con el índice de nutrición nitrogenada, principalmente durante la etapa de crecimiento vegetativo, indicando que el contenido de clorofila puede ser usado para monitorear la deficiencia o exceso de nitrógeno durante el crecimiento vegetativo de la quinua
- El crecimiento y rendimiento de la quinua fue influenciado por la dosis de nitrógeno exhibiendo un comportamiento decreciente conforme se incrementó el fertilizante; se encontró que la dosis de nitrógeno que maximizó el rendimiento con una mejor eficiencia del fertilizante fue de 100 kg N ha<sup>-1</sup> con una eficiencia agronómica de 22,22 kg de grano por cada kg de nitrógeno aplicado.

## **9. Recomendaciones**

- Considerar factores ambientales para evitar que el cultivo disminuya su rendimiento, al ser afectadas sus funciones ya sea por altas temperaturas o precipitaciones, como lo que sucedió en este estudio pues el exceso de precipitaciones contribuyó a la diseminación de enfermedades fúngicas.
- Realizar estudios posteriores que permitan identificar la dosis óptima económica, considerando diferentes fuentes de nitrógeno.



## 10. Referencias Bibliográficas

- Alfonso, G., Ochoa, S. A., & Cartagena, Y. (2017). Evaluación de deficiencias nutricionales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo invernadero. *Siembra*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.504>
- Almadini, A., Badran, A., & Alghosaibi, A. (2019). Evaluation of Efficiency and Response of Quinoa Plant to Nitrogen Fertilization levels. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 9(4), 839-849. <https://doi.org/10.36632/mejas/2019.9.4.1>
- Andrade, F. H. (1995). Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*, 41(1), 1-12. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00107-N](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)00107-N)
- Bascuñán, L., Sanhueza, C., Cifuentes, L., Reguera, M., Briones, V., Zurita, A., Álvarez, R., Morales, A., & Silva, H. (2018). Nitrogen physiology of contrasting genotypes of *Chenopodium quinoa* Willd. (Amaranthaceae). *Scientific Reports*, 8, 17524. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34656-5>
- Basra, S., Iqbal, S., & Afzal, I. (2014). Evaluating the Response of Nitrogen Application on Growth, Development and Yield of Quinoa Genotypes. *Undefined*, 16(5), 886-892.
- Bertero, H. D. (2021). Chapter 7—Quinoa. En V. O. Sadras & D. F. Calderini (Eds.), *Crop Physiology Case Histories for Major Crops* (pp. 250-281). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819194-1.00007-4>
- Biswas, P., Fatema, K., & Rahman, A. (2021). Influence of Planting Method and Nitrogen Dose on Growth and Yield of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). *Bangladesh Agronomy Journal*, 24, 83-92. <https://doi.org/10.3329/baj.v24i1.55548>
- Calvache, M., & Valle, L. (2021). Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(13), 15-28. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.95>

- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2007). *Biología*. Ed. Médica Panamericana.
- Debaeke, P., Rouet, P., & Justes, E. (2006). Relationship Between the Normalized SPAD Index and the Nitrogen Nutrition Index: Application to Durum Wheat. *Journal of Plant Nutrition - J PLANT NUTR*, 29, 75-92. <https://doi.org/10.1080/01904160500416471>
- Diez, J., Tiranti, J. A., Sadras, V. O., Acreche, M. M., Diez, J., Tiranti, J. A., Sadras, V. O., & Acreche, M. M. (2021). The critical period for grain yield in chia (*Salvia hispanica*). *Crop and Pasture Science*, 72(3), 213-222. <https://doi.org/10.1071/CP20432>
- García, M., García, J., & Deaquiz, Y. (2019). Physiological performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under agricultural climatic conditions in Boyaca, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 37(2), 144-152. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n2.76219>
- García, M., García, J., Melo, D., & Deaquiz, Y. (2017). Respuesta agronómica de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad dulce de Soracá a la fertilización en Ventaquemada-Boyacá. *Cultura Científica*, 15, Article 15.
- Geren, H. (2015). Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) under mediterranean climatic conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 20, 59-64. <https://doi.org/10.17557/.39586>
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/3a12f679-22a1-46a0-a91e-6853ca5bb5dd/>
- González, J. A., & Prado, F. E. (2013). *Quinoa: Aspectos biológicos, propiedades nutricionales y otras consideraciones para su mejor aprovechamiento*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/7314>
- Herrera, J., Ramírez, L., Guzmán, R., & Gordon, H. (2022). *Evaluación de la fertilidad del suelo y de la nutrición de los cultivos*. Científico-Técnica.

- JingJing, L., GangHua, L., LiHong, X., WuJun, Z., HuiGe, X., ShaoHua, W., LinZhang, Y., & YanFeng, D. (2014). Subdivision of nitrogen use efficiency of rice based on <sup>15</sup>N tracer. *Acta Agronomica Sinica*, *40*(8), 1424-1434.
- Kakabouki, I. P., Hela, D., Roussis, I., Papastylianou, P., Sestras, A. F., Bilalis, D. J., Kakabouki, I. P., Hela, D., Roussis, I., Papastylianou, P., Sestras, A. F., & Bilalis, D. J. (2018). Influence of fertilization and soil tillage on nitrogen uptake and utilization efficiency of quinoa crop ( *Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of soil science and plant nutrition*, *18*(1), 220-235. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005000901>
- Kirkegaard, J., Lilley, J., Brill, R., Ware, A., & Walela, C. (2018). The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research*, *222*, 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.018>
- Lake, L., Godoy-Kutchartt, D. E., Calderini, D. F., Verrell, A., & Sadras, V. O. (2019). Yield determination and the critical period of faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research*, *241*, 107575. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107575>
- Lake, L., & Sadras, V. O. (2014). The critical period for yield determination in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, *168*, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.003>
- Long, N. V. (2016). EFFECTS OF SALINITY STRESS ON GROWTH AND YIELD OF QUINOA. *Ciencia y Agricultura*, *14*(3), 7.
- Mahadevan, M., Calderini, D. F., Zwer, P. K., & Sadras, V. O. (2016). The critical period for yield determination in oat (*Avena sativa* L.). *Field Crops Research*, *199*, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.021>
- Mansouri, M., Fazel, M. A., Gilani, A., Lak, S., & Mojddam, M. (2021). EFFECT OF NITROGEN FERTILIZATION ON EFFICIENCY AND REMOBILIZATION IN

QUINOA CULTIVARS. *Annali Di Botanica*, 155-170. <https://doi.org/10.13133/2239-3129/17108>

Martínez, E., Fuentes, F., & Bazile, D. (2015). History of Quinoa: Its Origin, Domestication, Diversification, and Cultivation with Particular Reference to the Chilean Context. En *Quinoa: Improvement and Sustainable Production* (pp. 19-24). <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch2>

Mathews, C. K., Holde, K. E. V., & Appling, D. R. (2013). *Bioquímica (4a. Ed.)*. Pearson Educación.

Mendoza, E., Olivas, D., Mejía, C. M., & García, J. (2016). Fertilización nitrogenada en el rendimiento de dos variedades de quinua. *Infinitum...*, 6(1). <https://doi.org/10.51431/infinitum.v6i1.3>

Minh, N. V., Hoang, D. T., Anh, D. T. P., & Long, N. V. (2022). Effect of Nitrogen and Potassium on Growth, Yield, and Seed Quality of Quinoa in Ferralsols and Acrisols under Rainfed Conditions. *Journal of Ecological Engineering*, 23(4), 164-172. <https://doi.org/10.12911/22998993/146515>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). *Boletín Situacional Quinoa 2021*. <https://online.fliphtml5.com/ijia/mmzm/>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2022). *Informe de rendimientos objetivos de quinua 2022*. <https://online.fliphtml5.com/ijia/vlxe/>

Mujica, A. (2015). *El origen de la quinua y la historia de su domesticacion*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/5408>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011, junio). *La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial | FAO*. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/326239/>

Sandaña, P., & Calderini, D. (2018). Sandaña, P., Calderini D.F. 2018. *Source–Sink Relationships in Cereals and Legumes*. In: Meyers R. (eds) *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York, NY. First Online:03 April 2018. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6\\_1037-1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_1037-1).  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6\\_1037-1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_1037-1)

*Sistema Integrado de Clasificación Taxonómica*. (2011). Sistema Integrado de Clasificación Taxonómica.  
[https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=506567#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=506567#null)

Sosa, V., Brito, V., Fuentes, F., & Steinfort, U. (2017). Phenological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) based on the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 170, 8.

## 11. Anexos

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-F001</b>
		<b>Rev. 5</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 1 de 2</b>

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 solicitante<sup>1</sup>:** Gabriela Jiménez Jiménez y Gabriela Pineda Suquilanda  
**Dirección<sup>1</sup>:** México y Brasil **Teléfono<sup>1</sup>:** 0959759125  
**Provincia<sup>1</sup>:** Loja **Cantón<sup>1</sup>:** Loja **Correo Electrónico<sup>1</sup>:** gabymjj20@gmail.com  
**N° Orden de Trabajo:** 11-2021-303  
**N° Factura/Documento:** 012-001-1055

### DATOS DE LA MUESTRA:

<b>Tipo de muestra<sup>1</sup>:</b> Suelo	<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco	
<b>Cultivo<sup>1</sup>:</b> Quinua		
<b>Provincia<sup>1</sup>:</b> Loja	<b>Coordenadas<sup>1</sup>:</b>	<b>X:</b> ----
<b>Cantón<sup>1</sup>:</b> Loja		<b>Y:</b> ----
<b>Parroquia<sup>1</sup>:</b> San Sebastián		<b>Altitud:</b> ----
<b>Muestreado por<sup>1</sup>:</b> ----		
<b>Fecha de muestreo<sup>1</sup>:</b> 01-10-2021	<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 07-10-2021	
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 07-10-2021	<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 21-10-2021	

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	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
CIC*	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.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

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

**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



firmado digitalmente por:  
**PABLO XAVIER  
 ATAPUMA ACUNA**

**Ing. Pablo Atapuma**  
 Responsable de Laboratorio (E)  
 Suelos, Foliare 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.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

## Anexo 1. Análisis de suelo



**Anexo 2.** Preparación del terreno



**Anexo 3.** Trazado de parcelas



**Anexo 4.** Dosis de N: 0, 50, 100, 200 y 300 kg ha<sup>-1</sup>





**Anexo 5.** Siembra y fertilización



**Anexo 6.** Hojas verdaderas



**Anexo 7.** Labores culturales



**Anexo 8.** Medición de altura



**Anexo 9.** Riego por aspersion



**Anexo 10.** Medición del IAF



**Anexo 11.** Determinación de biomasa



**Anexo 12.** Determinación del contenido de clorofila



**Anexo 13.** Etapa de floración

## Anexo 14 . Certificado de traducción del resumen

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

[andrea.s.carrion@unl.edu.ec](mailto:andrea.s.carrion@unl.edu.ec)

Loja-Ecuador

Loja, 14 de febrero del 2024

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR**  
(registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463), **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD**  
**NACIONAL DE LOJA**, a petición de la parte interesada y en forma legal.

**CERTIFICA:**

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por la señorita: **Stefany Natali Sigcho González** con cédula de ciudadanía **No. 1105604746**, cuyo tema de investigación se titula: **“Evaluación de la fertilización nitrogenada y su efecto en el crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Sector la Argelia, Cantón Loja.”** ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. en Pedagogía.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

ANDREA STHEFANIA  
CARRION  
FERNANDEZ

Firmado digitalmente  
por ANDREA STHEFANIA  
CARRION FERNANDEZ  
Fecha: 2024.02.14  
16:38:45 -06'00'

**Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.**

**English Professor**