



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* var. Tunkahuan) bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada en el sector La Argelia, Loja.

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

AUTORA:

Samantha Beatriz Maita Garrido

DIRECTOR:

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD

Loja – Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 17 de febrero de 2023

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* var. Tunkahuan) bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada en el sector La Argelia, Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrónoma**, de la autoría de la estudiante **Samantha Beatriz Maita Garrido, con cédula de identidad Nro.1105665739**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.




Ing. Santiago Cristóbal Vásquez

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Autoría

Yo, **Samantha Beatriz Maita Garrido**, declaro ser la 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: 1105665739

Fecha: 16 de febrero del 2024

Correo electrónico: samantha.maita@unl.edu.ec

Teléfono: 0980910304

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, **Samantha Beatriz Maita Garrido**, declaro ser la autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* var. Tunkahuan) bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada en el sector La Argelia, Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, 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 veinte días del mes de febrero de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autora: Samantha Beatriz Maita Garrido

Cédula: 1105665739

Dirección: Colinas Lojanas

Correo electrónico: samantha.maita@unl.edu.ec

Teléfono: 0980910304

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

Dedicatoria

Dios, tus bendiciones y amor incondicional durante este proceso académico me permitió alcanzar uno de los anhelos más deseados de mi corazón. Te agradezco infinitamente por cada una de las personas que pusiste en mi camino y aportaron a mi formación tanto profesional como humana.

A mis padres, Pedro y Verónica que desde pequeña me han acompañado y me han motivado a cumplir mis objetivos, llenando mi vida de cariño y sabios consejos, los amo son mi motivación y más grande alegría. A mis queridos hermanos Luis, Jeremy y Ainhoa por ser mi cable a tierra y brindarme su amor y apoyo incondicional, ustedes me impulsan a ser mejor cada día.

A mi ángel del cielo, querido abuelo Oswaldo fuiste y serás mi principal motor para cumplir cada una de las metas que me he propuesto a lo largo de mi vida, tus palabras llenas de orgullo y motivación las tengo guardadas en mi corazón y aunque físicamente no estes acompañándome, espiritualmente sé que nunca me has dejado sola y hoy por fin después de tantos años te puedo decir con gran nostalgia y satisfacción que hemos cumplido nuestra meta más anhelada. De igual manera a mi abuela Beatriz que sin sus sacrificios, amor y oraciones, los momentos difíciles hubieran sido más grandes que mis deseos. Ustedes hicieron de mi niñez y juventud etapas que siempre quiero recordar, inculcándome valores y enseñanzas que me han permitido crecer como persona.

Samantha Beatriz Maita Garrido.

Agradecimiento

A lo largo de mi formación universitaria, fueron varios los docentes y compañeros que formaron parte de ella y amablemente me compartieron sus enseñanzas y conocimientos, agradecerles por contribuir a mi desempeño académico.

A mi director de tesis, Dr. Santiago Vásquez por su paciencia, apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo investigativo, su ayuda me permitió tener la seguridad necesaria para llevar a cabo dicho proyecto de manera responsable y constante.

A las técnicas del laboratorio de Investigación, Tania y Yahaira quienes me guiaron con paciencia y amabilidad durante el proceso de los resultados, gracias a su ayuda los culminé satisfactoriamente. De igual manera, a la Universidad Nacional de Loja por brindarme el espacio académico fundamental en mi proceso de aprendizaje.

Finalmente, a mis amigos Stefany, Johana, Manuel, Davidson, Kelvin, María, Kevin, Sayro, Dalton y Ronald quienes cada semana me alentaban a continuar y con sus ocurrencias hicieron que este proceso sea más llevadero al estar lleno de risas, salidas y buenos bailes.

Samantha Beatriz Maita Garrido

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice figuras.....	xi
Índice de tablas.....	xiii
Índice de anexos.....	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Objetivos	6
4.1. Objetivo general.....	6
4.2. Objetivos específicos.....	6
5. Marco teórico	7
5.1. Origen y distribución del cultivo de quinua.....	7
5.2. Clasificación taxonómica.....	7
5.3. Características morfológicas.....	7
5.3.1. <i>Raíz</i>	7
5.3.2. <i>Tallo</i>	8
5.3.3. <i>Hojas</i>	8
5.3.4. <i>Inflorescencia</i>	8
5.3.5. <i>Flores</i>	8
5.3.6. <i>Fruto</i>	8

5.3.7.	<i>Semilla</i>	8
5.4.	Fenología del cultivo	9
5.4.1.	<i>Fase fenológica principal 0: germinación</i>	9
5.4.2.	<i>Fase fenológica principal 1: desarrollo de la hoja</i>	9
5.4.3.	<i>Fase fenológica principal 2: formación de brotes laterales</i>	9
5.4.4.	<i>Fase fenológica principal 3: elongación o alargamiento del tallo (Omitida)</i>	9
5.4.5.	<i>Fase fenológica principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables (Omitida)</i>	9
5.4.6.	<i>Fase fenológica principal 5: aparición de inflorescencias</i>	9
5.4.7.	<i>Fase fenológica principal 6: floración</i>	10
5.4.8.	<i>Fase fenológica principal 7: desarrollo del fruto</i>	10
5.4.9.	<i>Fase fenológica principal 8: maduración</i>	10
5.4.10.	<i>Fase fenológica principal 9: senescencia</i>	10
5.5.	Requerimientos edafoclimáticos	10
5.6.	Requerimientos nutricionales	11
5.7.	Nitrógeno y su relación con el contenido de clorofila	11
5.8.	Medidor de clorofila SPAD	12
5.9.	Concentración de nitrógeno foliar.....	12
5.10.	Índice de nutrición nitrogenada.....	12
5.11.	Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN)	13
5.12.	Generación del rendimiento de quinua.....	13
5.12.1.	<i>Componentes del rendimiento</i>	13
5.12.2.	<i>Número de granos</i>	13
5.12.3.	<i>Peso de granos</i>	13
5.13.	Antecedentes	14
6.	Metodología	15
6.1.	Localización del área de estudio	15

6.2.	Metodología general.....	16
6.2.1.	<i>Tipo de investigación</i>	16
6.2.2.	Diseño experimental.....	16
6.2.3.	<i>Modelo matemático</i>	17
6.3.	Metodología para el primer objetivo específico: “Establecer la relación entre las lecturas SPAD y la concentración de nitrógeno foliar en la variedad Tunkahuan”.....	17
6.3.1.	<i>Contenido de clorofila (Lecturas SPAD)</i>	18
6.3.2.	<i>Concentración de nitrógeno foliar</i>	18
6.3.3.	<i>Relación entre el clorofilómetro (SPAD) y la concentración de N foliar</i>	18
6.3.4.	<i>Índice de nutrición nitrogenada (INN)</i>	18
6.4.	Metodología para el segundo objetivo específico: “Analizar el crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua en respuesta a la fertilización nitrogenada”.....	19
6.4.1.	<i>Altura de la planta</i>	19
6.4.2.	<i>Dinámica de crecimiento</i>	19
6.4.3.	<i>Tasa de elongación del tallo</i>	19
6.4.4.	<i>Índice de área foliar (IAF)</i>	20
6.4.5.	<i>Biomasa aérea</i>	20
6.4.6.	<i>Cobertura vegetal</i>	20
6.4.7.	<i>Número de granos por planta y por m²</i>	20
6.4.8.	<i>Peso de 1 000 granos</i>	20
6.4.9.	<i>Índice de cosecha (IC)</i>	20
6.4.10.	<i>Eficiencia agronómica (EA)</i>	21
6.5.	Análisis estadístico	21
7.	Resultados	22
7.1.	Resultados para el primer objetivo.....	22
7.1.1.	<i>Lecturas SPAD (Clorofila)</i>	22
7.1.2.	<i>Concentración de nitrógeno foliar (%)</i>	22
7.1.3.	<i>Relación entre las lecturas SPAD y la concentración de N</i>	23

7.1.4.	<i>Relación entre las lecturas SPAD y el índice de nutrición nitrogenada (INN)</i>	24
7.2.	Resultados para el segundo objetivo.....	25
7.2.1.	<i>Altura de la planta y dinámica de crecimiento</i>	25
7.2.3.	<i>Biomasa aérea</i>	26
7.2.4.	<i>Índice de área foliar (IAF)</i>	27
7.2.5.	<i>Cobertura vegetal</i>	27
7.2.6.	<i>Componentes del rendimiento e índice de cosecha</i>	28
7.2.7.	<i>Eficiencia Agronómica (EA)</i>	29
7.2.8.	<i>Correlaciones entre variables evaluadas</i>	30
8.	Discusión	32
9.	Conclusiones	37
10.	Recomendaciones	38
11.	Bibliografía	39
12.	Anexos	48

Índice de figuras

- Figura 1.** Mapa de la ubicación geográfica del área de estudio. 15
- Figura 2.** Diseño Experimental de la implementación del cultivo de quinua. 17
- Figura 3.** Medias del contenido de clorofila obtenidas a partir de lecturas SPAD en plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente expresan que no hay diferencias estadísticas significativas según el test de Tukey ($p < 0,05$). 22
- Figura 4.** Medias del 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 el test de Tukey ($p > 0,05$). 23
- Figura 5.** Medias de la relación del contenido de nitrógeno (%) y las lecturas SPAD en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Los símbolos morados representan las etapas fenológicas iniciales correspondientes a la formación de los primeros brotes laterales hasta el alargamiento del tallo y los azules a las etapas continuas como la aparición completa de inflorescencias hasta la madurez del fruto. 23
- Figura 6.** Relación entre índice de nutrición nitrogenada y las lecturas SPAD en quinua bajo diferentes dosis de fertilización con N. Los signos morados representan las etapas fenológicas iniciales correspondientes a la formación de los primeros brotes laterales hasta el alargamiento del tallo y los azules a las etapas continuas como la aparición de inflorescencias hasta la madurez del fruto. 24
- Figura 7.** Efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada en la altura (cm) de plantas de quinua). Las medias obtenidas de los distintos tratamientos con distintas letras en línea vertical son diferentes estadísticamente con la prueba de Tukey ($p < 0,05$)... 25
- Figura 8.** Tasa de elongación del tallo en plantas de quinua var. Tunkahuan bajo el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Cada columna representa el promedio de la fórmula ajustada a los datos de la altura y las barras en cada columna es el error estándar de la media. 26
- Figura 9.** Acumulación de biomasa aérea (g.m^{-2}) en plantas de quinua var. Tunkahuan bajo el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada, durante el ciclo fenológico del cultivo. Las medias obtenidas de los distintos tratamientos con distintas letras en línea vertical son diferentes estadísticamente con la prueba de Tukey ($p < 0,05$)... 26

- Figura 10.** Índice de área foliar en plantas de quinua var. Tunkahuan bajo el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada, a partir de los datos de área foliar ajustados a la fórmula. Las medias obtenidas de los distintos tratamientos con distintas letras en línea vertical son diferentes estadísticamente con la prueba de Tukey ($p < 0,05$)..... 27
- Figura 11.** Porcentaje de cobertura vegetal evaluada desde los 30 DDS hasta los 90 DDS en plantas de quinua var. Tunkahuan con diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Las medias obtenidas de los distintos tratamientos con distintas letras en línea vertical son diferentes estadísticamente con la prueba de Tukey ($p < 0,05$)..... 28
- Figura 12.** Eficiencia agronómica (EA) en quinua var. Tunkahuan bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Letras iguales sobre cada barral no muestran diferencia significativa mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)..... 29

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la quinua (ITIS, 2011).....	7
Tabla 2. Etapas fenológicas de la escala BBCH determinadas para la toma de datos de las variables.	18
Tabla 3. Relación entre el índice de nutrición nitrogenada y las lecturas SPAD en plantas de quinua bajo el efecto de diferentes tratamientos nitrogenados en 6 momentos o etapas fenológicas del cultivo: 58 DDS (formación de los primeros brotes laterales, 72 DDS (elongación del tallo, 80 DDS (aparición completa de inflorescencias), 96 DDS (anthesis completa), 111 (llenado del grano) y 149 DDS (madurez del fruto).	24
Tabla 4. Medias de los componentes de rendimiento, índice de cosecha (IC), y % de proteína del grano muestreadas en quinua variedad Tunkahuan.....	29
Tabla 5. Correlaciones de las variables evaluadas	31

Índice de anexos

Anexo 1. Delimitación de parcelas.	48
Anexo 2. Pesaje y dosificación de Urea al 46%.....	48
Anexo 3. Siembra a chorro continuo de semillas.....	48
Anexo 4. Emergencia de semillas.	49
Anexo 5. Medición de altura (cm).	49
Anexo 6. Registro de lecturas SPAD.	49
Anexo 7. Medidor de Área foliar.	50
Anexo 8. Pesaje de las muestras.	50
Anexo 9. Secado de las muestras en estufa.....	50
Anexo 10. Cosecha	51
Anexo 11. Registro lecturas SPAD durante la fase de floración.	51
Anexo 12. Aplicación de urea previo a la siembra.	51
Anexo 13. Antesis completa en plantas de quinua var. Tunkahuan.....	51
Anexo 14. Ficha técnica de la Urea.	52
Anexo 15. Escala fenológica BBCH elaborada por (Sosa et al., 2017).	53
Anexo 16. Certificado de traducción del resumen.	54
Anexo 17. Análisis de suelo.....	56

1. Título

Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* var. Tunkahuan) bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada en el sector La Argelia, Loja.

2. Resumen

La quinua es un cultivo de gran interés agronómico y económico, debido a su alto valor nutritivo y adaptativo a condiciones adversas es considerado como cultivo potencial para contribuir a la seguridad alimentaria a nivel mundial. Dentro del manejo del cultivo, la gestión del nitrógeno es crucial debido a que este es uno de los nutrientes con mayor demanda, el cual puede condicionar el crecimiento, productividad y calidad del grano. En la actualidad existen escasos antecedentes sobre el diagnóstico de la nutrición nitrogenada en quinua, información de vital importancia para evitar deficiencias y excesos del fertilizante. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta agrofisiológica de la quinua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Se estableció un experimento en campo con un diseño completamente al azar con 5 tratamientos: 0, 50; 100; 200 y 300 kg N ha⁻¹, cada uno con 3 repeticiones. La concentración de nitrógeno en la planta se incrementó en los estados iniciales de crecimiento, y conforme aumentó la biomasa, el nitrógeno disminuyó por efecto de dilución. Se encontró una relación positiva lineal entre las lecturas SPAD, la concentración de nitrógeno de plantas y el índice de nutrición nitrogenada. Por otro lado, la fertilización nitrogenada exhibió un claro efecto sobre el crecimiento de las plantas, incrementado significativamente la biomasa, altura de planta, área foliar con las dosis mayores. El nitrógeno también modificó el rendimiento y sus componentes, la dosis de 100 kg ha⁻¹ permitió alcanzar un rendimiento máximo de 4 t ha⁻¹, además de una óptima partición de la biomasa hacia los granos con un índice de cosecha de 0,5 y una mejor eficiencia agronómica del nitrógeno. Respecto a la calidad del grano el nitrógeno no mostró efecto significativo sobre la concentración de proteína.

Palabras claves: desarrollo, clorofila, fases fenológicas, número de granos, peso de granos, Tunkahuan.

Abstract

Quinoa is a crop of great agronomic and economic interest. Due to its high nutritional value and adaptability to adverse conditions, it is considered a potential crop to contribute to food security worldwide. Within crop management, nitrogen management is crucial because this is one of the nutrients with the highest demand, which can condition the growth, productivity and quality of the grain. At present, there is little information on the diagnosis of nitrogen nutrition in quinoa, information of vital importance to avoid deficiencies and excesses of the fertilizer. In this context, the present study aimed to evaluate the agrophysiological response of quinoa under different levels of nitrogen fertilization. A field experiment was established with a completely randomized design with 5 treatments: 0, 50, 100, 200 and 300 kg N ha⁻¹, each with 3 replications. Plant nitrogen concentration increased in the early stages of growth, and as biomass increased, nitrogen decreased due to dilution effect. A positive linear relationship was found between SPAD readings, plant nitrogen concentration and nitrogen nutrition index. On the other hand, nitrogen fertilization exhibited a clear effect on plant growth, significantly increasing biomass, plant height and leaf area at higher doses. Nitrogen also modified yield and its components; the dose of 100 kg ha⁻¹ allowed reaching a maximum yield of 4 t ha⁻¹, in addition to an optimal partitioning of biomass towards grains with a harvest index of 0,5 and a better agronomic efficiency of nitrogen. Regarding grain quality, nitrogen had no significant effect on protein concentration.

Key words: development, chlorophyll, phenological stages, kernel number, kernel weight, Tunkahuan.

3. Introducción

Chenopodium quinoa Willd. (quinua) es un grano andino de alto valor nutritivo cultivado tradicionalmente como alimento en diversas partes del mundo, principalmente en Sudamérica (Parwada et al., 2020), actualmente los países con mayor producción son Perú, Bolivia y Ecuador (Vizcaíno et al., 2021). Debido a sus múltiples bondades nutritivas, versatilidad agronómica y adaptabilidad a condiciones ambientales adversas (Bojanic, 2013), durante los últimos años organismos públicos y privados nacionales e internacionales se han unido para potenciar el cultivo, la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) declaró al 2013 el año internacional de la quinua tras reconocerla como la principal alternativa de seguridad y soberanía alimentaria en diferentes regiones del mundo (García et al., 2018).

En Ecuador el cultivo ocupa alrededor de 5 239 ha, distribuidas en 6 provincias de la región andina: Carchi (1 818 t), Chimborazo (1 702 t), Pichincha (775 t), Cotopaxi (552 t), Imbabura (37 t) y Azuay (4 t) que conjuntamente producen aproximadamente 4 889 toneladas anuales ($0,93 \text{ t ha}^{-1}$) (SIPA, 2021), un promedio inferior con respecto a Perú y Bolivia, si se considera que el Ecuador puede alcanzar un rendimiento promedio de 30 a 50 % mayor (Peralta y Mazón, 2014), pudiendo incluso superar las 8 t ha^{-1} (Gómez y Aguilar, 2016).

Generalmente, los bajos rendimientos en el cultivo de quinua se deben a la acción de factores críticos como el déficit nutricional y la escasa fertilización. Esta última, es una de las principales prácticas agronómicas, la cual permite otorgarle a la planta los nutrientes requeridos (García et al., 2018) ; entre ellos el N, esencial en la formación de ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas y la molécula de clorofila que interviene en la actividad fotosintética (Parra et al., 2017) y refleja la condición nitrogenada del cultivo, al correlacionarse positivamente con la cantidad de N en la planta (Sánchez et al., 2015).

La fertilización con N ha mejorado significativamente la productividad y la calidad en granos (Almadini et al., 2019), sin embargo en la actualidad existen escasos antecedentes sobre la determinación de la dosis óptima de fertilización nitrogenada en diferentes etapas fenológicas del cultivo, información que es de vital importancia para evitar aplicaciones innecesarias de fertilizantes, lixiviación de nitratos, pérdidas económicas e incrementos en el impacto ambiental. Por esta razón, disponer de medidores de clorofila no destructivos, de bajo costo y altamente correlacionados con el contenido de nitrógeno foliar en genotipos locales bajo las condiciones interandinas de Ecuador, constituye un método favorable a considerar, cuando se requiera precisar rápidamente de criterios para monitorear deficiencias de N o a su vez determinar la efectividad de fertilizantes nitrogenados.

Por tanto, la presente propuesta de investigación se justifica en razón de que la Universidad Nacional de Loja está directamente vinculada a la línea de investigación denominada “Sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria” e inmersa en el proyecto institucional financiado por la Dirección de Investigación “Bases fisiológicas del uso de la radiación solar y el nitrógeno en genotipos de quinua ecuatoriana”.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar la respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* var. Tunkahuan) bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada en el sector La Argelia, Loja.

4.2. Objetivos específicos

- Establecer la relación entre las lecturas SPAD y la concentración de N foliar en la variedad Tunkahuan.
- Analizar el crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua en respuesta a la fertilización nitrogenada.

5. Marco teórico

5.1. Origen y distribución del cultivo de quinua

El origen de la quinua se sitúa en las inmediaciones del lago Titicaca y desde allí el cultivo se extendió a todos los países andinos. La quinua tiene una considerable versatilidad para adaptarse a una amplia gama de pisos agroecológicos, pues se adapta a climas que van desde desérticos hasta cálidos y secos. La distribución geográfica de la quinua en América del Sur va desde los 5° Latitud N, hasta los 43° S (Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y Chile), y su distribución altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 4 000 m.s.n.m., con gran diversidad genética en el altiplano de Perú y Bolivia (Cuenca del Lago Titicaca) (Apaza et al., 2013).

5.2. Clasificación taxonómica

La quinua es una especie perteneciente a la familia Amaranthaceae, género *Chenopodium*, y tiene una amplia distribución mundial, con cerca de 300 especies (Apaza et al., 2013). De acuerdo al Sistema Integrado de Información Taxonómica, la quinua tiene la siguiente clasificación (Tabla 1):

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la quinua (ITIS, 2011).

Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	<i>Chenopodium</i>
Especie	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

5.3. Características morfológicas

5.3.1. Raíz

Es de tipo pivotante, consta de una raíz principal y varias laterales o secundarias muy ramificadas. Su longitud varía de 0,8 a 1,5 m, de acuerdo al genotipo, nutrición, humedad y tipo de suelo en el que se encuentre dependerá su desarrollo y crecimiento (Gómez y Aguilar, 2016).

5.3.2. Tallo

Se caracteriza por ser cilíndrico y angular en la base de hojas y ramas, su altura está en dependencia de la variedad cultivada, densidad de siembra y fertilización del medio, pues varía de 0,5 m a 3 m. Posee una corteza compacta formada por tejidos duros y lignificados. En la etapa de cosecha se cae, quedando vacío y hueco (Gómez y Aguilar, 2016).

5.3.3. Hojas

Son alternas, están constituidas por una lámina de forma romboidal, triangular o lanceolada, medianamente gruesa y carnosa, cubierta por cristales de oxalato de calcio tanto en el haz como en el envés de la hoja, pudiendo ser de color rojo, morado o cristalino. También están formadas por un peciolo largo, fino y acanalado en la parte apical de diferente longitud, plana u ondulada, algo gruesa, carnosa y tierna (Apaza et al., 2013).

5.3.4. Inflorescencia

Es una panoja común formada de un eje central bien desarrollado y ramificaciones secundarias, terciarias y pedunculadas que sujetan los glomérulos que varían de 80 a 120 en cada una. Presenta una forma entre laxa (amarantiforme) y compacta (glomerulada). Su longitud es variable, dependiendo del genotipo y fertilidad del suelo, alcanzando alturas de 30 a 80 cm de longitud con diámetro de 5 a 30 cm. Su rendimiento promedio en semillas es de 100 a 3 000, mientras que las más grandes producen 500 g por panoja (Apaza et al., 2013).

5.3.5. Flores

Se caracterizan por ser pequeñas, su tamaño es de 3 mm, son incompletas, sésiles y carentes de pétalos, algunas veces hermafroditas, pistiladas (femeninas) y androestériles. Poseen un 10 % de polinización cruzada (Apaza et al., 2013).

5.3.6. Fruto

Es un aquenio cuya forma es cilíndrica y lenticular, medianamente ensanchado hacia el centro. Contiene una única semilla de tonalidad variable la cual se encuentra envuelta en el perigonio en su totalidad, y fácilmente se desprende a la madurez (Apaza et al., 2013).

5.3.7. Semilla

Se caracteriza por tener tres partes bien diferenciadas, la primera es el epispermo que recubre la semilla que se encuentra adherida al pericarpio. La segunda parte es el embrión,

formado por un par de cotiledones y la radícula, mismos que ocupan el 60 % de la semilla. Finalmente, el perispermo al ser el principal tejido, permite almacenar y reemplazar al endospermo, es de color blanquecino, constituye el 30 % del volumen de la semilla y se compone mayoritariamente de granos de almidón (Gómez y Aguilar, 2016).

5.4. Fenología del cultivo

De acuerdo con la escala BBCH descrita por Sosa et al. (2017) (Anexo 15), las etapas o fases fenológicas de quinua son las siguientes:

5.4.1. Fase fenológica principal 0: germinación

La etapa inicial que corresponde al crecimiento, describe la germinación de la semilla hasta su emergencia sobre de la superficie del suelo, seguido del inicio de la imbibición del embrión.

5.4.2. Fase fenológica principal 1: desarrollo de la hoja

Inicia con la separación de cotiledones (etapa 10) dando lugar al desarrollo de hojas fotosintéticas en el brote principal, las cuales durante el crecimiento secundario emergen en pares, siendo el primer par de hojas codificadas nombradas como estado 11 y así sucesivamente. Únicamente son visibles cuando sus láminas se dividen entre sí.

5.4.3. Fase fenológica principal 2: formación de brotes laterales

Se da lugar a la formación de brotes periféricos, los cuales pueden aparecer antes o después de la inflorescencia, según el genotipo. Los brotes son considerados visibles siempre que sean mayores a 1 cm de longitud. Así mismo, el primer lateral se codifica como etapa 21, seguido del brote de la siguiente etapa, que es la 22 y así sucesivamente.

5.4.4. Fase fenológica principal 3: elongación o alargamiento del tallo (Omitida)

5.4.5. Fase fenológica principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables (Omitida)

5.4.6. Fase fenológica principal 5: aparición de inflorescencias

Describe de forma cualitativa el proceso de desarrollo de la inflorescencia o panoja en el brote principal (etapa 1). Inicialmente, los botones de la inflorescencia no son visibles (etapa 50) ya que están cubiertos por hojas jóvenes, mientras que después de la elongación de las hojas, la panícula es visible desde la parte superior (etapa 51), cuando la inflorescencia queda desprovista de hojas y sus flores siguen cerradas.

5.4.7. Fase fenológica principal 6: floración

Describe el desarrollo de las flores que se encuentran dentro de la inflorescencia principal. Cuando se presentan las primeras anteras comienza la floración (etapa 60). Seguidamente se da lugar al “final temprano de la floración”, que empieza con las anteras senescentes iniciales de las principales flores de la inflorescencia (etapa 67). En la etapa 69, el color de la inflorescencia cambia en el que el color del perigonio tomó durante el transcurso de la floración dependiendo del genotipo. Finalmente, cuando las anteras visibles de la inflorescencia principal envejecen, se considera que la antesis está completa.

5.4.8. Fase fenológica principal 7: desarrollo del fruto

El desarrollo del fruto inicia con el cuajado (etapa 70) el cual consiste en el engrosamiento de ovarios y la aparición de los primeros granos que son visibles, pero no se considera continuar con el sistema de codificación BBCH, donde se usa como medida para el desarrollo de la fruta en campo el porcentaje del diámetro final del grano, que es de aproximadamente 2 mm.

5.4.9. Fase fenológica principal 8: maduración

A lo largo del proceso de maduración, en el aquenio el contenido de agua varía, por lo que la textura se modifica y el color del pericarpio cambia a beige, negro o rojo. Previo a medir la maduración (etapa 8), el grano se categoriza como lechoso (etapa 81), grueso (etapa 85) y maduro (etapa 89). El estado 81 (lechoso) pertenece a los granos con pericarpio verde que liberan un contenido líquido de color blanco, los granos del estado 89 por su parte, son difíciles de triturar y su contenido es seco; cuando el pericarpio tiene color beige, negro y rojo se pueden cosechar.

5.4.10. Fase fenológica principal 9: senescencia

La senescencia comienza en las hojas basales (etapa 91) y avanza hacia la parte superior, el tallo permanece verde (etapa 93). Seguidamente, el tallo se torna de color marrón y las hojas restantes también (etapa 95). Finalmente, la planta muere (etapa 97), y se cosecha el producto (etapa 99).

5.5. Requerimientos edafoclimáticos

La quinua es tolerante a una amplia gama de condiciones climáticas. Sin embargo, entre 10 y 18 °C son las temperaturas más adecuadas (Vilca y Carrasco, 2013). El rango óptimo de precipitación fluctúa de 500 a 800 mm, con un 40 % de humedad relativa en la

región interandina para un desarrollo satisfactorio del cultivo (Gómez y Aguilar, 2016). Crece desde el nivel del mar hasta más de los 4 000 m.s.n.m. (Vilca y Carrasco, 2013), con menos de 12 horas de luz diarias en el hemisferio sur, principalmente en el Altiplano (Izquierdo et al., 2001). No obstante, para un desarrollo favorable del cultivar se requiere principalmente de suelos aireados, como los francos y franco-arenosos, que poseen gran contenido de materia orgánica (Vilca y Carrasco, 2013).

5.6. Requerimientos nutricionales

La quinua es una planta que requiere de nutrientes como nitrógeno, calcio, fósforo y potasio principalmente, por lo que precisa de una buena y adecuada fertilización dependiendo del genotipo y el contenido de nutrientes presentes en los suelos destinados a la siembra, labores culturales y el nivel de producción que se planea obtener. La mayor absorción de N, P, K, Ca y Mg se da en las flores y luego en otros órganos como tallos y hojas, tendiendo a acumularse entre los 20 hasta los 80 días después de la siembra (Calvache y Valle, 2021).

En el cultivo de quinua, la aplicación de fertilizantes nitrogenados puede mejorar significativamente sus propiedades vegetativas y de rendimiento, lo que está relacionado con el papel decisivo del N en la estimulación de las actividades metabólicas, acelerando la tasa de productos asimilados, lo que conlleva a la obtención de mayores rendimientos cualitativos y cuantitativos (Morillo et al., 2020). De igual manera, proporcionar una cantidad adecuada de N en el momento apropiado para el crecimiento de las plantas determina un favorable crecimiento y producción (Garrido et al., 2013).

5.7. Nitrógeno y su relación con el contenido de clorofila

La quinua necesita un gran aporte de nitrógeno en diferentes niveles a lo largo de sus etapas de crecimiento (Biswas et al., 2021). A medida que aumenta el suministro de nitrógeno, las proteínas sintetizadas a partir de los aminoácidos aportan al crecimiento del tejido foliar, incrementando el área fotosintética, por lo que se ha encontrado una correlación positiva entre el suministro de nitrógeno y el área foliar disponible, aumento de la síntesis de proteínas y protoplasma (Basantes et al., 2015).

La clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con los niveles de N y, por lo tanto, refleja el estado nutricional del nutriente. El N es necesario para la síntesis de la clorofila y, como parte de esta molécula, participa en el proceso de la fotosíntesis. Bajo cantidades adecuadas de N en la planta, se producen hojas de color verde oscuro debido a su alto contenido de clorofila, lo que facilita la absorción de la energía luminosa necesaria para

iniciar la fotosíntesis. En cambio, la reducción del elemento acorta el periodo de floración (Parra et al., 2017).

5.8. Medidor de clorofila SPAD

El medidor de clorofila SPAD-502 (Konica Minolta.) es un espectrofotómetro portátil utilizado para medir el color verde de las hojas (estimación del contenido de clorofila) y determinar el estado de nitrógeno en las plantas, de forma no destructiva. El color verde de la hoja está estrechamente relacionado con la clorofila, que a su vez se relaciona con el N en hoja (Caballero et al., 2015).

El medidor SPAD mide la diferencia de luz transmitida por la hoja a 650 nm, pico de absorción de la clorofila, y a 940 nm, valor de referencia en la zona del infrarrojo que depende solamente de la estructura de la hoja. El instrumento calcula el valor SPAD que es proporcional a la absorción relativa entre las dos longitudes de onda, así mismo, al utilizar este medidor se deben tomar en cuenta varios factores como el tiempo de medición, irradiación y el estado hídrico de la planta. Por tanto, esta técnica contribuye decisivamente sobre la fertilización nitrogenada (Rivacoba, 216). En ese sentido, un diagnóstico preciso de la nutrición nitrogenada es fundamental para mejorar el manejo del cultivo y evitar limitaciones en el crecimiento y producción de quinua (Caballero et al., 2015).

5.9. Concentración de nitrógeno foliar

Los métodos Kjeldahl y Dumas son considerados aplicables para determinar la concentración de N foliar. Kjeldahl es considerado en la actualidad el método oficial más usado, este realiza una digestión ácida a 420 °C con ácido sulfúrico y catalizadores requiriendo un tiempo significativo de hasta 10 horas. La reacción da lugar al sulfato de amonio, que en exceso de hidróxido de sodio da lugar a amoníaco el cual se destila y titula para determinar el contenido de N en la muestra a estudiar (Lanza et al., 2016).

5.10. Índice de nutrición nitrogenada

El índice de nutrición nitrogenada (INN) se define como la relación que existe entre la concentración de N actual para una determinada fase fenológica del cultivo y la curva de dilución crítica que no limita la producción de biomasa para el mismo periodo o etapa (Boga, 2014).

5.11. Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN)

Indica las unidades de incremento en rendimiento económico de un cultivo por unidad del fertilizante aplicado. Para el cálculo de EA se requiere el establecimiento de una parcela en omisión del nutriente estudiado. Por tanto, la eficiencia agronómica es la capacidad que posee un sistema agrícola para alcanzar los rendimientos máximos del cultivo con la inversión mínima de insumos y recursos tales como: agua, tierra, fertilizantes, energía, etc. (Arteaga et al., 2019).

5.12. Generación del rendimiento de quinua

5.12.1. Componentes del rendimiento

Los componentes numéricos que determinan el rendimiento de los cultivos son el número granos por unidad de superficie y su peso unitario (Díaz et al., 2011)

5.12.2. Número de granos

Es el principal componente asociado con el rendimiento, que responde a los cambios en las tasas de crecimiento de los cultivos durante los períodos críticos. La relación se caracteriza por la zona de respuesta positiva del número de granos adheridos ante aumentos en la tasa de crecimiento, a un valor a partir del cual el aumento del número de granos fijados se hace significativamente menor. Comportamiento relacionado con el estado fisiológico de cada planta de cultivo en torno a la floración, condición que se refleja y determina su crecimiento durante el periodo crítico (Eyherabide et al., 2012).

En la quinua este componente posee dos etapas: la fase vegetativa que determina el número de plantas por unidad de superficie y el número de ramas por planta, y una fase o etapa reproductiva que determina el número de flores por planta y el número de granos por cada panoja. Dado que la cantidad de granos se fija en diferentes etapas específicas del ciclo de cultivo se determina que el valor del componente generado depende de la relación fuente-destino en dicha instancia, ya que determina la tasa de crecimiento en el cultivo, la tasa de la supervivencia generacional y la composición numérica (Satorre et al., 2004).

5.12.3. Peso de granos

El segundo componente del rendimiento o peso del grano está determinado por el lapso del período de llenado y la tasa de acumulación de materia seca que tiene tres etapas. La primera dura desde el momento de la fecundación del ovario hasta unas dos semanas posteriores. Durante esta fase, conocida como fase “lag” o tardía, la materia seca del grano

aumenta muy poco, pero la división celular está activa, lo que determina el número de células endospermáticas y amiloplastos que componen los sitios de deposición de almidón. Así mismo, en esta fase queda también determinado el tamaño potencial del grano, el cual depende del número de células endospermáticas y gránulos de almidón diferenciados que determinan la capacidad posterior de almacenamiento de granos (Eyherabide et al., 2012). En la segunda fase, llamada fase de “llenado efectivo”, el grano incrementa continuamente su peso seco sostenidamente de forma lineal y acumula más del 80 % de su peso final. En la etapa final, el llenado cae notoriamente a cero cuando se alcanza la madurez fisiológica, los haces vasculares que conectan al grano con la planta madre cuando este alcanza su peso seco final pierden funcionalidad (Eyherabide et al., 2012).

5.13. Antecedentes

La quinua requiere un importante aporte de nitrógeno para incrementar el rendimiento y calidad del grano, a pesar de ello, existe una escasa información sobre los niveles óptimos y diagnóstico temprano de la fertilización nitrogenada en genotipos locales de quinua bajo condiciones agroclimáticas de la provincia de Loja. No obstante, hay antecedentes que indican que aplicaciones específicas del nutriente en determinados momentos favorecen la optimización de recursos y rentabilidad del cultivo.

Según Al-Naggar et al. (2017) cuando se realizan aplicaciones de 160 kg N ha⁻¹, variables como la altura, área foliar y diámetro del tallo incrementan alcanzando resultados de 75,9 cm, 22,12 cm² y 2,02 cm respectivamente. De igual manera, se obtuvieron promedios de 66,56 g de peso fresco y 18,11 g de peso seco por planta, un contenido de clorofila (SPAD) favorable de 70,28 e incremento en el número y peso de granos/planta. Lo cual difiere con Basra et al. (2014), quienes mencionan que aplicaciones al suelo de entre 75 y 125 kg N ha⁻¹ mejoran el contenido de clorofila, pero 75 kg N ha⁻¹ es una dosificación óptima para lograr los valores máximos de rendimiento económico. Resultados similares fueron determinados por Bascuñán y Godoy et al. (2018), quienes afirman que una fertilización nitrogenada especialmente con dosis de 75-125 kg N ha⁻¹ incrementaron la longitud de la panícula principal produciendo un máximo número de granos, número de panículas por planta, cosecha y biomasa de los genotipos empleados.

No obstante, Geren (2015), concluyó que entre 150 y 160 kg N ha⁻¹ es el mejor nivel de suministro de N al suelo para el rendimiento de grano de quinua (2,95 t ha⁻¹) y contenido de proteína (16 %). Por otro lado, Mendoza Nieto et al. (2016), frente a la aplicación de distintas dosis de N mencionan que, en dependencia de la variedad y de las condiciones

edafoclimáticas del lugar, la aplicación de 100 kg ha^{-1} de nitrógeno permite potenciar el rendimiento del cultivo, pero cuando este llega a los 200 kg ha^{-1} se observa que el rendimiento alcanza su punto máximo para luego disminuir sustancialmente, por efecto depresivo.

De acuerdo a estudios realizados en trigo, Sorbet Pezonaga (2013), informa que el estado nutricional del cultivo está relacionado con el contenido de clorofila en la hoja y este a su vez, con la concentración de N foliar, por lo que resulta de gran utilidad su determinación con métodos que proporcionen resultados rápidos y no destructivos como los medidores de clorofila SPAD-502®. Jiang et al. (2022), indican que en el cultivo de quinua las lecturas SPAD no solo se relaciona con el aumento del número de hojas y el contenido de clorofila sino también existe una relación positiva con el diámetro y fuerza del tallo, el número de ramas y rendimiento del cultivo, variables que pueden verse afectadas por diversos factores edafoclimáticos como la salinidad, lo que disminuye potencialmente el contenido de clorofila.

6. Metodología

6.1. Localización del área de estudio

La presente investigación se desarrolló en la Quinta Experimental Docente la Argelia (QEDA) de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en el cantón y provincia de Loja, localizada geográficamente a $4^{\circ}02'19,2'' \text{ S } 79^{\circ}12'00,6'' \text{ O}$ (Figura 1), a una altitud de 2 150 m.s.n.m. El área de estudio tiene una temperatura promedio de 18°C , precipitación media anual de 1 058 mm. Los suelos generalmente son ácidos ya que poseen un pH de 4,5 a 6 y su clase textural es de tipo franco limoso.

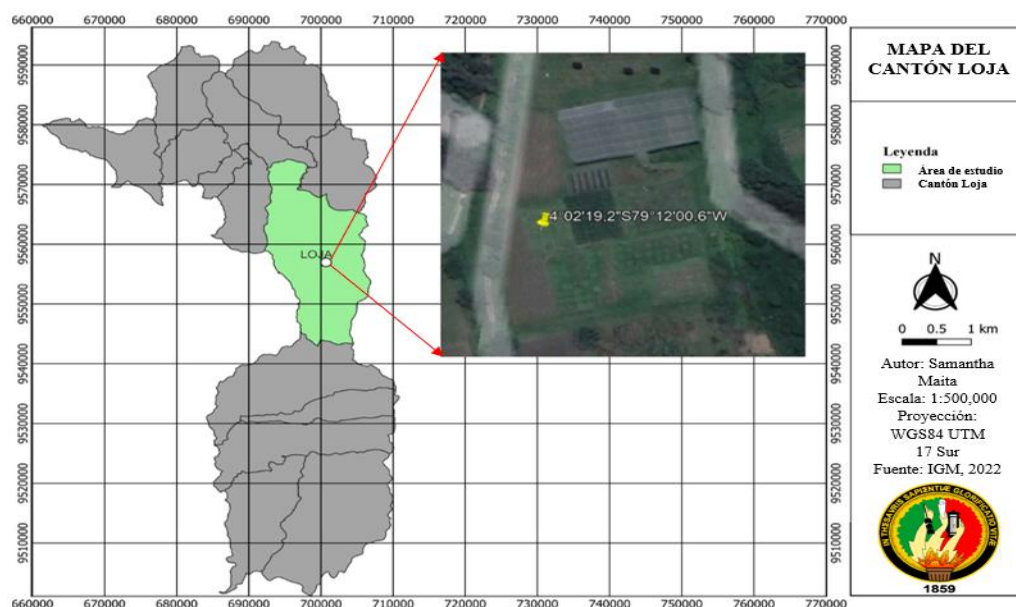


Figura 1. Mapa de la ubicación geográfica del área de estudio.

6.2. Metodología general

Para la implementación del cultivo inicialmente se preparó el terreno con actividades de arado y rastra. Seguidamente, se delimitaron los surcos y parcelas (Anexo 1) con su respectivo etiquetado de identificación, en la siembra se utilizaron genotipos de quinua var. Tunkahuan adquiridos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP), los cuales fueron sometidos a una prueba de germinación previo a la siembra realizada a chorro continuo (Anexo 3) mismas que garantizaron una emergencia por encima del 90 % (Anexo 4). A lo largo del desarrollo del cultivo se proporcionó riego según las condiciones climáticas de la zona de estudio y se realizaron controles culturales, de deshierbe además de 2 controles químicos en las fases de elongación del tallo y formación de inflorescencia (Tabla 3) para disminuir la presencia de *Diabrotica* sp. y *Peronospora* sp se aplicó 25 cm³ de un insecticida y 10 cm³ de fungicida cuyos principios activos fueron Lambdacihalotrina + Tiametoxam y Dicofenazol respectivamente. Finalmente, de acuerdo a los requerimientos del cultivo según lo recomendado por Calvache et al. (2021) y a partir del análisis de suelo (Anexo 17) previamente realizado por parte del proyecto de investigación se fertilizó con 2,2 kg de óxido de potasio (K₂O) para corregir las deficiencias nutricionales del área de estudio.

6.2.1. Tipo de investigación

Se realizó una investigación de tipo experimental y cuantitativa porque se estableció un diseño experimental al azar (DCA) factorial, con variables y tratamientos a medir; de tipo cuantitativa porque las mediciones arrojaron datos numéricos que fueron sometidos a un análisis estadístico. La investigación tuvo un alcance explicativo causal y correlacional, puesto que se especificaron las características y propiedades de las variables de estudio en las distintas etapas fenológicas (Tabla 3) y se determinó el grado de relación que existe entre ellas.

6.2.2. Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA), con un solo factor que corresponde a la fertilización nitrogenada, para la cual específicamente se utilizó urea (Anexo 14). Se tuvieron 5 tratamientos y 3 repeticiones, obteniendo un total de 15 unidades experimentales (parcelas) con una dimensión de 3 m de largo por 2,5 m de ancho y un arreglo espacial de 1m entre parcelas. Las unidades experimentales constaron de 20 plantas por metro cuadrado. El área total donde se estableció el ensayo fue de 181,5

m². Los tratamientos estuvieron constituidos por cinco niveles de fertilización nitrogenada: 0, 50, 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹ dosificaciones que fueron previamente pesadas (Anexo 2) y luego aplicadas durante la siembra antes de colocar la semilla en el surco (Anexo 12).

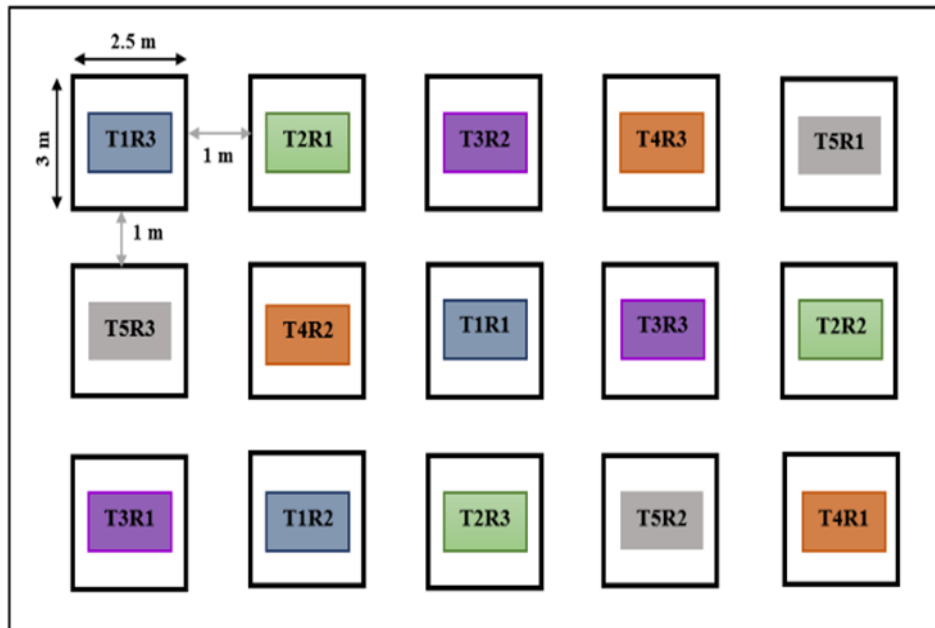


Figura 2. Diseño Experimental de la implementación del cultivo de quinua.

6.2.3. Modelo matemático

Al tratarse de un Diseño completamente al azar (DCA), se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde; Y_{ij} = Valor de la variable respuesta i-esimo efecto de las observaciones. μ = Valor de la media general. T_i = Efecto de los tratamientos en estudio (dosis de nitrógeno). E_{ij} = Error experimental.

6.3. Metodología para el primer objetivo específico: “Establecer la relación entre las lecturas SPAD y la concentración de nitrógeno foliar en la variedad Tunkahuan”

Para determinar la relación entre las lecturas SPAD y la concentración de nitrógeno foliar en el cultivo, se seleccionaron 2 plantas de las hileras centrales de cada UE y se midió paralelamente las lecturas SPAD y la concentración de nitrógeno foliar en 6 momentos o etapas fenológicas determinadas (Tabla 2).

Tabla 2. *Etapas fenológicas de la escala BBCH determinadas para la toma de datos de las variables.*

Momentos o etapas fenológicas	DDS	Descripción	Código
Momento o etapa 2	58	Formación de brotes laterales visibles	BBCH 20
Momento o etapa 3	72	Alargamiento del tallo	BBCH 29
Momento o etapa 5	80	Aparición completa de inflorescencias	BBCH 59
Momento o etapa 6	96	Antesis completa	BBCH 69
Momento o etapa 7	111	Llenado del grano	BBCH 89
Momento o etapa 8	149	Madurez del fruto	BBCH 99

DDS: Días después de la siembra.

6.3.1. Contenido de clorofila (Lecturas SPAD)

De las plantas seleccionadas se tomaron 5 hojas totalmente expandidas en el tercio superior de estas y se realizaron 2 mediciones (evitando el contacto con nervaduras y bordes) con el clorofilómetro SPAD Minolta-502 (Anexo 6 y 11).

6.3.2. Concentración de nitrógeno foliar

El N foliar fue determinado mediante el método Kjeldahl (Lang, 1958). A partir de la biomasa aérea se pesó 1 g de muestra a la que se le adicionó 4 g de catalizador seguido de 13 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) en concentraciones del 96 al 98 % posteriormente fue digerido a 420 °C por 60 minutos conjuntamente con 75 ml de agua destilada y 50 ml de hidróxido de Na.

6.3.3. Relación entre el clorofilómetro (SPAD) y la concentración de N foliar

La asociación entre ambas variables se determinó por correlación usando el coeficiente de Pearson considerando un grado de significancia del 5 %, posteriormente se realizó un análisis de regresión para evaluar la relación entre las variables y se emplearon los programas Infostat y GraphPad Prism.

6.3.4. Índice de nutrición nitrogenada (INN)

El índice de nutrición nitrogenada se calculó mediante la relación establecida entre el contenido de nitrógeno foliar y el nitrógeno crítico. El nitrógeno crítico se estimó usando la función propuesta por Greenwood et al. (1990).

$$Nc = a W^{-b}$$

Donde; Nc = Concentración total de N en los brotes. W= Biomasa total de los brotes. a = Estimación de la concentración de N en la biomasa total de brotes. b = Coeficiente de dilución descrito en la relación entre la concentración de N y la biomasa de la planta.

Recientemente Correa y Vásquez (2023), desarrollaron la ecuación $Y = 3,37x^{-0,258}$ para el cultivo de quinua, la misma que fue utilizada en el presente estudio para determinar el nitrógeno crítico.

El índice de nutrición nitrogenada (INN) se determinó para cada repetición en todas las fechas muestreadas a partir de la siguiente fórmula:

$$NNI = \frac{Nt}{Nc}$$

Donde; **Nt**= Concentración total de N en planta. **Nc**= Nitrógeno crítico.

6.4. Metodología para el segundo objetivo específico: “Analizar el crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua en respuesta a la fertilización nitrogenada”

Para analizar el crecimiento y rendimiento del cultivo en respuesta a la fertilización nitrogenada en la evaluación de las variables altura, tasa de elongación del tallo, biomasa aérea e índice de área foliar se consideró utilizar las mismas plantas seleccionadas en el primer objetivo con una frecuencia de medición de datos de 12 días para las dos últimas y cada 15 días para las restantes. Para las variables número de granos por planta y por m², peso de granos e índice de cosecha, en estado de madurez fisiológica se seleccionó 5 plantas distribuidas en las hileras centrales de cada parcela.

6.4.1. Altura de la planta

Con el flexómetro se midió del tallo de la planta hasta el ápice central. Los datos se registraron hasta que la planta alcanzó la altura máxima (Anexo 5).

6.4.2. Dinámica de crecimiento

Con el software GraphPad Prism 8.01 se evaluó la dinámica de crecimiento del tallo con un modelo bilineal y a una función sigmoidea.

6.4.3. Tasa de elongación del tallo

Se ajustó los datos de altura previamente obtenidos a la siguiente fórmula:

$$TET = \frac{ATf - ATi}{NDf - NDi}$$

Donde; **TET**= tasa de elongación del tallo. **AT**= altura del tallo (f) final, (i) inicial. **NDf**= número de día que se registró la altura final. (i) inicial.

6.4.4. Índice de área foliar (IAF)

Se registró el área foliar de todas las hojas de las 2 plantas seleccionadas por cada repetición en cada fecha de muestreo, usando el medidor portátil de área foliar CI-202 (Anexo 7), a partir de las áreas determinadas se realizó un promedio de las 3 repeticiones de cada tratamiento. La superficie sembrada se estableció considerando la distancia entre hileras y entre plantas.

Con los datos obtenidos se calculó el índice de área foliar (IAF) mediante la siguiente fórmula:

$$IAF = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Superficie sembrada}}$$

6.4.5. Biomasa aérea

Las muestras obtenidas en cada etapa fenológica (Tabla 2) fueron secadas en estufa a 65 °C (Anexo 6) hasta que el peso se estabilizó y seguidamente se pesaron en una balanza granataria.

6.4.6. Cobertura vegetal

Con la aplicación móvil Canopeo, se tomaron fotografías con orientación hacia la cobertura vegetal (de arriba abajo) para calcular el porcentaje (%) de cobertura del dosel de la vegetación verde presente en el cultivo. Dicha variable tuvo una frecuencia de medición de cada 15 días.

6.4.7. Número de granos por planta y por m²

Se estimó la totalidad de granos presentes en las plantas seleccionadas, usando el peso promedio de los granos, el número de granos por superficie se estimó en cosecha multiplicando el número de granos de cada planta por el número de plantas por m².

6.4.8. Peso de 1 000 granos

Se seleccionó un total de 1 000 granos de forma aleatoria y se los secó por 3 días en estufa a 65 ± 5 °C. La muestra obtenida se pesó en una balanza analítica.

6.4.9. Índice de cosecha (IC)

El índice de cosecha se determinó mediante la relación rendimiento del grano y peso total de la planta (biomasa aérea total), se aplicó la siguiente fórmula:

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

6.4.10. Eficiencia agronómica (EA)

Se estimó a partir de la relación entre el incremento del rendimiento en grano (kg) sobre la dosis de N, para ello se utilizó la siguiente formula:

$$EA = \frac{\text{Incremento del rendimiento del grano (kg)}}{\text{Dosis de nitrógeno (kg)}}$$

Donde; EA=eficiencia agronómica. **RE** = rendimiento kg ha⁻¹. **R(T)** = rendimiento del grano del tratamiento testigo. **Dosis**= cantidad (kg N ha⁻¹) del nutriente aplicado como fertilizante.

6.5. Análisis estadístico

Los datos recopilados durante la prueba se tabularon en el software Microsoft Excel (base de datos) para el análisis estadístico respectivo en la versión gratuita del programa Infostat. Inicialmente se verificaron los supuestos de homogeneidad (Shapiro Wilks) y de normalidad (Levene), luego se realizó el análisis de varianza (ANOVA) el cual nos permitió hacer pruebas de comparación entre varios grupos y una variable cuantitativa, determinando así las diferencias estadísticas entre tratamientos con un nivel de significancia del 5 %. Además, se utilizó la prueba de Tukey y el análisis de correlación de Pearson entre la cantidad de clorofila y el contenido de nitrógeno foliar en respuesta a la fertilización nitrogenada.

7. Resultados

7.1. Resultados para el primer objetivo

Establecer la relación entre las lecturas SPAD y la concentración de nitrógeno foliar en la variedad Tunkahuan

7.1.1. Lecturas SPAD (Clorofila)

Al evaluar los diferentes niveles de fertilización nitrogenada (0, 50, 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹) se encontró que los tratamientos 4 y 5 con dosis de 200 y 300 kg N ha⁻¹ respectivamente, fueron superiores en los 72 DDS (Elongación del tallo), 80 DDS (Aparición completa de inflorescencias) y 96 DDS (Antesis); siendo la etapa 6 (96 DDS) la que presentó diferencias altamente significativas (pvalue=0,0021) bajo la dosis de 200 kg (T4) con respecto a las etapas fenológicas restantes.

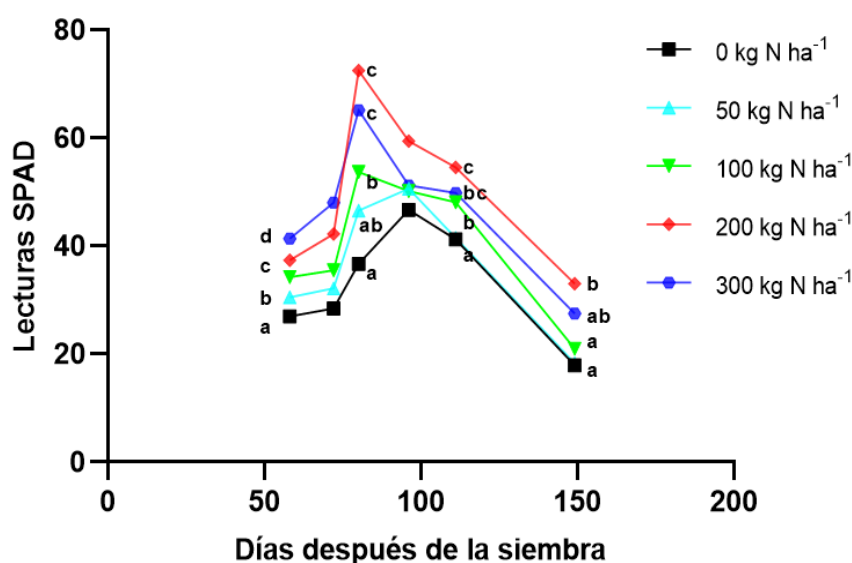


Figura 3. Medias del contenido de clorofila obtenidas a partir de lecturas SPAD en plantas de quinua, bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente expresan que no hay diferencias estadísticas significativas según el test de Tukey ($p < 0,05$).

7.1.2. Concentración de nitrógeno foliar (%)

En la fase fisiológica BBCH 69 (96 DDS) o etapa 6 correspondiente a la antesis completa, la concentración de nitrógeno aumenta proporcionalmente con relación al contenido de clorofila obtenido mediante lecturas SPAD, siendo estadísticamente significativa (pvalue=0,021). Los tratamientos 4 y 5 denotan efectos progresivos en dicho momento, cuyas medias representan el 2,09 y 2,35 respectivamente, siendo estas numéricamente mayores en cuanto al efecto del tratamiento sobre el cultivo.

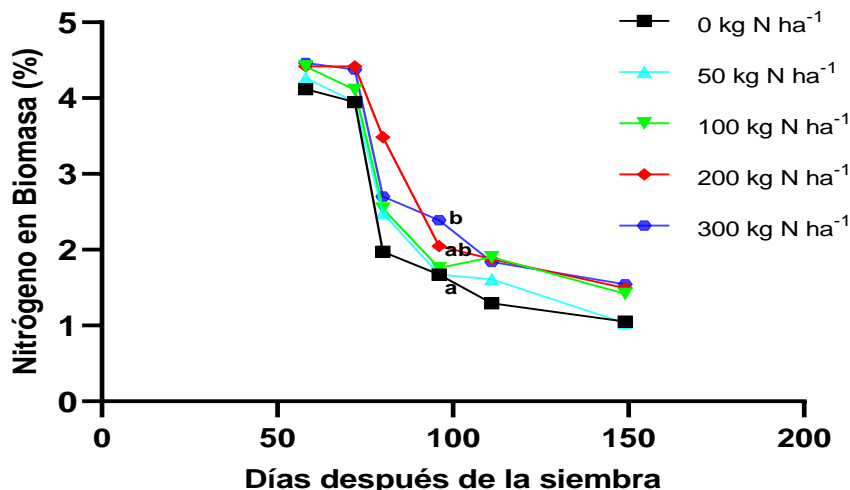


Figura 4. Medias del contenido de nitrógeno (%) en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Letras iguales verticalmente expresan que no hay diferencias estadísticas significativas según el test de Tukey ($p > 0,05$).

7.1.3. Relación entre las lecturas SPAD y la concentración de N

En la figura 5 se muestra la relación entre las lecturas SPAD y la concentración de nitrógeno foliar a lo largo del ciclo fenológico del cultivo. Llamativamente, los datos conformaron dos grupos, desde los 58 hasta los 72 DDS donde la concentración de nitrógeno es mayor, y desde los 80 hasta los 140 DDS se observó una asociación positiva y lineal, indicando que el contenido de nitrógeno puede ser estimado directamente en campo mediante el uso del SPAD.

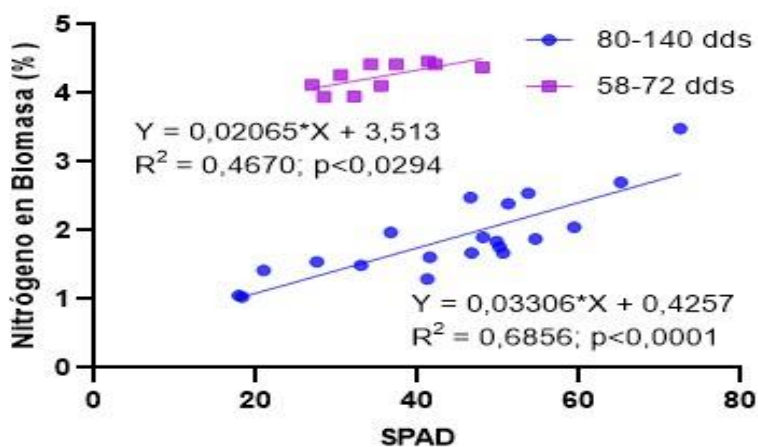


Figura 5. Medias de la relación del contenido de nitrógeno (%) y las lecturas SPAD en plantas de quinua bajo el efecto de la fertilización nitrogenada. Los símbolos morados representan las etapas fenológicas iniciales correspondientes a la formación de los primeros brotes laterales hasta el alargamiento del tallo y los azules a las etapas continuas como la aparición completa de inflorescencias hasta la madurez del fruto.

7.1.4. Relación entre las lecturas SPAD y el índice de nutrición nitrogenada (INN)

Al evaluar la relación entre las lecturas SPAD y el índice de nutrición nitrogenada (INN) en la mayoría de momentos fenológicos evaluados, mostró una estrecha asociación entre estas dos variables, excepto en la etapa BBCH 20 (58 DDS) (Tabla 3).

Tabla 3. Relación entre el índice de nutrición nitrogenada y las lecturas SPAD en plantas de quinua bajo el efecto de diferentes tratamientos nitrogenados en 6 momentos o etapas fenológicas del cultivo: 58 DDS (formación de los primeros brotes laterales, 72 DDS (elongación del tallo, 80 DDS (aparición completa de inflorescencias), 96 DDS (antesis completa), 111 (llenado del grano) y 149 DDS (madurez del fruto).

DDS	Ecuación	R2	p value
58	$Y = 24,05 * X + 5,344$	0,72	0,06
72	$Y = 23,16 * X + 3,916$	0,82	0,03
80	$Y = 37,44 * X + 14,69$	0,94	0,01
96	$Y = 21,96 * X + 10,32$	0,80	0,02
111	$Y = 27,01 * X + 24,69$	0,79	0,04
149	$Y = 34,50 * X + 1,807$	0,75	0,05

Cuando se graficaron todos los datos, nuevamente estos conformaron dos grupos bien definidos, desde los 58 hasta los 72 DDS (etapa vegetativa), y desde los 80 a 149 DDS (etapa reproductiva y crecimiento de granos), encontrándose asociaciones positivas significativas en los dos grupos de datos. Interesantemente esta asociación, muestra que las lecturas SPAD, considerando que, en el INN los valores inferiores a 1 indicarían deficiencia de N y podrían ser útiles para monitorear el estado nutricional de nitrógeno en las plantas de quinua, superiores a 1 consumo de lujo del N.

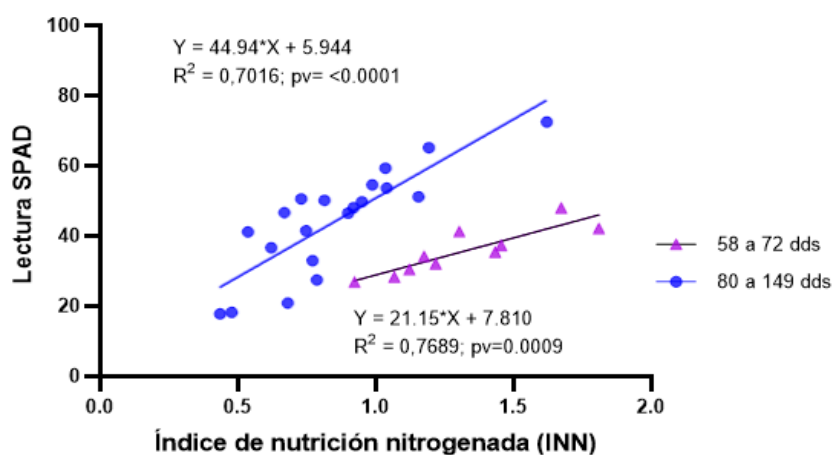


Figura 6. Relación entre índice de nutrición nitrogenada y las lecturas SPAD en quinua bajo diferentes dosis de fertilización con N. Los signos morados representan las etapas fenológicas iniciales correspondientes a la formación de los primeros brotes laterales hasta el alargamiento del tallo y los azules a las etapas continuas como la aparición de inflorescencias hasta la madurez del fruto.

7.2. Resultados para el segundo objetivo

Analizar el crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua en respuesta a la fertilización nitrogenada.

7.2.1. Altura de la planta y dinámica de crecimiento

La variedad Tunkahuan muestra diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) a los 105 DDS entre las dosis de los tratamientos 1 (0 kg N ha^{-1}), 2 (50 kg N ha^{-1}) y 3 (100 kg N ha^{-1}) con respecto al 4 (200 kg N ha^{-1}) y 5 (300 kg N ha^{-1}) que son estadísticamente similares entre sí, pero diferentes a los restantes (Figura 7). En cada evaluación realizada la fertilización nitrogenada tuvo mayor efecto en el crecimiento activo del tallo bajo las aplicaciones de concentraciones más altas correspondiente a los tratamientos 4 y 5, alcanzando una altura máxima de entre 214,97 y 217,63 cm.

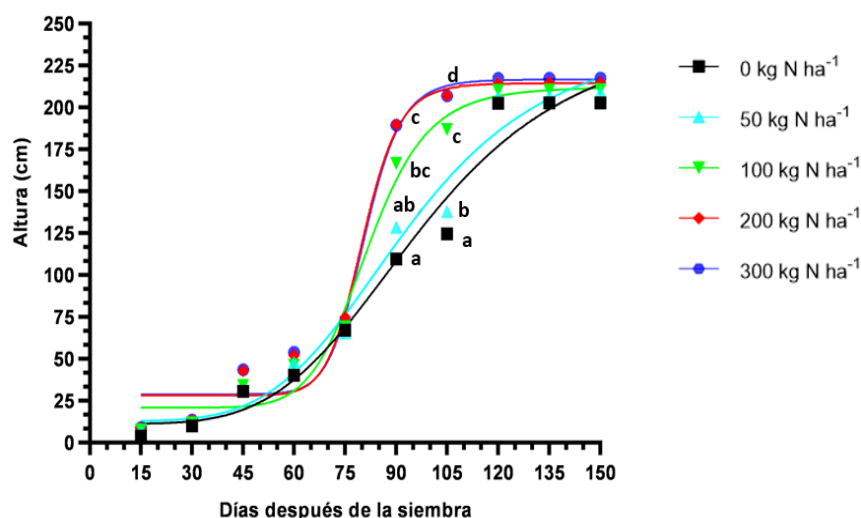


Figura 7. Efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada en la altura (cm) de plantas de quinua). Las medias obtenidas de los distintos tratamientos con distintas letras en línea vertical son diferentes estadísticamente con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.2.2. Tasa de elongación

De acuerdo a los resultados obtenidos como se observa en la Figura 8 no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Sin embargo, la dosis de fertilización nitrogenada correspondiente a 300 kg N ha^{-1} tuvo mayor efecto en el incremento de la tasa de elongación del tallo alcanzando un valor máximo de $1,55 \text{ cm día}^{-1}$ seguido de la dosis de 200 kg N ha^{-1} la cual obtuvo una tasa de elongación de $1,53 \text{ cm día}^{-1}$.

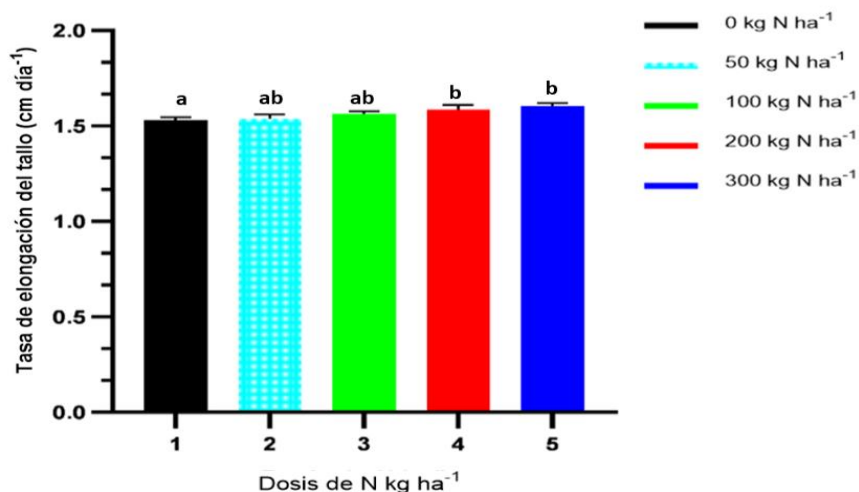


Figura 8. Tasa de elongación del tallo en plantas de quinua var. Tunkahuan bajo el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Cada columna representa el promedio de la fórmula ajustada a los datos de la altura y las barras en cada columna es el error estándar de la media.

7.2.3. Biomasa aérea

Al evaluar la biomasa aérea existieron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) en todos los tratamientos mismos que presentaron un incremento acelerado en la producción de biomasa a partir de los 72 DDS correspondiente a la fase de elongación del tallo (Figura 9). Durante la etapa de llenado del fruto (111 DDS) y maduración del fruto (149 DDS) los tratamientos 4 (200 kg N ha⁻¹) y 5 (300 kg N ha⁻¹) fueron estadísticamente similares. Sin embargo, bajo la aplicación de 200 kg N ha⁻¹ hubo una mayor acumulación de biomasa, obteniendo una media superior de 922,83 g.m⁻².

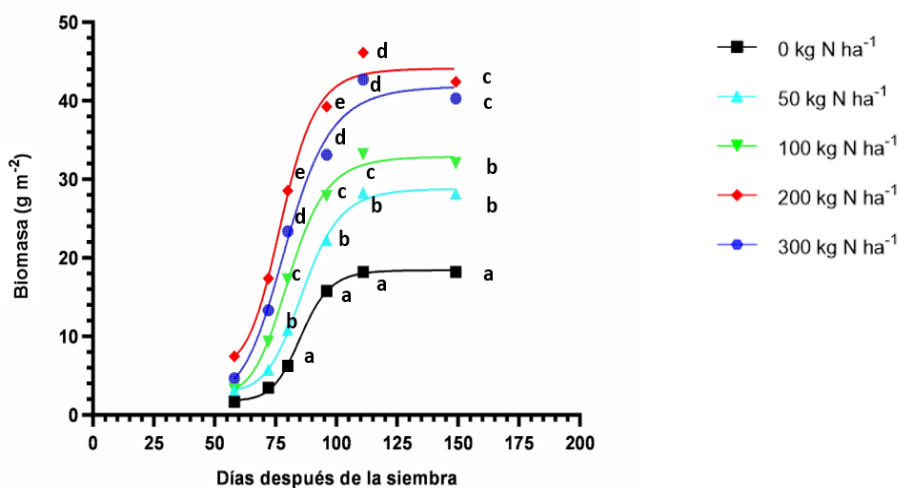


Figura 9. Acumulación de biomasa aérea (g.m⁻²) en plantas de quinua var. Tunkahuan bajo el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada, durante el ciclo fenológico del cultivo. Las medias obtenidas de los distintos tratamientos con distintas letras en línea vertical son diferentes estadísticamente con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.2.4. Índice de área foliar (IAF)

En la Figura 10 se muestra que existen diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre tratamientos, habiendo un mayor efecto al aplicar dosis de 200 kg N ha^{-1} la cual tuvo un incremento progresivo desde los 58 DDS (formación de brotes laterales) hasta los 96 DDS (Floración) en comparación a las etapas restantes cuyo desarrollo vegetativo foliar fue descendiendo hasta la etapa final del ciclo del cultivo.

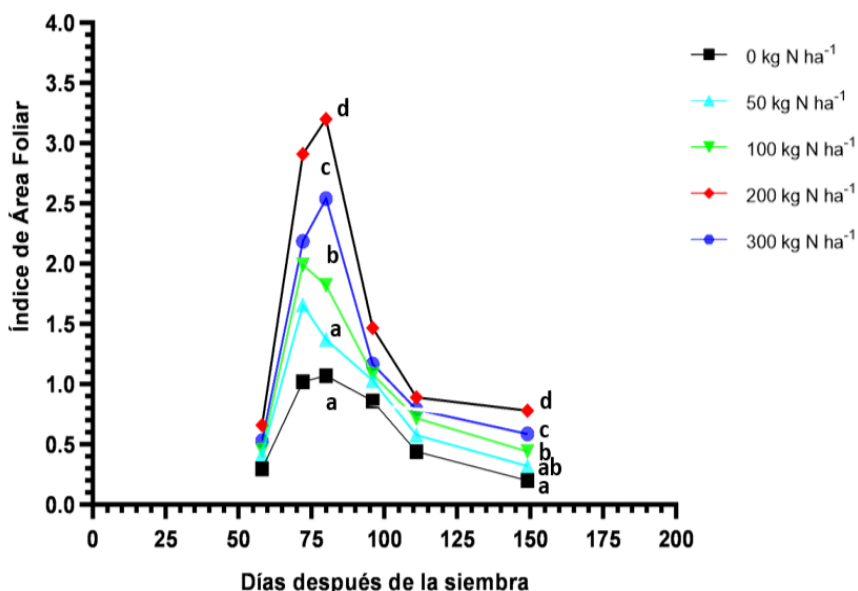


Figura 10. Índice de área foliar en plantas de quinua var. Tunkahuan bajo el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada, a partir de los datos de área foliar ajustados a la fórmula. Las medias obtenidas de los distintos tratamientos con distintas letras en línea vertical son diferentes estadísticamente con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.2.5. Cobertura vegetal

Al evaluar la cobertura vegetal (Figura 11) se encontró diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) durante los 58 y 75 DDS entre los tratamientos 1, 2, 3 con respecto al 4 y 5 que son estadísticamente similares entre sí pero diferentes a los demás, siendo estos últimos los que mayor incidencia tuvieron en la cubierta vegetal de las parcelas durante la etapas fenológicas 2 y 3 correspondiente a la formación de brotes laterales (58 DDS) y elongación del tallo respectivamente, mientras que en etapas fenológicas posteriores se mantuvo constante alcanzando un porcentaje de cobertura máxima de entre el 90 % y 96 % para los tratamientos 4 y 5.

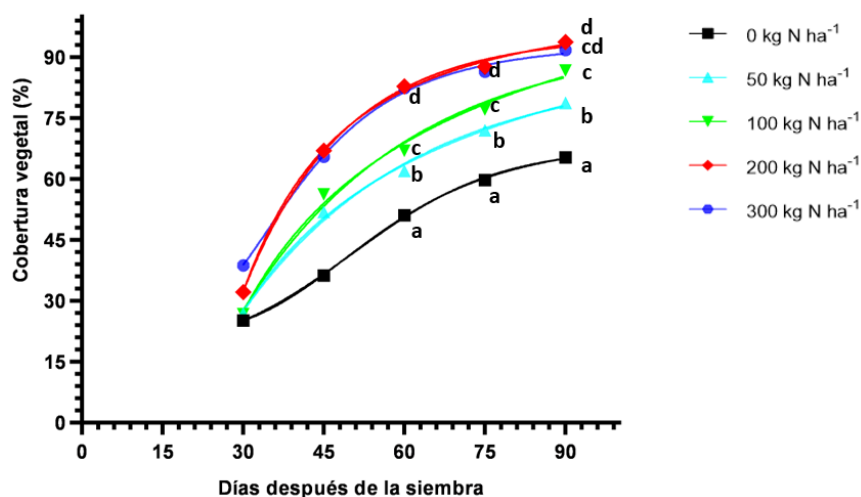


Figura 11. Porcentaje de cobertura vegetal evaluada desde los 30 DDS hasta los 90 DDS en plantas de quinua var. Tunkahuan con diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Las medias obtenidas de los distintos tratamientos con distintas letras en línea vertical son diferentes estadísticamente con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

7.2.6. Componentes del rendimiento e índice de cosecha

Los componentes de rendimiento correspondientes a número de granos m^{-2} y peso de 1000 granos bajo dosis de 0 y 300 $kg N ha^{-1}$ (T1 y T5) son similares estadísticamente, e inferiores en comparación a las dosis de 100 y 200 $kg N ha^{-1}$ que son superiores a estos tratamientos e iguales estadísticamente en el caso número de granos. m^{-2} , mientras que en el peso de los granos existieron diferencias estadísticamente significativas siendo las dosis de 100 (T3) y 200 $kg N ha^{-1}$ (T4) la más representativas, de igual forma la variable de rendimiento ($t ha^{-1}$) fue mayor bajo las mismas dosis. No obstante, en el índice de cosecha el tratamiento 3 es estadísticamente similar con los tratamientos 1 y 2 pero diferente con respecto al 4 y 5 siendo la dosis más alta la que obtuvo menor índice de cosecha (0,21) en comparación al tratamiento 3 que obtuvo un valor máximo de 0,5. En cuanto al contenido de proteína en grano (%) no existen diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que, el rendimiento en proteína ($t ha^{-1}$) es mayor bajo los tratamientos 3 y 4 alcanzando medias superiores de 0,61 y 0,59 respectivamente.

Tabla 4. Medias de los componentes de rendimiento, índice de cosecha (IC), y % de proteína del grano muestreadas en quinua variedad Tunkahuan.

Dosis kg N ha ⁻¹	Número de granos (planta ⁻¹)	Número de granos (m ⁻²)	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Índice de cosecha (IC)	Proteína en grano (%)	Rendimiento en proteína (t ha ⁻¹)
0	12373,11 a	82487,37 a	2,26 a	1,86 a	0,44 bc	14.09	0,26 a
50	16098,02 ab	107320,11 ab	2,48 b	2,66 b	0,42 bc	14.505	0,38 a
100	22629,79 c	150865,29 c	2,71 c	4,00 c	0,5 c	14.88	0,61 b
200	18810,42 bc	125402,83 bc	3,12 d	3,9 c	0,41 b	15.395	0,59 b
300	13593,49 a	90623,27 a	2,26 a	2,04 ab	0,21 a	14.995	0,27 a
E. E	890,13	5934,18	0,04	0,14	0,02	0,55	0,02
Fertilización	***	***	***	***	***	n. s	***

*Letras iguales en sentido vertical expresan diferencias estadísticas significativa mediante prueba de Tukey (Alfa<0,05). Los valores son medias de dos repeticiones ns efecto no significativo; * efecto significativo p<0,05; ** efecto muy significativo p<0,01; *** efecto altamente significativo p<0,001

7.2.7. Eficiencia Agronómica (EA)

Existen diferencias significativas pvalue < 0,0001 al aplicar los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada. Bajo la dosis de 100 kg N ha⁻¹ se obtuvo una eficiencia agronómica de 22,2 kg de grano por kg de N aplicado, siendo superior con respecto a los tratamientos restantes, donde el aprovechamiento del nutriente por la planta fue inferior para aumentar el rendimiento.

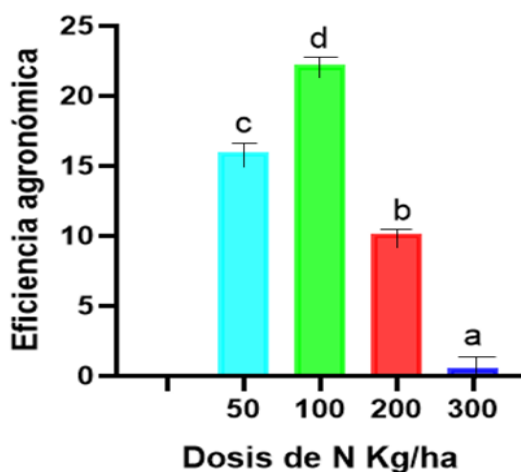


Figura 12. Eficiencia agronómica (EA) en quinua var. Tunkahuan bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Letras iguales sobre cada barral no muestran diferencia significativa mediante la prueba de Tukey (p≤0,05).

7.2.8. Correlaciones entre variables evaluadas

Existe una correlación altamente significativa ($p < 0,001$) entre las variables correspondientes a las lecturas SPAD y concentración de proteína en grano (%) con la biomasa (g m^{-2}) y rendimiento (t ha^{-1}); de igual manera número de granos por m^2 y rendimiento con número de granos por planta tuvieron una correspondencia positiva entre sí.

Tabla 5. Correlaciones de las variables evaluadas

	Biomasa g/m ² (111 dds)	IAF (96 dds)	Altura (105 dds)	T. E	C.V (105 dds)	Peso 1000 granos (g)	N° granos por planta	N° granos/m ²	Rendimiento t/ha	IC	Lecturas SPAD	N Biomasa seca% (96 dds)	% Proteína en grano	Rendimiento en proteína (t/ha)
Biomasa g/m² (111 dds)														
IAF (96 dds)	0.92 *													
Altura (105 dds)	0.95 *	0.82 *												
T. E.	0.95 *	0.80	0.96 *											
C.V (105 dds)	0.77	0.65	0.69	0.62										
Peso 1000 granos (g)	0.57	0.80	0.50	0.35	0.47									
N° granos por planta	0.35	0.41	0.43	0.16	0.59	0.73								
N° granos/m ²	0.35	0.41	0.43	0.16	0.59	0.73	1.00 ***							
Rendimiento t/ha	0.46	0.59	0.50	0.25	0.57	0.89 *	0.96 ***	0.96 **						
IC	-0.49	-0.23	-0.45	-0.67	-0.21	0.40	0.55	0.55	0.53					
LECTURAS SPAD	0.99 ***	0.95 *	0.94 *	0.95 *	0.71	0.62	0.35	0.35	0.48	-0.45				
N Biomasa seca% (96 dds)	0.80	0.58	0.80	0.93 *	0.43	0.01	-0.18	-0.18	-0.11	-0.89 *	0.78			
% Proteína en grano	0.97 ***	0.95 *	0.94 *	0.88 *	0.77	0.73	0.53	0.53	0.65	-0.28	0.98 **	0.66		
Rendimiento en proteína (t/ha)	0.45	0.60	0.48	0.24	0.53	0.91 *	0.95 *	0.95 *	1.00 ***	0.55	0.47	-0.12	0.64	
EA	0.08	0.13	0.09	-0.16	0.57	0.52	0.89 *	0.89 *	0.79	0.65	0.04	-0.44	0.24	0.77

Los valores son los coeficientes de Pearson de tres repeticiones; * efecto significativo $p < 0,05$; ** efecto muy significativo $p < 0,01$; *** efecto altamente significativo $p < 0,001$; Índice de área foliar (IAF); Altura; Tasa de elongación del tallo (TE); Cobertura vegetal (CV); Peso de 100 granos; Número de granos por m²; Número de granos por planta; Rendimiento (t/ha); Índice de cosecha (IC); Lecturas Spad; Nitrógeno en biomasa seca; Contenido y rendimiento de proteína en grano.

8. Discusión

En la presente investigación, se evaluaron diferentes dosis de fertilización nitrogenada sobre la respuesta agrofisiológica de quinua var. Tunkahuan, siendo así que, las lecturas SPAD presentaron diferencias significativas al aplicar dosis de nitrógeno de 200 y 300 kg ha⁻¹ alcanzando lecturas máximas comprendidas en un rango de 48 y 72, siendo las más representativas durante las fases de elongación del tallo (72 DDS), aparición completa de inflorescencia (88 DDS) y antesis (96 DDS). Resultados similares mostraron Biswas et al. (2021) quienes al aplicar dosis de 200 kg N ha⁻¹ obtuvieron lecturas SPAD de 66,37 valor posicionado dentro de nuestro rango. Castellanos et al. (2017), por su parte mencionan que lecturas SPAD encontrados durante la fase de floración superiores a 50 unidades SPAD determinan un adecuado contenido de clorofila foliar, siendo un indicativo favorable al momento de diagnosticar la concentración nitrogenada del cultivo, el cual disminuye conforme se acerca a las fase de madurez fisiológica de la planta, lo que concuerda con Parra et al. (2017), quienes evidenciaron una reducción de clorofila a partir de la etapa de antesis .

De igual manera, la relación positiva que existe entre la intensidad de verdor producto de los cloroplastos responsables de absorber la luz necesaria para realizar la actividad fotosintética y la concentración de N en la hoja, es un indicador beneficioso para conocer el estado nutricional de la planta, debido a que las hojas son los órganos de la planta que más rápido responden a los cambios en el suministro de nutrientes del suelo y los fertilizantes (Bernal et al., 2014). Adicionalmente, la clorofila, aparte de realizar el proceso de fijación de CO₂, interviene en la síntesis de moléculas que participan en el crecimiento celular, debido a que el nitrógeno forma parte estructural de la clorofila interviniendo directamente en las fases vegetativas y reproductivas de la planta (Molina et al., 2010).

El índice de fertilización nitrogenada (INN) según lo reportado por Ziadi et al. (2008), en cultivo de maíz la fertilización de 150 kg N ha⁻¹ es más aprovechable por la planta obteniendo un INN de 1,07. Frigerio et al. (2016) por su parte, al realizar su estudio en cultivo de avena recomienda aplicaciones de 120 y 240 kg N ha⁻¹ al estimar un INN de 0,84 y 0,96 respectivamente, durante las etapas de aparición de inflorescencias y antesis. Correa (2021), en su investigación realizada en quinua variedad Tunkahuan encontró valores cercanos a 1 de 0,95 y 1,05 a partir de los 80 DDS al aplicar dosis de 200 kg N ha⁻¹ determinándose que el N no limita el crecimiento de la planta a diferencia de cuando aplicó 400 kg N ha⁻¹ donde existió un exceso en el aporte del fertilizante. En el presente estudio el INN fue de 0,81 y 1,04 al

aplicar dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹ y existió una asociación positiva entre las lecturas SPAD y el INN a partir de los 72 DDS correspondiente a la fase de alargamiento del tallo.

La altura conjuntamente con la tasa de elongación del tallo y la dinámica de crecimiento presentaron diferencias entre tratamientos con respecto al testigo durante los diferentes momentos de muestreo, pues de acuerdo a lo mencionado por Alcón et al. (2018), diferentes niveles de urea permiten lograr mayor altura en las plantas de quinua, ya que el nitrógeno que contiene está disponible inmediatamente para la misma y contribuye a su crecimiento. Por tanto, dichas variables fueron superiores bajo dosis de 200 y 300 kg N ha⁻¹ obteniendo un rango de altura máxima de entre 214,97 y 217,67 cm y un incremento del tallo de 1,53 y 1,55 cm día⁻¹ respectivamente, pues a medida que aumenta la concentración de nitrógeno suministrada, aumenta el crecimiento en altura de las plantas. Monsalve et al. (2009), recomiendan aplicar dosis de 200 kg N ha⁻¹ ya que la disponibilidad de nutrientes es superior y contribuye para la formación de nuevos tejidos vegetales y mayor crecimiento longitudinal del tallo, resultados similares obtuvo Fawy et al. (2017), quienes reportaron un incremento de 33 % en la altura de las plantas de quinua al adicionar 240 kg N ha⁻¹. Por otro lado, Herreros (2018), en sus estudios realizados en suelos limo-arenosos observó que la altura fue superior bajo dosis de 360 kg N ha⁻¹ (189, 03 cm) en comparación a la altura obtenida al aplicar 270 kg N ha⁻¹ debido a que las partículas de este tipo de suelo son más finas y los nutrientes tienden a perderse por lo que se necesita de mayor cantidad del fertilizante, mientras que en los suelos donde predomina el contenido de arcilla se requiere de cantidades por debajo de los 300 kg N ha⁻¹ debido a que la absorción de N, materia orgánica y la capacidad de retención de agua del suelo son más altas (Razzaghi et al., 2012). El N es el elemento más importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas y una baja en el suministro de este nutriente inhibe la división celular, formación de proteínas y ácidos nucleicos que son los constituyentes de mayor importancia para el protoplasma de las células (Schmöckel et al., 2017), y el crecimiento de órganos como tallos y hojas.

Por otro lado, variables como el índice de área foliar (IAF), cobertura vegetal y biomasa fueron significativamente mayores al aplicar dosis de 200 kg N ha⁻¹, especialmente desde los 58 hasta los 80 DDS correspondientes a las fases de formación de brotes laterales y floración respectivamente, en comparación a los momentos de muestreo posteriores donde el desarrollo vegetativo foliar disminuyó. Resultados similares obtuvo Basantes et al. (2015), quienes reportaron una variación descendente en el nivel del nitrógeno a partir de los 90 DDS debido al traslado de N foliar al desarrollo de panojas y formación del grano que es una etapa en la

que la planta ya no requiere de altas concentraciones de N, sino de otros elementos como potasio, fósforo y calcio para contribuir a la producción del grano. Diaz et al. (2004), en su investigación realizada en amaranto muestran que al fertilizar con 200 kg N ha⁻¹ hay una adecuada eficiencia del uso del N generando un temprano y mayor porcentaje de cobertura del dosel vegetal, que además contribuye a disminuir la evaporación del agua del suelo, debido a que la fracción de radiación solar disminuye durante del ciclo del cultivo y a medida que el dosel se desarrolla este proyecta mayor sombra sobre la superficie FAO (2022). El suministro de N mejora el proceso fotosintético y, en consecuencia, incrementa el área foliar, grosor de la hoja, tasa de asimilación neta, producción de biomasa y rendimiento, mientras que, las deficiencias de este elemento disminuye la producción de materia seca porque reduce la radiación interceptada por el dosel vegetal y la eficiencia de conversión de esta energía en biomasa (Khanzada et al., 2016).

Con respecto a las variables que permiten evaluar los componentes de rendimiento, en el presente estudio se obtuvo que al aplicar dosis de 100 kg N ha⁻¹ se alcanzó un rendimiento de 4 t ha⁻¹. Lo que concuerda con Peralta (2014), quien mencionan que los rendimientos reportados en el país van de 1 a 3 t ha⁻¹. Siendo así que, el número y peso de granos fueron superiores al aplicar dicha dosis y luego disminuyen lentamente al acercarse a la aplicación de la dosis más alta (300 kg N ha⁻¹). En sus estudios Wang et al. (2020), obtuvieron que al aplicar N a razón de 240 kg ha⁻¹ del fertilizante durante la siembra, el peso de 1000 semillas fue significativamente mayor que al aplicar dosis por debajo de 200 kg N ha⁻¹, sin embargo, el rendimiento de la semilla no aumentó cuando la tasa de N superó los 160 kg ha⁻¹. Esto concuerda con Almadini et al. (2019), que alcanzó mayor número de granos/planta con las tasas crecientes de aplicación de fertilizante nitrogenado de entre 80 y 160 kg N ha⁻¹. De igual manera Geren (2015), menciona que 150 kg ha⁻¹ es el mejor nivel de suplementación de N para incrementar el número y rendimiento de grano. Pilarte (2014), también menciona que la adición de altas dosis de nitrógeno incrementa los rendimientos, pero hasta alcanzar un nivel de 200 kg ha⁻¹, y por encima de este nivel, los rendimientos descienden. Castellanos et al. (2010), señalaron que generalmente elevadas dosis producen un alto índice de área foliar, el cual no necesariamente es un indicador de mayor productividad, ya que las plantas que son altas contienen mayor número de hojas, pero un bajo índice de cosecha. Los bajos rendimientos sobre dosis por encima de los 200 kg N ha⁻¹ también están relacionados con el efecto de elevadas cantidades de N y el incremento del contenido de clorofila en las hojas y la apertura de las estomas lo que hace que el cultivo se mantenga verde y en última instancia retrase la

senescencia por la mayor traslocación de asimilados de la hoja a la semilla, prologando así el periodo de llenado de grano y retrasando la madurez fisiológica. El nitrógeno aplicado en cantidades mayores a las dosis estimulantes de óptima y máxima, por sus efectos depresivos conduce el descenso del rendimiento del cultivo (Urbano, 2001), y se ajusta a la ley de rendimientos decrecientes o ley de Mitscherlich la cual menciona que a medida que se adicionan cantidades elevadas de un nutriente disminuyen los incrementos de cosecha logrados por cada unidad de fertilizante suministrada de forma que el rendimiento tiende a disminuir (Bonadeo et al., 2017). Kakabouki et al. (2018), concluyeron que las plantas de quinua son altamente competentes para absorber N del suelo; sin embargo, parecen pobres en la removilización de N de las partes vegetativas a las semillas bajo un alto suministro de N.

En cuanto al índice de cosecha (IC) este fue inferior (0,21) bajo elevadas dosis de fertilización nitrogenada (300 kg N ha^{-1}) lo que concuerda con Berti et al. (2000), mencionan que, al incrementarse el aporte de N, el IC disminuye además de tener bajos rendimientos por efecto del aumento de biomasa, pues cuando los niveles de N exceden se produce el acame y retraso de la madurez (Fawy et al., 2017). Estos resultados coinciden con Rouanet (1994), quien encontró un efecto positivo sobre la producción de biomasa en trigo a medida que la fertilización incrementa. Por tanto, de acuerdo a nuestra investigación la aplicación de dosis por encima de 200 kg N ha^{-1} no garantiza un IC de cosecha mayor en el cultivo de quinua bajo condiciones agroecológicas de la Provincia.

El contenido de proteína en grano no tuvo diferencias estadísticamente significativas pero numéricamente esta fue representativa al aplicar dosis de nitrógeno de 200 kg ha^{-1} obteniendo una media máxima de 15,40 % según mencionan Pando y Aguilar (2016), una importante cantidad del nitrógeno absorbido por la planta llega a los granos a la madurez y contribuye a la cantidad de proteína. Resultados similares obtuvo Schulte et al., (2005), quienes al aplicar 75 y 150 kg N ha^{-1} de nitrógeno, encontraron valores con un promedio de 13,33 % de proteína, mientras que al adicionar dosis de 225 kg N ha^{-1} este incrementó alcanzado un valor superior correspondiente a 15,01 %. Por tanto, la concentración nitrogenada y el rendimiento proteico no fueron afectadas por la dosis de fertilización nitrogenada lo que concuerda con Zubillaga (2009), quien encontró resultados similares en su investigación donde el contenido de proteínas en el grano no se modificó con la dosis de N aplicada, sin embargo, existió un incremento altamente significativo en el contenido de proteínas del tallo y las hojas.

Con respecto a la eficiencia agronómica del nitrógeno de 22,2 kg de grano por kg de N al aplicar dosis de 100 kg N ha⁻¹ fue mayor con relación a las dosis más elevadas las cuales generaron disminución de la eficiencia debido a que las altas dosis alteran el equilibrio de nutrientes en la solución del suelo lo que produce un bloqueo entre los nutrientes que disminuye la adsorción de nutrientes. Del mismo modo, López et al., (2022), mencionan que conforme aumenta la cantidad de nitrógeno la eficiencia se reduce. Este aporte concuerda con Liu et al., (2019), quienes mencionan que las aplicaciones de fertilizantes con elevadas dosis de concentración nitrogenada en los sistemas agrícola genera menor eficiencia en el uso del N, las pérdidas por factores como volatilización y desnitrificación son mayores, la planta absorbe la cantidad que necesita de cada nutrimento y el sobrante queda disponible, teniendo efectos adversos como la contaminación del agua, a través de la escorrentía superficial, la lixiviación de nitratos. Así mismo, IPNI (2013), indica en forma más global que el rango típico de la EAN fluctúa entre 10 y 25 kg MS kg N⁻¹, en sistemas de cultivos con adecuado manejo agronómico.

9. Conclusiones

El contenido de clorofila medido con el instrumento SPAD permite estimar la concentración de nitrógeno de las plantas, así como el estado de nutrición del nitrógeno mediante el índice de nutrición nitrogenada en el cultivo de quinua var. Tunkahuan.

El aumento en las tasas de aplicación del nitrógeno favorece el crecimiento y rendimiento del cultivo, encontrándose que dosis de 100 kg ha^{-1} , muestran la mejor eficiencia agronómica del nitrógeno, alcanzando un rendimiento de grano de 4 t ha^{-1} . La fertilización nitrogenada no modificó la concentración de proteína del grano, sin embargo como consecuencia de la modificación del rendimiento de grano, el rendimiento proteico del grano fue significativamente superior con una dosis de 100 kg ha^{-1} , alcanzando $0,6 \text{ t ha}^{-1}$.

10. Recomendaciones

Considerar las condiciones climáticas que interviene en el aprovechamiento de los nutrientes aportados a la planta, para evitar lixiviaciones y la contaminación ambiental.

Considerar usar otros genotipos, debido a que la respuesta a la fertilización nitrogenada puede ser distinta según el potencial de rendimiento de las variedades.

Validar los resultados con una segunda temporada de cultivo.

11. Bibliografía

- Alcón Chigua, G. V., & Bonifacio Flores, A. (2018). Evaluación de las variables agronómicas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y calidad de grano con aplicación de niveles de estiércol ovino y urea. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5(1), 37–46.
- Al-Naggar, A. M., El-Salam, R., Badran, A., & El-Moghazi, M. (2017). Heritability and Interrelationships for Agronomic, Physiological and Yield Traits of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Elevated Water Stress. *Archives of Current Research International*, 10, 1–15. <https://doi.org/10.9734/ACRI/2017/37215>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo Taco, R. E. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/76>
- Vera Arteaga, D., Cedeño García, G., Cedeño-García, G., Cargua Chávez, J., & Garay Lugo, M. (2019). Agronomic efficiency of nitrogen and production of *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. depending on two cutting frequencies. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, ex Agro-Ciencia*, 35(3), 251-260.
- Almadini, A., Badran, A. E., & Algosaiibi, A. (2019). Evaluation of Efficiency and Response of Quinoa Plant to Nitrogen Fertilization levels. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 09, 839–849. <https://doi.org/10.36632/mejas/2019.9.4.1>
- Basantes, E., Lazo, D., & Obando, D. (2015). Extracción del nitrógeno y calcio en dos variedades quinua (*Chenopodium quinoa*), El Prado-Sangolquí. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.24133/cctespe.v10i1.17>
- Bascuñán-Godoy, L., Sanhueza, C., Pinto, K., Cifuentes, L., Reguera, M., Briones, V., Zurita-Silva, A., Álvarez, R., Morales, A., & Silva, H. (2018). Nitrogen physiology of contrasting genotypes of *Chenopodium quinoa* Willd.(Amaranthaceae). *Scientific Reports*, 8(1), 1–12.

- Basra, S. M. A., Iqbal, S., & Afzal, I. (2014). Evaluating the Response of Nitrogen Application on Growth, Development and Yield of Quinoa Genotypes. *Int. J. Agric. Biol.*, 16(5), 7.
- Bernal, J. H. (2014). *Requerimientos y respuestas a la fertilización del maíz en suelos de Sabanas Ácidas de Colombia*.
- Berti, M., Wilckens, R., Hevia, F., Serri, H., Vidal, I., & Mendez, C. (2000). Nitrogen fertilization in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ciencia e Investigación Agraria*, 27(2), 81–90.
- Bismar López, J., Vásquez Montufar, G., Carrillo Zenteno, M., & Durán Mera, C. (2022). Eficiencia agronómica de nitrógeno y rendimiento de maíz amarillo con fertilización orgánica y mineral en época seca. *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 13(2), 40-47. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i2.302
- 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>
- Biswas, P. K., 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(1), Article 1. <https://doi.org/10.3329/baj.v24i1.55548>
- Boga, L. (2014). *La nutrición de cebada cervecera en Argentina: Mejores prácticas de manejo de la fertilización*.
- Bojanic, A. (2013). *La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Opia.CL: Observatorio para la Innovación Agraria, Agroalimentaria y Forestal. <https://opia.fia.cl/601/w3-article-76620.html>
- Bruulsema, T. W. (2013). *4R de la nutrición de plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas* (No. 581.13). International Plant Nutrition Institute..

- Caballero, A., Maceda, W., Miranda, R., & Bosque, H. (2015a). Rendimiento y contenido de proteína de la quinua (*Chenopodium quinoa willd*), en cinco fases fenológicas, bajo cuatro niveles de incorporación de estiércol. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 68–75.
- Caballero, A., Maceda, W., Miranda, R., & Bosque, H. (2015b). Yield and protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa willd*), in five phenological stages, under four levels of incorporation of manure. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 68–75.
- 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>
- Castellanos-Reyes, M. A., Valdés-Carmenate, R., López-Gómez, A., & Guridi-Izquierdo, F. (2017). Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 112–116.
- Correa, C. (2023). Efecto de diferentes niveles de nitrógeno sobre el rendimiento de quinua bajo las condiciones agroclimáticas de la hoya de Loja, Ecuador. [Tesis Ingeniera agrónoma en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Loja] Repositorio institucional – Universidad Nacional de Loja.
- Díaz, M., Kuttel, W., & López, R. (2011). *Rendimiento y componentes numéricos de híbridos de sorgo granífero en el centro oeste de la provincia de Entre Ríos*. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4tPbR33er8YJ:https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-rendimiento-y-componentes-numericos-de-hbridos-s.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- Díaz-Ortega, A. C., Escalante-Estrada, J. A., Trinidad-Santos, A., Sánchez-García, P., Mapes-Sánchez, C., & Martínez-Moreno, D. (2004). Yield, agronomic efficiency of nitrogen

and water use in amaranth as affected by crop management. *Terra: Organo Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, AC*.

Eyherabide, G. H., Totis de Zeljkovich, L. E., Cirilo, A., Andrade, F., Otegui, M., Maddonni, G., Vega, C., Valentinuz, O., Presello, D. A., & Iglesias, J. (2012). *Bases para el manejo del cultivo del maíz*.

Fawy, H. A., Attia, M. F., & Hagab, R. H. (2017). Effect of nitrogen fertilization and organic acids on grains productivity and biochemical contents of Quinoa plant grown under soil conditions of Ras Sader-Sinai. *Egyptian Journal of Desert Research*, 67(1), 171-185.

Frigerio, K. L., Blanco, E. M., Privitello, J. M. L., Panza, A. A., & Frasinelli, C. A. (2016). Curva de dilución e índice de nutrición nitrogenada para *Digitaria eriantha* cv. Irene bajo diferentes regímenes de agua y nitrógeno. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(2), 175-185.

Parra, M. Á. G., Molano, J. F. G., Ortíz, D. I. M., & Oyola, Y. A. D. (2017). Respuesta agronómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad dulce de Soracá a la fertilización en Ventaquemada-Boyacá. *Cultura científica*, (15), 66-77.

Garrido, M., Silva, P., Silva, H., Muñoz, R., Baginsky, C., & Acevedo, E. (2013). Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. *Idesia (Arica)*, 31(2), 69–76. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292013000200010>

Geren, H. (2015). Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 20(1), 59–64.

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/>

- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). Guía del cultivo de la quinoa. In FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina (Universidad, Vol. 1). FAO y Universidad Agraria La Molina. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Izquierdo, J., Mujica, A., Jacobsen, S., & Marathe, J. P. (2001). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.
- Jiang, J., Johansen, K., Stanschewski, C. S., Wellman, G., Mousa, M. A., Fiene, G. M., Asiry, K. A., Tester, M., & McCabe, M. F. (2022). Phenotyping a diversity panel of quinoa using UAV-retrieved leaf area index, SPAD-based chlorophyll and a random forest approach. *Precision Agriculture*, 23(3), 961–983.
- Jiménez, H. & Garduño, J. (2021). Determinación de la curva de dilución de nitrógeno en la producción de materia seca de avena forrajera (*Avena sativa* L.). [Tesis en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma del Estado de México] Repositorio institucional – Universidad Autónoma del Estado de México.
- Kakabouki, I., Bilalis, D., Karkanis, A., Zervas, G., & Hela, D. (2014). Effects of fertilization and tillage system on growth and crude protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An alternative forage crop. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 18-24.
- 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>
- Khanzada, A., Ansari, M., Chang, B., Rajput, A., Magsi, F., & Ali Leghari, U. (2016). Evaluating Right Timing and Splitting Nitrogen Application Rates for Enhanced Growth and Yield of Sunflower. *European Academic Research*, 4, 5986–6007.

- Lang, C. A. (1958). Simple microdetermination of Kjeldahl nitrogen in biological materials. *Analytical Chemistry*, 30(10), 1692-1694.
- Lanza, J. G., Churión, P. C., & Gómez, N. (2016). Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos. *Saber*, 28(2), 245–249.
- Leesawatwong, M., Jamjod, S., Kuo, J., & Rerkasem, B. (2005). Nitrogen Fertilizer Increases Seed Protein and Milling Quality of Rice. *Cereal Chemistry - CEREAL CHEM*, 82, 588–593. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0588>
- M, R., & Luis, J. (1994). *Eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno por cultivos anuales en futura agricultura sustentable*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/35357>
- Mendoza Nieto, E., Luis Olivas, D., Mejía Domínguez, C. M., & García Cochagne, J. (2016). Fertilización nitrogenada en el rendimiento de dos variedades de quinua. *Infinitum Vol. 6. Núm. 1 (2016). Pg. 11-15*.
- Molina Jara, V. P., Retamales Aranda, J. (Prof G., & Lobos Prats, G. A. (Prof I. (2010). *Determinación del contenido de clorofila y nitrógeno foliar mediante Spad en Vaccinium corymbosum L.* [Tesis, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía]. <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/8151>
- Morillo, A. C., Manjarres, E. H., & Morillo, Y. (2020). Morphoagronomic evaluation of 19 of Chenopodium quinoa materials in the Boyacá Department. *Bioteconología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(1), 84–96. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1416>
- Pando, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Universidad Nacional Agraria La Molina*, 2, 17–18.

- Parra, M. Á. G., Molano, J. F. G., Ortíz, D. I. M., & Oyola, Y. A. D. (2017). Respuesta agronómica de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad dulce de Soracá a la fertilización en Ventaquemada-Boyacá. *Cultura Científica*, 15, Article 15.
- Parwada, C., Mandumbu, R., Tibugari, H., Badze, D., & Mhungu, S. (2020). Effect of soil fertility amendment, planting density and growing season on *Chenopodium quinoa* Willd (Quinoa) in Zimbabwe. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1792668. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1792668>
- Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.-E., Jensen, C. R., & Andersen, M. N. (2012). Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management*, 109, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.02.002>
- Rivacoba, L. R. (2016). *Evaluación de medidas de nitrógeno en planta para su uso como sistema de recomendación de abonado nitrogenado en el cultivo de coliflor* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de La Rioja]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50246>
- Sánchez, A., Delgado, R., Lorbes, J., Rodríguez, V., Figueredo, L., & Gómez, C. (2015). Diagnosis and index for nitrogen fertilization in vegetative stage in corn (*Zea mays* L.) crop. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología, Producción Agrícola*, 33, 75-82.
- Santos Castellanos, M., Segura Abril, M., & Núñez López, C. E. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5253-5266.
- Satorre, E. H., Benech Arnold, R. L., Slafer, G. A., De la Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E., & Savin, R. (2004). Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo.

- Schmöckel, S. M., Lightfoot, D. J., Razali, R., Tester, M., & Jarvis, D. E. (2017). Identification of Putative Transmembrane Proteins Involved in Salinity Tolerance in *Chenopodium quinoa* by Integrating Physiological Data, RNAseq, and SNP Analyses. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01023>
- Schulte auf'm Erley, G., Kaul, H.-P., Kruse, M., & Aufhammer, W. (2005). Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy*, 22(1), 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.11.002>
- SIPA. (2021). *Boletín Situacional Quinoa 2021*. <https://online.fliphtml5.com/ijia/mmzm/>
- Sorbet Pezonaga, S. (2013). *Utilidad del medidor de clorofilas (SPAD-502®) en los programas de fertilización nitrogenada de trigo (Triticum aestivum L.) en regadío*. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/8785>
- Vilca Vives, J., & Carrasco Aquino, G. (2013). Manejo integrado en el cultivos de quinoa. *Lima: UNALM*.
- Vizcaíno, M. J. V., Donoso, A. M. G., & Cañadas, V. M. B. (2021). Una mirada al trabajo femenino del cultivo de la quinoa, en la Región Andina. *Revista Geográfica*, 162, Article 162. <https://doi.org/10.35424/regeo.162.2021.1003>
- Wang, N., Wang, F., Shock, C. C., Meng, C., & Qiao, L. (2020a). Effects of Management Practices on Quinoa Growth, Seed Yield, and Quality. *Agronomy*, 10(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030445>
- Wang, N., Wang, F., Shock, C. C., Meng, C., & Qiao, L. (2020b). Effects of Management Practices on Quinoa Growth, Seed Yield, and Quality. *Agronomy*, 10(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030445>

Ziadi, N., Brassard, M., Bélanger, G., Cambouris, A. N., Tremblay, N., Nolin, M. C., ... & Parent, L. É. (2008). Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in eastern Canada. *Agronomy Journal*, 100(2), 271-276.

Zubillaga, M. F., Quichán, S., & Barrio, D. A. (2009). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento, la fenología y la calidad nutricional de *Amarantus cruentus* en el Valle Inferior del Río Negro. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), 8500, 1-7.

12. Anexos



Anexo 1. Delimitación de parcelas.



Anexo 2. Pesaje y dosificación de Urea al 46%.



Anexo 3. Siembra a chorro continuo de semillas.



Anexo 4. Emergencia de semillas.



Anexo 5. Medición de altura (cm).



Anexo 6. Registro de lecturas SPAD.



Anexo 7. Medidor de Área foliar.



Anexo 8. Pesaje de las muestras.



Anexo 9. Secado de las muestras en estufa.



Anexo 10. Cosecha



Anexo 11. Registro lecturas SPAD durante la fase de floración.



Anexo 12. Aplicación de urea previo a la siembra.



Anexo 13. Antesis completa en plantas de quinua var. Tunkahuan.

FICHA TECNICA DEL PRODUCTO No. 035	
Nombre Comercial del Producto: UREA GRANULADA	
Fórmula Química: CO(NH ₂) ₂	
Uso/ Aplicación: Como fertilizante simple y en formulaciones para uso agrícola	
Presentación: Granulado	
Tipo: La Urea contiene Nitrógeno ureico ó amídico, producto de la reacción del amoniaco con CO ₂	
Especificaciones Técnicas	
Químicas:	% Concentración: 46 % N (+/- 0.88 % N)
Físicas:	*Densidad: 0.7 – 0.8 gr/cc
	Color: Blanco
	Granulometría: 2 – 4 mm 90%
	Humedad: 1 % máx.
	% Biuret 1 % máx.
*Parámetro referencial para cálculo de cantidades (no afecta la calidad del producto)	

Anexo 14. Ficha técnica de la Urea.

BBCH Code	Description
Two-digit	
Principal growth stage 0: germination	
00	Dry seed
01	Initiation of seed imbibition
03	Seed imbibition completed
05	Radicl emergence from seed
07	Emergence of hypocotyl
08	Hypocotyl with cotyledons growing towards soil surface
09	Emergence of cotyledons through soil
Principal growth stage 1: leaf development	
10	Cotyledons fully emerged
11	First pair of leaves visible
12	Second pair of leaves visible
1.	Coding continues with the same scheme
19	Nine pair of leaves visible. If required, coding can continue following the same scheme.
Principal growth stage 2: formation of side shoots	
20	Visible lateral buds or expanded leaves without lateral stems
21	One side shoot visible
22	Two side shoots visible
2.	Coding continues with the same scheme
29	Nine side shoots visible. If required, coding can continue following the same scheme.
Principal growth stage 3: stem elongation (omitted)	
Principal growth stage 4: development of harvestable vegetative parts (omitted)	
Principal growth stage 5: inflorescence emergence	
50	Inflorescence present but still enclosed by leaves
51	Leaves surrounding inflorescence separated, inflorescence is visible from above
59	Inflorescence visible, but all the flowers are still closed
Principal growth stage 6: flowering	
60	Beginning of anthesis: main inflorescence flowers with first extruded anthers
67	Early end of anthesis: main inflorescence flowers with first senesced anthers
69	Complete anthesis: main inflorescence flowers with senesced anthers
Principal growth stage 7: fruit development	
70	Fruit set: ovary thickening and first visible grains in the main stem
Principal growth stage 8: ripening	
81	Milky grain, easily crushed with fingernails, liquid content and green pericarp
85	Thick grain, easily crushed with fingernails, white pasty content, green, beige, red or black pericarp
89	Ripe grain, difficult to crush with fingernails, dry content, the grain has a beige, red or black colour on its outside. Ready to harvest.
Principal growth stage 9: senescence	
91	Only basal leaves are dry
93	Leaves of the first half portion of the plant, starting from the base, are dead

Anexo 15. Escala fenológica BBCH elaborada por (Sosa et al., 2017).

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

andrea.s.carrion@unl.edu.ec

Loja-Ecuador

Loja, 15 de febrero del 2024

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EN 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: **Samantha Beatriz Maita Garrido** con cédula de ciudadanía **No. 1105665739**, cuyo tema de investigación se titula: **"Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* var. *Tunkahuan*) bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada en el sector La Argelia, 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: 2024.02.15
09:27:45 -06'00'

Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.

English Professor

Anexo 16. Certificado de traducción del resumen.

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

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

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

DATOS DEL CLIENTE

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

DATOS DE LA MUESTRA:

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


RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-1585	Quinoa 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.

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

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

Observaciones:

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

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

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

FUENTE: INIAP. 2002



Firmado digitalmente por:
PABLO XAVIER ATAPUMA ACUNA

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

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

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

Anexo 17. Análisis de suelo.