



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica

Respuesta agro-fisiológica a la fertilización nitrogenada, y eficiencia de uso del nitrógeno en quínoa en una región interandina de Loja

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Wagner Adrian Oviedo Castillo

DIRECTOR:

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 6 de marzo del 2023

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del trabajo de Titulación denominado: **Respuesta agro-fisiológica a la fertilización nitrogenada, y respuesta de uso del nitrógeno en quínoa en una región interandina de Loja**, de autoría del estudiante **Wagner Adrian Oviedo Castillo**, con cédula de identidad Nro. 1105907081, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación para los trámites de titulación.



Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Wagner Adrian Oviedo Castillo**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación 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 Titulación, en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:



Número de cédula: 1105907081

Fecha: 08/05/2023

Correo electrónico: wagner.oviedo@unl.edu.ec

Celular: 0960552633

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

Yo, **Wagner Adrian Oviedo Castillo**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Respuesta agro-fisiológica a la fertilización nitrogenada, y eficiencia de uso del nitrógeno en quínoa en una región interandina de Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrónomo**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de mayo del dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Wagner Adrian Oviedo Castillo

Cédula: 1105907081

Dirección: Esteban Godoy (Tnte. Geovanny Calles y Cabo Gonzalo Montesdeoca)

Correo electrónico: wagner.oviedo@unl.edu.ec

Celular: 0960552633

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Dedicatoria

A Dios por darme salud, perseverancia y la fuerza necesaria para no decaer en este largo pasaje hacia esta meta.

A mi padre Willan Oviedo y a mi madre Celia Castillo por bendecirme con su cariño, brindarme consejos, impartirme sus valores y hacer de mí una mejor persona. A mis hermanos Ronald y Zuli Oviedo por ofrecerme siempre su apoyo incondicional.

Wagner Adrian Oviedo Castillo

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por poner a disposición todas sus instalaciones y darme la oportunidad de formarme profesionalmente. A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica por compartir sus experiencias y saberes científicos en mi formación académica.

A mi director de tesis, PhD Santiago Vázquez por guiarme e impartirme sus conocimientos, por la paciencia brindada y por la disposición de su tiempo en todo mi trabajo de Titulación. A la Ingeniera Beatriz Guerrero y la Ingeniera Tania Sarango por ayudarme con su preparación técnica en la etapa de laboratorio. Finalmente agradecer a mis compañeros y amigos Manuel González, Ángel Uchuari, Jackeline Salinas, Zoila Sanmartín y Caty Correa por todo el apoyo brindado en el transcurso de todos estos años de formación, gracias por a todos por ser parte de este proceso.

Wagner Adrian Oviedo Castillo

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tablas	x
Índice de Anexos	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.2. Abstract	3
3. Introducción	4
Objetivo General	6
Objetivos específicos	6
4. Marco Teórico	7
4.1. Origen y distribución	7
4.2. Clasificación taxonómica de la quínoa	7
4.3. Descripción botánica.....	7
4.4. Requerimientos edafoclimaticas	8
4.4.1. <i>Temperatura</i>	8
4.4.2. <i>Humedad y precipitación</i>	8
4.4.3. <i>Fotoperiodo</i>	8
4.4.4. <i>Suelos</i>	8
4.5. Fenología de la quínoa	9
4.6. Importancia nutricional de la quínoa	11
4.7. Importancia del Nitrógeno en la quínoa.....	11
4.8. Fertilizantes nitrogenados	11
4.9. Eficiencia del uso de nitrógeno	12
4.9.1. <i>Eficiencia de absorción o recuperación del N.</i>	13

4.9.2. <i>Eficiencia de utilización del N</i>	13
4.10. Rendimiento.....	14
4.11. Variedades	14
5. Metodología	16
5.1. Ubicación del área de estudio	16
5.2. Establecimiento del cultivo y manejo agronómico	16
5.3. Descripción de los tratamientos	16
5.4. Metodología para el primer objetivo específico	17
5.4.1. <i>Fenología</i>	17
5.4.2. <i>Determinación del rendimiento y sus componentes</i>	18
5.5. Variables de crecimiento.....	18
5.6. Metodología para el segundo objetivo específico.....	19
5.6.1. <i>Acumulación de nitrógeno en las plantas</i>	19
5.6.2. <i>Clorofila (Lectura SPAD)</i>	19
5.6.3. <i>Determinación de la eficiencia de uso de nitrógeno</i>	20
5.7. Análisis estadístico.....	21
6. Resultados.....	22
6.1. Resultados para el primer objetivo.....	22
6.1.1. <i>Fenología</i>	22
6.2. Resultados para segundo objetivo.....	25
6.2.1. <i>Clorofila (Lectura SPAD)</i>	25
6.2.2. <i>Eficiencia de uso del Nitrógeno, eficiencia Agronómica, eficiencia fisiológica y eficiencia de recuperación.</i>	26
6.3. Dosis agronómica óptima.....	27
6.4. Correlaciones entre las variables de estudio	28
7. Discusión	28
8. Conclusiones	32
9. Recomendaciones	32
10. Bibliografía.....	33
11. Anexos.....	37

Índice de Figuras

- Figura 1.** Fenología del cultivo de quínoa var. Tunkahuan medida en la escala fenológica BBCH, en función de los días después de la siembra. Verde: Emergencia (BBCH 09); Rojo: Hojas verdaderas (BBCH 14); Azul: Brotes laterales (BBCH 28); morado: Inflorescencia, flores aun cerradas (BBCH 59); Naranja: Floración (BBCH 60); amarillo: Desarrollo del fruto (BBCH 70); Café: Senescencia (BBCH93)..... **22**
- Figura 2.** Altura de planta (a) y biomasa aérea seca (b) promedio del genotipo de quínoa var. Tunkahuan bajo 5 niveles de nitrógeno. Letras iguales junto a cada línea no expresan diferencia estadística entre tratamientos mediante el análisis de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras sobre los símbolos indica el error estándar de la media considerandotres repeticiones.....**23**
- Figura 3.** Cobertura vegetal (a) e índice de área foliar (b) en quínoa var. Tunkahuan bajo 5niveles de nitrógeno. Letras iguales junto a las líneas no expresan diferencia estadística entre tratamientos mediante el análisis de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras sobre los símbolos indica el error estándar de la media considerando tres repeticiones. **24**
- Figura 4.** Lectura SPAD en función de los días después de la siembra y en función de la cantidad de nitrógeno aplicado (a), Nitrógeno en la biomasa (%) en función de la lectura SPAD (b) en las etapas fenológicas correspondientes a los estadios BBCH 19, 28 y 59..... **26**
- Figura 5.** Eficiencia agronómica (a), eficiencia fisiológica (b), eficiencia de recuperación (c) y eficiencia de uso del nitrógeno (d) del genotipo de quínoa var. Tunkahuan bajo 5 niveles de nitrógeno. Las barras verticales representan la eficiencia del nitrógeno cuando se aplicó las diferentes dosis de este nutriente. La línea sobre las barras indica el error estándar de la media considerando tres repeticiones. Letras iguales sobre cada barral no muestran diferencia significativa mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)..... **27**
- Figura 6.** Dosis óptima de nitrógeno en función de 5 niveles de nitrógeno aplicado..... **27**

Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de nitrógeno aplicados al cultivo de quínoa var. Tunkahuan.....	17
Tabla 2. Medias de rendimiento del grano, sus componentes, índice de cosecha y proteína del grano de la variedad de quínoa Tukahuan bajo los diferentes niveles de nitrógeno.	25
Tabla 3. Correlaciones entre las variables de estudio en quínoa var. Tunkahuan	28

Índice de Anexos

Anexo 1. Establecimiento del cultivo	37
Anexo 2. Registro de datos en campo	37
Anexo 3. Etapa de madurez fisiológica (inicio de la cosecha).....	37
Anexo 4. Registro de datos en laboratorio	38
Anexo 5. Estimación del nitrógeno mediante el método kjeldahl.....	39
Anexo 6. Análisis estadístico variables de crecimiento	40
Anexo 7. Análisis estadístico del rendimiento	40
Anexo 8. Análisis estadístico: eficiencia agronómica, fisiológica, de recuperación y eficiencia de uso del N.	40
Anexo 9. Diseño Experimental (Diseño completamente al azar)	41
Anexo 10. Escala fenológica BBCH elaborada por (Sosa-Zuniga et al., 2017).....	42
Anexo 11. Análisis de suelo	43
Anexo 12. Certificado de traducción Abstract	44

1. Título

Respuesta agro-fisiológica a la fertilización nitrogenada, y eficiencia de uso del nitrógeno en quínoa en una región interandina de Loja

2. Resumen

La quínoa es un cultivo de origen andino que ha ido ganando importancia en los últimos años debido a su gran capacidad de adaptación a diferentes ambientes y, por otro lado, a su elevado contenido nutricional. En Ecuador se cultiva principalmente en la región interandina. Los rendimientos nacionales son considerados bajos, a nivel de pequeños productores se han reportado datos que no sobrepasan la tonelada por hectárea. El mal manejo agronómico es una de las causas de estos rendimientos. En este contexto, la nutrición, y en particular el uso del nitrógeno (N) es esencial para elevar la producción. El presente estudio evaluó la respuesta productiva a la fertilización nitrogenada de la variedad de quínoa Tunkahuan, para luego determinar una dosis óptima en función de una dosis de N y de la eficiencia de uso de este nutriente, para lo cual se aplicaron cinco dosis (tratamientos) de N (0, 50, 100, 200 y 400 kg N ha⁻¹). El experimento se estableció en un diseño completamente al azar, se analizaron los datos con análisis de varianza y con pruebas de comparación múltiple Tukey al 5 %. Los rendimientos oscilaron entre 1,46 y 3,41 t ha⁻¹, presentando con la dosis de 200 kg N ha⁻¹ el mayor rendimiento. El contenido de proteína en el grano estuvo entre 14,80 % y 17,01 %. La mayor eficiencia agronómica se encontró con 50 kg N ha⁻¹ con 13,66 kg de grano por kg N aplicado. Para la eficiencia fisiológica la aplicación de 200 kg N ha⁻¹ produjo el mayor valor con 20,20 kg de grano por kg de N absorbido. La eficiencia de recuperación y la eficiencia de uso de N presentaron una dinámica similar, al aplicar 50 kg N ha⁻¹ se produjo una mayor eficiencia con 82,46 % y 39,72 kg de grano por kg de N aplicado. Bajo las condiciones de este experimento la dosis agronómica óptima fue de 135,00 Kg N ha⁻¹ para lograr un rendimiento de 3 t ha⁻¹.

Palabras clave: rendimiento, eficiencia agronómica, eficiencia fisiológica, dosis óptima.

2.2. Abstract

Quinoa is a crop of Andean origin that has been gaining importance in recent years due to its great capacity to adapt to different environments and, on the other hand, its high nutritional content. In Ecuador it is grown mainly in the inter-Andean region. National yields are considered low; at the level of small producers, data have been reported that do not exceed one ton per hectare. Poor agronomic management is one of the causes of these yields. In this context, nutrition, and in particular the use of nitrogen (N), is essential to increase production. The present study evaluated the productive response to nitrogen fertilization of the quinoa variety Tunkahuan, in order to determine an optimum dose as a function of N dose and the efficiency of use of this nutrient, for which five doses (treatments) of N (0, 50, 100, 200 and 400 kg N ha⁻¹) were applied. The experiment was established in a completely randomized design, and the data were analyzed with analysis of variance and Tukey 5 % multiple comparison tests. Yields ranged from 1.46 to 3.41 t ha⁻¹, with the 200 kg N ha⁻¹ dose having the highest yield. Grain protein content ranged from 14.80 % to 17.01 %. The highest agronomic efficiency was found with 50 kg N ha⁻¹ with 13.66 kg of grain per kg N applied. For physiological efficiency, the application of 200 kg N ha⁻¹ produced the highest value with 20.20 kg of grain per kg of N absorbed. Recovery efficiency and N use efficiency showed similar dynamics, with the application of 50 kg N ha⁻¹ producing the highest efficiency with 82.46 % and 39.72 kg of grain per kg of N applied. Under the conditions of this experiment, the optimum agronomic dose was 135.00 kg N ha⁻¹ to achieve a yield of 3 t ha⁻¹.

Key words: yield, agronomic efficiency, physiological efficiency, optimum dose.

3. Introducción

La quínoa (*chenopodium quinoa* Willd) pertenece a la familia Amaranthaceae y es originaria de América del sur, cultivada principalmente en Bolivia, Perú y Ecuador García-Parra et al. (2018). La quínoa debido a su alto contenido de proteína y a su adaptabilidad a condiciones de cultivo desfavorable es considerada como un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria. Tiene un contenido proteico intermedio, menor que el de las leguminosas y mayor que el de los cereales, llegando a alcanzar en el grano un contenido de proteína de hasta el 23 % en la senescencia (Bascuñán-Godoy et al., 2018).

Los rendimientos de la quínoa son muy variados de acuerdo al país en donde es cultivada, en Ecuador en el ciclo productivo 2015 – 2016 el rendimiento alcanzado no superó las 1, 36 t ha⁻¹ (Uquillas et al., 2019), a pesar que en el país las condiciones son favorables para su desarrollo, reportándose que puede llegar a alcanzar rendimientos de hasta 11 t ha⁻¹ (MAG, 2013). La nutrición de la planta es un factor que determina el rendimiento, por lo que comprender los ciclos de nutrientes es esencial para mejorar el manejo nutricional de los cultivos (Cárdenas-Castillo et al., 2021). En este sentido el nitrógeno es considerado como el macronutriente más importante ya que es un constituyente de distintos componentes celulares, incluidos los ácidos nucleicos, las proteínas y los aminoácidos, además es un factor determinante en todas las etapas de desarrollo de las plantas, desde la germinación de las semillas hasta la senescencia (Bascuñán-Godoy et al., 2018).

El rendimiento del cultivo de quínoa aumenta significativamente debido al suministro de N; se observó en un estudio realizado por Castillo (2021) un mayor rendimiento, área foliar, biomasa total y peso de las semillas a mayores dosis de nitrógeno. Miranda et al. (2012) indica que la quínoa responde favorablemente a niveles de N superiores a los 80 kg ha⁻¹. El aporte de N a la planta puede ser mediante el uso de fertilizantes orgánicos y sintéticos, siendo estos últimos los más utilizados convencionalmente. El fertilizante nitrogenado es un material estratégico importante para garantizar la calidad y la seguridad alimentaria y es la base material para mantener la capacidad agrícola y lograr un desarrollo agrícola sostenible (Geng et al., 2020). Pero por otra parte su uso excesivo trae consigo una gran amenaza al medio ambiente, provoca la acidificación del suelo, disminuye el contenido de materia orgánica, deteriora las propiedades físicas y químicas del suelo, causa volatilización del amoníaco y lixiviación de nitratos (Geng et al., 2020). Alrededor del 50 % del amoníaco se volatiliza a nivel mundial en el sector agrícola (Conijn et al., 2018).

La volatilización de amoníaco del fertilizante de urea registra entre 0 y 65 % y depende de las características ambientales y del suelo (Bishop & Manning, 2010; Bowles et al., 2018). Una aplicación más alta de N que los requerimientos del cultivo es la posible causa de bajas eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) y pérdidas de N en el suelo (Ghafoor et al., 2021). De hecho, las plantas absorben solo un promedio del 30 al 50 % del N aplicado, lo que genera una gran contaminación ambiental por la lixiviación de N (Bascuñán-Godoy et al., 2018). La eficiencia en el uso de nutrientes es crucial para aumentar el rendimiento y la calidad de los cultivos, al mismo tiempo que se reducen los aportes de fertilizantes y se minimiza el daño ambiental. El uso del fertilizante adecuado en la cantidad adecuada es una de las estrategias de manejo más importantes para aumentar la eficiencia de los fertilizantes y maximizar la productividad de los cultivos (Rawal et al., 2022).

La EUN se ha definido de múltiples formas; sin embargo, desde el punto de vista agronómico, se puede definir como el rendimiento producido por unidad de N aplicada. La EUN comprende tanto, en primer lugar, la capacidad de la planta para absorber N del suelo denominada "eficiencia de absorción de nutrientes" y, en segundo lugar, la capacidad de la planta para transferir N a los órganos de la planta y el rendimiento, conocida como "eficiencia de utilización de nutrientes" (Cárdenas-Castillo et al., 2021). EUN denota las relaciones entre la entrada total en comparación con la salida de nitrógeno. Esto es complejo e involucra absorción, metabolismo y redistribución en la planta (Bascuñán-Godoy et al., 2018). Sin embargo, la adopción de una estrategia completa de nutrición de cultivos permite mejorar la eficiencia, la rentabilidad y la sostenibilidad (Cárdenas-Castillo et al., 2021).

Los esfuerzos para aumentar la EUN es una preocupación importante en el sector agrícola durante décadas, ya que no solo su mal manejo daña el ambiente, si no que aumenta los costos de producción, provocando que la agricultura no sea rentable para los pequeños productores. En quínoa los estudios sobre la EUN son escasos en el país, por lo que surge la necesidad de conocer el valor crítico de N que potencia el rendimiento del cultivo, encontrando un equilibrio entre aplicación y eficiencia, lo que va a permitir luego ajustar planes de fertilización que optimicen el rendimiento y mitiguen la contaminación ambiental.

Objetivo General

- Evaluar la eficiencia de utilización de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de quínoa var. Tunkahuan en una región interandina de Loja.

Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en el genotipo de quínoa var. Tunkahuan en función de 5 niveles de nitrógeno aplicado.
- Evaluar la eficiencia agronómica y fisiológica del uso del nitrógeno en el genotipo de quínoa var. Tunkahuan en función de 5 niveles de nitrógeno aplicado.

4. Marco Teórico

4.1. Origen y distribución

La quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd) tienen su origen en el Altiplano de la Cordillera de los Andes (Miranda et al., 2012). Fue domesticada y sembrada durante miles de años en zonas que van desde el nivel de mar (0 a 500 m.s.n.m.), en valles cálidos de los andes (500 - 2 500 m.s.n.m.), en la sierra media (2 500 – 3 500 m.s.n.m.) hasta en la sierra alta (3 500 a 4 000 m.s.n.m.), surgiendo de esta forma nuevos ecotipos de esta especie (Pando & Aguilar, 2016).

4.2. Clasificación taxonómica de la quínoa

La quínoa taxonómicamente se clasifica en la división Magonoliophyta, clase Magnoliopsida, subclase Caryophyllidae, orden Caryophyllales, familia Chenopodiaceae, género *Chenopodium*, sección Chenopodia y subsección Cellulata. El género *Chenopodium* es el principal dentro de la familia Chenopodiaceae y tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies (Maughan et al., 2007).

4.3. Descripción botánica

La quínoa es una planta anual con un tallo erecto, y lleva hojas alternas que son diversamente coloreadas debido a la presencia de betacianinas. La planta tiene generalmente grandes números de ramas y un tamaño de hoja grande bien desarrollada. Presenta un sistema ramificado de raíz primaria (Bhargava et al., 2006; Gandarillas & Tapia, 1979), penetrando hasta 1,5 m por debajo de la superficie, que protege contra condiciones de sequía. Las hojas exhiben polimorfismo; las hojas superiores son lanceoladas mientras que las hojas inferiores son romboidales (Bhargava et al., 2006; Hunziker, 1943). La inflorescencia es una panícula, de 15 a 70 cm de largo, una característica importante de la quinua es la presencia flores hermafroditas y flores femeninas unisexuales.

Las flores hermafroditas están ubicadas en el extremo distal y tienen cinco lóbulos de perianto, cinco anteras y un ovario superior con dos o tres ramas estigmáticas (Bhargava et al., 2006; Hunziker, 1943). El fruto es un aquenio, compuesto por capas de perigonio, pericarpio y epispermo (Bhargava et al., 2006; Risi, 1984) de afuera hacia adentro, y puede ser cónico, cilíndrico o elipsoidal, con saponinas concentrada en el pericarpio. El tamaño y

el color de la semilla son variables (Bhargava et al., 2006; Mujica, 1994) donde el negro es dominante sobre rojo y amarillo, que a su vez son dominantes sobre el color blanco (Bhargava et al., 2006).

4.4. Requerimientos edafoclimaticas

4.4.1. Temperatura

La quínoa tiene la capacidad de adaptarse a climas cálidos-secos como el clima de la costa desértica, también a climas templados lluviosos como el de los valles interandinos y a los fríos y lluviosos de la sierra alta y el altiplano. Dependiendo de las variedades las temperaturas óptimas de crecimiento y desarrollo están en el rango de 15 a 25 °C (Pando & Aguilar, 2016).

4.4.2. Humedad y precipitación

La precipitación para el cultivo de quínoa varía de entre los 300 mm a 1 000 mm, siendo el rango de precipitación óptima el de 500 a 800 mm (Pando & Aguilar, 2016). Esta especie es sensible a la falta de humedad en los periodos críticos de: germinación-emergencia, que determina el establecimiento del cultivo, y el estado de crecimiento y llenado del fruto que determina la productividad. Para un buen establecimiento en campo se considera el tipo de suelo y la capacidad de almacenamiento de humedad del mismo, dependiendo de estos factores el rango optimo varía entre 60 a 100 mm (Pando & Aguilar, 2016).

4.4.3. Fotoperiodo

En el trópico sus variedades se destacan por una alta sensibilidad al fotoperiodo y por una larga fase hasta antesis. Las variedades de mayor sensibilidad al fotoperiodo y de menor longitud del ciclo de antesis son las del Altiplano de Perú y Bolivia y las quínoas del nivel del mar. La altitud sobre el nivel del mar afecta la duración del ciclo a antesis (Pando & Aguilar, 2016). En Ecuador las variedades que se siembran necesitan por lo menos de 15 días con 10 horas de luz cada día para llegar a antesis. Es recomendable evitar épocas con alta temperatura y días largos porque afectan el rendimiento al dañar el proceso de formación del grano (Pando & Aguilar, 2016).

4.4.4. Suelos

La quínoa puede crecer en un rango amplio de diferentes tipos de suelos, pero se adapta mejor a los de buen drenaje francos, semiprofundo y ricos en contenido de materia orgánica.

Se debe evitar suelos con problemas de filtración, porque dificultan el establecimiento inicial del cultivo y luego a lo largo del ciclo propician la podredumbre radicular. En cuanto al pH, este puede variar desde 4.5 hasta 9.0 (Pando & Aguilar, 2016).

4.5. Fenología de la quínoa

Sosa-Zuniga et al. (2017) adaptaron la escala fenológica BBCH para la quinua, esta se la describe a continuación:

Etapa de crecimiento principal 0: germinación

Esta etapa describe la germinación de la semilla hasta que los cotiledones emergen de la superficie del suelo. Las etapas secundarias comienzan con el inicio de la imbibición de semillas (etapa 03) y la emergencia de la radícula de la semilla (etapa 05). La germinación es epigea seguida por la emergencia del hipocótilo (etapa 07) el mismo crece con los cotiledones hacia la superficie (etapa 08). La etapa de germinación termina con la emergencia de los cotiledones a través de la superficie del suelo (etapa 09).

Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de la hoja

Esta etapa describe la aparición de las hojas fotosintéticas en el brote principal. Las hojas emergen en pares, por lo que se considera un par de hojas visible cuando las dos láminas de las hojas se separan. Esta etapa comienza cuando se separan los cotiledones (etapa 10), mientras que las apariciones de las hojas fotosintéticas en el brote principal determinan la etapa de crecimiento secundario. El primer par de hojas fotosintéticas visibles se codifica como estadio 11, seguido de la etapa 12 y sucesivamente.

Etapa de crecimiento principal 2: formación de brotes laterales

Esta etapa describe la formación de brotes. En la quinua, las apariciones de los brotes laterales pueden comenzar antes o después de la inflorescencia, dependiendo del genotipo. Un brote lateral se considera visible cuando muestra un cm o más de longitud. El primer lado se codifica como etapa 21, seguido por el segundo brote codificado como etapa 22.

Etapa de crecimiento principal 3: elongación del tallo (omitido)

Etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables (omitido)

Etapa de crecimiento principal 5: emergencia de la inflorescencia

Esta etapa describe cualitativamente el desarrollo de la inflorescencia en el brote principal. La emergencia de la inflorescencia ocurre antes del final de la etapa de desarrollo de la hoja en el brote principal (etapa 1). Primero, los botones de inflorescencia están cubiertos por hojas jóvenes y no son visibles (etapa 50). Después de la elongación de las hojas, la inflorescencia se hace visible (etapa 51). Esta etapa finaliza cuando la inflorescencia queda expuesta sin que las hojas la cubran, aunque todas sus flores siguen cerradas (etapa 59).

Etapa de crecimiento principal 6: floración

Esta etapa describe el desarrollo de las flores dentro de la inflorescencia principal. La floración comienza cuando se muestran las primeras anteras (etapa 60).

Etapa de crecimiento principal 7: desarrollo del fruto

Esta etapa describe el desarrollo de la fruta en el tallo principal. El desarrollo de la fruta comienza con el cuajado (etapa 70), que se define como el engrosamiento de ovario y presentación de los primeros granos visibles.

Principal etapa de crecimiento 8: maduración

Esta etapa describe la maduración de los granos. El grano se considera lechoso (etapa 81), grueso (etapa 85) y maduro (etapa 89), la etapa lechosa es característica de granos con pericarpio verde que son fácilmente aplastados con las uñas liberando un blanco contenido líquido. Los granos gruesos, por el contrario, tienen un color blanco con contenido pastoso cuando se trituran, y sus pericarpios son verdes, rojo o negro. Los granos maduros son difíciles de triturar y tienen un contenido seco; sus pericarpios son de color rojo o negro dependiendo de sus genotipos.

Etapa de crecimiento principal 9: senescencia

Esta etapa describe la senescencia de la planta después de la maduración de la fruta. La senescencia comienza en las hojas basales (etapa 91) y continúa hacia arriba (etapa 93). Entonces las hojas restantes se mueren, y el tallo se vuelve de color amarillo a marrón (etapa 95). Finalmente, toda la planta muere y se seca (etapa 97).

4.6. Importancia nutricional de la quínoa

La quínoa tiene importantes características nutricionales, las cuales son superiores a las de otros vegetales. Es un alimento completo, que posee todos los aminoácidos esenciales que requiere el ser humano. El grano de quinua contiene proteínas de alta calidad, varía entre 11 % y 20 %, se reporta que tiene un aporte proteico significativo (11,2 %), con un alto porcentaje de proteínas solubles (10,04 %) (Zambrano et al., 2019). El peso de una semilla de quinua tiene entre de 16 y 20 % de proteínas de alto valor biológico, entre ellos todos los aminoácidos esenciales, además, las hojas son también ricas en vitaminas y minerales, especialmente en calcio, fósforo y hierro (FAO, 2011). La grasa en la quinua no está presente en altos contenidos, pero su cantidad es mayor que en cereales como el trigo o la cebada, esto asegura que el valor energético sea mayor (Galwey et al., 1989).

4.7. Importancia del Nitrógeno en la quínoa

El nitrógeno es un nutriente mineral esencial que necesitan las plantas y es un componente celular donde están incluidos los ácidos nucleicos, las proteínas y los aminoácidos (Bascañán-Godoy et al., 2018). La disponibilidad y suministro de N varía en cada especie dependiendo de sus requisitos. En la quínoa su efecto positivo ha sido probado sobre el crecimiento y rendimiento del grano. Según Kakabouki et al. (2018) el rendimiento de grano de quínoa casi se duplicó de 1 790 kg ha⁻¹ bajo un tratamiento sin fertilizar a 3 495 kg ha⁻¹ bajo 120 kg N ha⁻¹; demostrando la importancia del nutriente en esta especie. Según Kaul et al. (2005) la quínoa es un cultivo que responde fuertemente a la fertilización nitrogenada.

Una importante cantidad del nitrógeno absorbido por la planta llega a los granos a la madurez y contribuye a la cantidad de proteína. Para la producción de aproximadamente 1 800 kg de grano, la quinua extrae del suelo entre 45 a 50 kg de nitrógeno, es decir, que para producir el grano con elevada calidad proteica, el cultivo requiere de 35 kg de nitrógeno por cada 1 000 kg de grano (Nicolas et al., 2019).

4.8. Fertilizantes nitrogenados

La producción agrícola se ve limitada por los fertilizantes, pues los cultivos absorben solo una fracción del fertilizante aplicado que se oscila entre el 10 y 60 % (Cabriales et al., 2002). El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados representa un problema que no solo repercute a la economía del productor, sino que también representa un problema para el suelo y el

medio ambiente (Herrera et al., 2000). Los fertilizantes comerciales representan aproximadamente la mitad de todo el N que llega a las tierras de cultivo del mundo y satisface las necesidades alimenticias de por lo menos el 40 % de la población, en la actualidad, casi todo el N de los fertilizantes comerciales se suministra o se deriva del amoníaco sintético, que tiene un 82 % de N, China es el principal país productor de amoníaco seguido de Estados Unidos y la India (Fixen & West, 2002).

Uno de los fertilizantes nitrogenados más utilizados es precisamente la urea, su uso ha incrementado drásticamente en los últimos 25 años (Bremner, 1995), posee un 46 % de N, es el fertilizante nitrogenado más utilizado y comercializado en el mundo. China (29 %) e India (18 %) son los mayores productores de este fertilizante (Fixen & West, 2002). Los primeros usuarios de la urea tuvieron que aprender a gestionar dos problemas asociados a su uso; en primer lugar, cuando la urea se aplica en superficie a los suelos, pueden perderse cantidades considerables del N mediante volatilización del NH_3 , con la consiguiente pérdida de valor como fertilizante. En segundo lugar, los primeros métodos de fabricación de fertilizantes de urea a menudo dieron lugar a concentraciones relativamente altas de biuret que son potencialmente dañinas para el crecimiento de las plantas (Mikkelsen, 1990).

4.9. Eficiencia del uso de nitrógeno

El nitrógeno es uno de los nutrientes más limitantes en la producción, y la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) aplicado es baja, esto es debido a varios factores, como la escorrentía, lixiviación y volatilización del nitrógeno, además, existe un desfase entre la liberación del N aplicado y la absorción del elemento por el cultivo. Normalmente, con el transcurso del tiempo, la disponibilidad del N aplicado al suelo disminuye y la necesidad del cultivo se incrementa (Valencia & Del Rosario, 2015).

Las plantas han desarrollado mecanismos versátiles para aumentar el uso de nitrógeno: cambios en la biomasa y la arquitectura de las raíces, expresión de transportadores de alta afinidad (amonio y nitrato), y enzimas relacionadas con la asimilación primaria como la nitrato reductasa (NR), nitrito reductasa (NiR), glutamina sintetasa (GS) y glutamato deshidrogenasa (GDH) que juegan un papel central en asimilación eficiente de N con baja disponibilidad de N (Bascañán-Godoy et al., 2018).

La eficiencia del uso de nitrógeno (EUN) se puede definir como el rendimiento máximo producido por unidad de nitrógeno aplicado, absorbido o utilizado por la planta para producir

grano y biomasa (Kakabouki et al., 2018). La EUN comprende tanto, en primer lugar, la capacidad de la planta para absorber N del suelo denominada "eficiencia de absorción de nutrientes" y, en segundo lugar, la capacidad de la planta para transferir N a los órganos de la planta y el rendimiento, conocida como "eficiencia de utilización de nutrientes" (Bascuñán-Godoy et al., 2018).

Existen diferentes ecuaciones para lograr calcular la EUN, teniendo en cuenta la eficiencia de absorción del N (EAbN) que es la cantidad de nutriente extraído por la planta durante su ciclo de vida, y la eficiencia de utilización del N (EUtN) que es la capacidad de incorporar a los procesos metabólicos responsables de la productividad primaria o a los frutos los nutrientes en el cultivo de quinua (Garcia & Salvagiotti, 2009).

$$EUN = EAbN \times EUtN$$

4.9.1. Eficiencia de absorción o recuperación del N.

Se expresa como la cantidad de N absorbido en los tejidos vegetales en función del nivel de N disponible en el suelo (Garcia & Salvagiotti, 2009).

$$EAbN = \frac{Kg\ N\ absorbido\ ha^{-1}}{mg\ N\ disponible\ kg^{-1}\ suelo}$$

4.9.2. Eficiencia de utilización del N

Es la cantidad de MS que se produce por cada kg de N absorbido en el tejido (Garcia & Salvagiotti, 2009).

$$EUtN = \frac{Kg\ MS\ ha^{-1}}{Kg\ N\ absorbido\ ha^{-1}}$$

Barbieri et al. (2018) indican otro método para calcular la EUN, esto mediante el producto de sus componentes, es decir, la eficiencia fisiológica (EF) y de recuperación (ER). En donde EF es igual al incremento de rendimiento en grano (kg) sobre el N absorbido del fertilizante y la ER está dado por N absorbido por el fertilizante (kg) sobre el N del disponible en el fertilizante. El N disponible es calculado como la suma entre el N mineral al momento de la siembra, el N mineralizado (N acumulado en grano por el testigo) y el N aplicado como fertilizante. Además, también menciona la eficiencia agronómica como la relación:

$$EA = \frac{\text{Incremento del rendimiento en el grano (Kg)}}{\text{Dosis de Nitrógeno (kg)}}$$

4.10. Rendimiento

En los cultivos, el rendimiento está sujeto a la capacidad de crecimiento y la producción de asimilados, el desarrollo resulta del aprovechamiento de la luz solar en la fabricación de los componentes constituyentes y funcionales de los distintos órganos de la planta (Córdova et al., 2015). El rendimiento está dado principalmente por tres componentes.

El primer componente es el número de macollas, que provoca un aumento de área foliar; el segundo componente es el número de granos por espiga, el mismo que identifica la etapa de crecimiento y el estado reproductivo (ATAEI, 2006). El tercer componente es el peso del grano; diversos genes individuales afectan el peso del grano, se ha demostrado que la translocación de materiales asimilados puede responder por cerca del 30 % de peso final del grano (Rios et al., 2011). En cultivos de grano este rendimiento puede ser muy variable dentro de las mismas especies.

En quínoa que es un cultivo que crece en diferentes partes del mundo, el rendimiento es muy variable, en Europa en países como Italia y Grecia se ha encontrado que la quínoa “danesa” ha alcanzado rendimientos de 2 280 y 3 960 kg ha⁻¹ respectivamente. Por otro parte, en Vietnam se alcanzando rendimientos de 1 125–1 685 kg ha⁻¹. En Kenia, de 4 t ha⁻¹, con los cultivares tardíos de Colombia y los valles interandinos dando el mayor rendimiento (Jacobsen, 2003). En nuestra región la producción de quinua ha ido creciendo paulatinamente. Los rendimientos se ven afectados por la interacción de los factores clima, suelo y tecnología, varían de 1 a 7 t ha⁻¹ (Gómez & Aguilar, 2016).

La quínoa ecuatoriana era relativamente constante y no superaba las 1 000 toneladas antes de 2010. Desde el año 2000 se comenzó a trabajar en diferentes proyectos como el establecimiento de socios productores y en programas de fitomejoramiento, dando como resultado para el año 2015 un record de producción de 12 000 toneladas. Este aumento se debió principalmente a las políticas gubernamentales que fomentó la producción de quínoa (Hinojosa et al., 2021). Existen otros reportes a nivel de pequeños productores de la sierra ecuatoriana que indican que los rendimientos a nivel de productor van de 300 a 1 000 kg ha⁻¹ esto debido a la interacción de múltiples factores que repercuten en la producción (Peralta, 2009).

4.11. Variedades

Las primeras variedades datan desde agosto de 1986 mediante el programa de Cultivos Andinos, en ese año se liberan las siguientes variedades: INIAP Cochasqui e INIAP Imbaya.

Seis años después se liberan las variedades INIAP Tunkahuan e INIAP Ingapirca de bajo contenido de saponina, de las cuales solo está vigente INIAP Tunkahuan. Las otras desaparecieron o se cree que se mezclaron con variedades criollas. En el 2007, se libera la variedad de quínoa INIAP Pata de Venado o Taruka Chaki (Peralta, 2009).

En el 2008, mediante el PRONALEG-GA del INIAP se inicia un programa que pretendía mejorar la quínoa por hibridación, buscando como objetivo principal tener un cultivar más precoz con mayor tamaño del grano y resistente a enfermedades causadas por hongo. En la actualidad las variedades vigentes son: INIAP Tunkahuan Y INIAP Pata de venado las cuales tienen un rendimiento de 2 000 kg ha⁻¹ y 1 400 kg ha⁻¹ respectivamente (Peralta, 2009).

Actualmente, “INIAP Tunkahuan” es la variedad más sembrada entre los agricultores, representando el 66 % del área total de quínoa con una productividad promedio de 1 300 kg ha⁻¹ (Hinojosa et al., 2021). Esta variedad puede ser sembrada desde los 2 200 a 3 200 msnm, por lo que su cultivo se da en región sierra del Ecuador. Se caracteriza por presentar un grano de color blanco con bajo contenido de saponina, de forma redonda y aplanada, tiene 16 % de proteína y su ciclo vegetativo es de 180 días. El rendimiento grano seco es de 1 500 – 3 000 kg ha⁻¹ (Peralta, 2009).

La eficiencia promedio de uso del nitrógeno en quínoa según Berti et al. (2000) es de 47,63 %, la eficiencia agronómica de 13,92 kg kg⁻¹ y 7,69 kg kg⁻¹ y la eficiencia fisiológica de 36,44 kg kg⁻¹. Nicolas et al. (2019) determinaron que la quínoa requiere 19 kg de nitrógeno, para producir una tonelada de rendimiento siendo la eficiencia de uso del nitrógeno de 53 kg de grano por cada kilogramo de nitrógeno extraído por el grano.

5. Metodología

5.1. Ubicación del área de estudio

El experimento se desarrolló en la Universidad Nacional de Loja en La Estación Experimental “La Argelia”, ubicada en el sector “La Argelia”, parroquia San Sebastián, en la ciudad de Loja (4°02'19.2"S 79°12'00.6"W) a 2 150 m.s.n.m. Según Holdridge (1987) el sector de estudio corresponde a la zona de vida conocida como bosque seco Montano Bajo (bs-Mb), con una temperatura anual promedio de 16 °C, una precipitación media de 900 mm y una humedad relativa ambiental de 65 %.

5.2. Establecimiento del cultivo y manejo agronómico

Antes de establecer el cultivo se realizó un análisis químico del suelo con la finalidad de ajustar el plan de fertilización, se corrigió el pH aplicando cal agrícola en razón de 1 t ha⁻¹ (Alfonso et al., 2017). Los nutrientes como el fósforo, potasio, calcio, azufre, boro, magnesio y zinc se aplicaron para cubrir las necesidades del cultivo, tomando en cuenta la extracción que realiza la planta de estos nutrientes, datos referidos por Basantes et al. (2015); (Pando & Aguilar, 2016). El manejo agronómico consistió en el deshierbe manual y en el control fitosanitario, para el mismo se utilizó el fungicida (Difenoconazol 24.60 %) y el insecticida (Lambdacihalotrina + Tiametoxam), conforme a los monitores realizados en campo (cada 15 días según la presencia de alguna plaga o enfermedad).

5.3. Descripción de los tratamientos

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), en donde se evaluó el efecto del nitrógeno en el genotipo de quínoa var. Tunkahuan. Se utilizaron cinco tratamientos: 0 kg ha⁻¹; 50 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹, 200 kg ha⁻¹ y 400 kg ha⁻¹, según lo mencionado en trabajos previos por Ziadi *et al.*, (2010). Todos los tratamientos fueron aplicados al momento de la siembra, para cada tratamiento se utilizaron tres repeticiones para un total de 15 unidades experimentales (UE), cada UE tuvo 2,5 m de largo y 3,5 m de ancho dando un total de 8,75 m². Las UE estuvieron conformadas por siete hileras, con un distanciamiento de 0,5 m por hilera y 0.1 m entre planta. El espacio entre UE fue de un metro y el área total del experimento de 268 m². El fertilizante nitrogenado que se utilizó fue Urea (46 %N) (Tabla 1).

Tabla 1.

Descripción de los tratamientos de nitrógeno aplicados al cultivo de quínoa var.

Tunkahuan

<i>Código</i>	<i>Tratamientos</i>	<i>Repeticiones</i>	<i>Momento de aplicación</i>
T1	0 kg ha ⁻¹	3	
T2	50 kg ha ⁻¹	3	A la siembra
T3	100 kg ha ⁻¹	3	A la siembra
T4	200 kg ha ⁻¹	3	A la siembra
T5	400 kg ha ⁻¹	3	A la siembra

Descripción de los tratamientos de nitrógeno aplicados al cultivo de quínoa var.

Tunkahuan

Fuente: Autor

Para determinar el rendimiento del cultivo y la eficiencia de uso del N (EUN), las plantas muestreadas se tomaron al azar de las hileras centrales de las parcelas (UE), y se lo realizó al momento de la madurez de cosecha del cultivo. Para evaluar el rendimiento se tomaron datos de sus diferentes componentes, y para evaluar la EUN se utilizaron ecuaciones, la metodología para lograr estos objetivos se describe a continuación.

5.4. Metodología para el primer objetivo específico

5.4.1. Fenología

El seguimiento fenológico se lo realizó cada 15 días, la duración de los estados fenológicos se registró cuando el 50 % de las plantas de la parcela llegó a cada etapa. Se utilizó como referencia para la determinación del estado fenológico la escala elaborada por Sosa-Zuniga et al. (2017) basada en la escala BBCH. Los datos de temperatura máxima, media y mínima se tomaron de la Estación Meteorológica del INHAMI La Argelia ubicada en las instalaciones de la Universidad Nacional de Loja.

5.4.2. *Determinación del rendimiento y sus componentes*

Para determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento se obtuvieron cinco plantas de las hileras centrales de las parcela y la ecuación que se utilizó fue la referida por Valdés Valdés et al. (2017).

$$R = NGm^2 * PG$$

Donde:

R = rendimiento

$NG m^2$ = número de granos por metro cuadrado

PG = peso de granos

Para calcular el número de granos por m^2 y el peso de 1 000 granos se colectaron cinco muestras (plantas) en estado de madurez fisiológica, para el número de granos se contabilizaron los granos obtenidos en las plantas colectadas y luego se obtuvo el número de granos por m^2 con la ecuación:

$$NGm^2 = NGP * NPm^2$$

En donde:

NGm^2 = Número de granos por m^2

NGP = número de granos por planta

NPm^2 = número de plantas por m^2

Para el peso del grano se tomaron 1 000 granos de las plantas muestreadas, se secaron en estufa a 65 ± 5 °C por cinco días. El índice de cosecha (IC) se calculó mediante la relación entre el rendimiento del grano y el rendimiento total de la biomasa aérea.

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

5.5. Variables de crecimiento

Además del rendimiento se evaluaron variables morfológicas: altura de la planta, el área foliar, la cobertura vegetal y la biomasa. Para evaluar la altura de la planta se hizo desde el cuello hasta el ápice central, se etiquetaron tres plantas por UE de las hileras centrales para este fin. Para estimar la cobertura vegetal se tomaron fotografías usando como base una

misma altura para todas las parcelas, las mismas se las realizo con ayuda de la aplicación “Canopeo” disponible para el sistema Android e IOS (Salvador-Castillo et al., 2021), las plantas seleccionadas fueron las utilizadas para determinar la altura, se tomaron datos de estas dos variables cada 15 días.

El área foliar se estimó mediante el uso del equipo laser CI-202, se midió el área de todas las hojas de 6 plantas muestreadas, para estimar el área foliar del resto de plantas se lo hizo mediante el ajuste de la ecuación: $y = 80,159x + 7,6076$. Luego se calculó el índice de área foliar (IAF) mediante la fórmula:

$$\text{IAF} = \frac{(\text{Área foliar})}{(\text{Área sembrada})}$$

Las muestras para determinar la biomasa se secaron en estufa a $65 \pm 5^\circ\text{C}$ por 3 días y se procedió a determinar su peso seco con ayuda de una balanza analítica. Para estas variables se tomaron dos plantas de cada UE en cada uno de los estadios fenológicos del cultivo, en el último muestreo se usaron las plantas destinadas para la cosecha.

5.6. Metodología para el segundo objetivo específico

5.6.1. Acumulación de nitrógeno en las plantas

La acumulación de nitrógeno en las plantas se determinó en la última fase de crecimiento para lo cual se utilizó la relación: pesos secos biomasa aérea (Bw) por concentración nitrógeno biomasa aérea (Bn) sobre 100 (Pliego et al., 2003).

$$\text{PNA} = \frac{Bw \ Bn}{100}$$

5.6.2. Clorofila (Lectura SPAD)

El contenido de clorofila (lectura SPAD) se midió usando el dispositivo SPAD 502, los muestreos se realizaron en las mismas fechas previamente informadas para las demás variables, se seleccionaron dos plantas de cada repetición y se midió en 2 hojas superiores completamente expandidas de cada planta. Las medidas se recogieron de la lámina foliar, evitando la nervadura central (Zhu et al., 2012).

5.6.3. *Determinación de la eficiencia de uso de nitrógeno*

La concentración de nitrógeno se utilizó para estimar el N en la biomasa y grano, además se empleó para determinar las eficiencias de uso de este nutriente y se lo analizó mediante el procedimiento Kjeldahl mediante el proceso de digestión, destilación y titulación.

La EUN se calculó en estado de madurez fisiológica, se tomaron como muestra cinco plantas de cada UE de las hileras centrales y se la calculó como la relación del rendimiento en el grano sobre la dosis de nitrógeno aplicado (Bascañán-Godoy et al., 2018).

$$EUN = \frac{\text{Rendimiento en el grano (kg)}}{\text{Dosis de nitrógeno(kg)}}$$

La eficiencia fisiológica, de recuperación y agronómica también fueron calculadas, para todos los tratamientos la eficiencia fisiológica (EF) se la obtuvo mediante la relación del incremento del rendimiento en el grano (kg) sobre el nitrógeno absorbido desde el fertilizante (kg).

$$EF = \frac{\text{Incremento del rendimiento en el grano (kg)}}{\text{Nitrógeno abosrbido desde el fertilizante (kg)}}$$

El incremento del rendimiento en el grano se lo calculó mediante la diferencia del N absorbido por los tratamientos fertilizados menos el testigo. Para la eficiencia de recuperación (ER) se utilizó la relación N absorbido del fertilizante (kg) sobre la dosis de nitrógeno aplicado (kg) por 100 (Bascañán-Godoy et al., 2018).

$$ER = \frac{\text{Nitrógeno absorbido del fertilizante (Kg)}}{\text{Dosis de Nitrógeno (kg)}} \times 100$$

Y para la eficiencia agronómica (EA) se utilizó la relación del incremento del rendimiento en el grano (kg) sobre la dosis de Nitrógeno:

$$EA = \frac{\text{Incremento del rendimiento en el grano (Kg)}}{\text{Dosis de Nitrógeno (kg)}}$$

Al final se obtuvo una dosis optima de nitrógeno la cual se la obtuvo mediante la intersección de la curva del rendimiento y la eficiencia del nitrógeno (Eficiencia Agronómica) que indicaron el punto donde existe un mayor rendimiento y una mejor eficiencia de N con una dosis adecuada (Franco Alvarado, 2018).

5.7. Análisis estadístico

Se tabularon los datos recolectados en una base de datos de Microsoft Excel, luego para su análisis estadístico se utilizó el programa Infostat versión libre (2020). Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANAVA), con un nivel de significancia del 5 %. Para determinar las diferencias estadísticas entre tratamientos se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P \leq 0,05$). Las gráficas presentadas se desarrollaron con ayuda del software GraphPAD Prisma 8. Además, se utilizó un análisis de correlaciones de Pearson entre las variables del crecimiento, el rendimiento y sus componentes, la proteína del grano y las eficiencias de uso del nitrógeno.

6. Resultados

6.1. Resultados para el primer objetivo

6.1.1. Fenología

En promedio el cultivo experimentó una temperatura máxima de 20 °C y mínima de 10 °C. La duración del ciclo del cultivo fue de 165 días, la primera etapa se registró a los 7 días y correspondió a la emergencia (BBCH 09), luego a los 57 DDS (días después de la siembra) se presentó (BBCH14) que correspondió a las hojas verdaderas, la etapa siguiente correspondió a la emergencia de los brotes laterales (BBCH 28), la misma que duro 32 días; la inflorescencia apareció a los 103 DDS (BBCH 59), permaneciendo en este estado 14 días para luego pasar a la floración (BBCH 60), después de 9 días comenzó el desarrollo del fruto (BBCH70), esta etapa duro 12 días y finalmente la senescencia (BBCH93) 40 días (Figura 1).

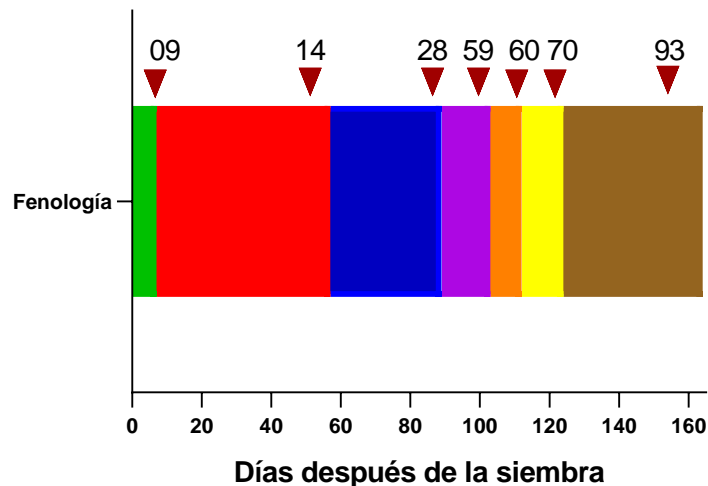


Figura 1. Fenología del cultivo de quínoa var. Tunkahuan medida en la escala fenológica BBCH, en función de los días después de la siembra. Verde: Emergencia (BBCH 09); Rojo: Hojas verdaderas (BBCH 14); Azul: Brotes laterales (BBCH 28); morado: Inflorescencia, flores aun cerradas (BBCH 59); Naranja: Floración (BBCH 60); amarillo: Desarrollo del fruto (BBCH 70); Café: Senescencia (BBCH93).

6.1.2. Altura de planta y Biomasa aérea

La fertilización nitrogenada provocó diferencias estadísticas en la altura de planta (Figura 2a) ($pvalue = 0,0248$) se puede observar que la altura llegó hasta 100 cm cuando se aplicaron

400 kg N ha⁻¹, cuando no se aplicó N la altura fue de 66 cm. Luego de los 128 DDS la altura se estabiliza hasta el final del ciclo de cultivo. Al realizar el test de Tukey se puede observar que el tratamiento de 400 y 200 kg N ha⁻¹ fue diferente a los demás tratamientos. En la figura 2b (*pvalue* = 0,0004) se puede observar que la biomasa aumenta exponencialmente, con 400 kg N ha⁻¹ y 200 kg N ha⁻¹ se presentó la mayor biomasa al llegar a los 150 DDS, posteriormente existió una leve estabilización con 400 kg N ha⁻¹ hasta llegar a la cosecha, obteniéndose una biomasa de 471,61 g m⁻². Con 200 kg N ha⁻¹ siguió aumentando obteniéndose a los 162 DDS la mayor biomasa con 556,307 g m⁻². La menor cantidad de biomasa (297,387 g m⁻²) se encontró al no aplicar N en el cultivo. Mediante el test de Tukey se observó que el tratamiento de 400 kg N ha⁻¹ fue diferente a las demás aplicaciones de N. Se comprobó que de manera general el desarrollo y crecimiento de la quínoa responde de manera directa a la dosis de N, a mayor dosis de este nutriente se incrementa la altura y biomasa. Además, se encontró una correlación positiva altamente significativa entre estas dos variables altura de planta y biomasa aérea seca (*p*<0,001) (Tabla 3).

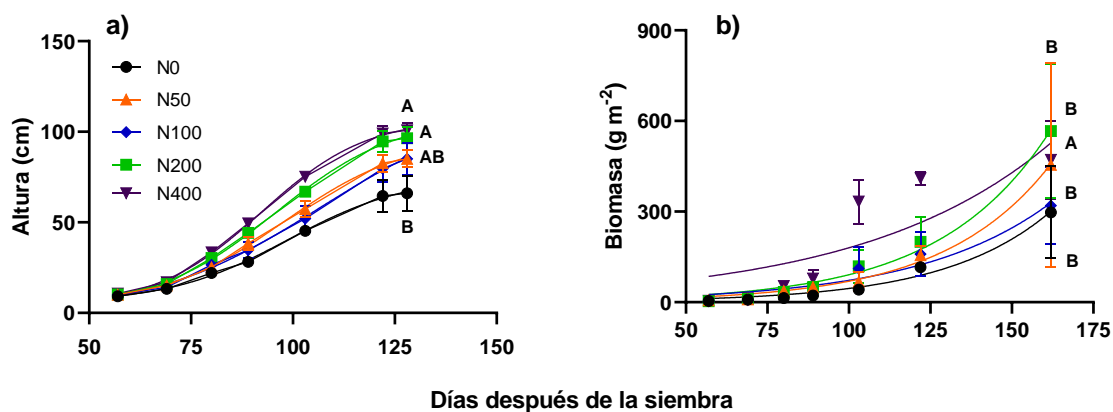


Figura 2. Altura de planta (a) y biomasa aérea seca (b) promedio del genotipo de quínoa var. Tunkahuan bajo 5 niveles de nitrógeno. Letras iguales junto a cada línea no expresan diferencia estadística entre tratamientos mediante el análisis de Tukey (*p*≤0,05). Las barras sobre los símbolos indica el error estándar de la media considerando tres repeticiones.

6.1.3. Cobertura vegetal e índice de área foliar (IAF)

En la figura 3a se puede observar la cobertura vegetal expresada en porcentaje en donde la dinámica de su desarrollo es similar a la de la altura, estabilizándose a los 110 DDS en todos los tratamientos a excepción del de 400 kg N ha⁻¹ que sigue creciendo levemente, para esta variable no se encontró diferencia significativa entre tratamientos (*pvalue* = 0,1488). Otra variable que se evaluó fue el índice de área foliar IAF, el cual nos indica la cantidad de

superficie fotosintéticamente activa con relación a la superficie ocupada por las plantas. Se puede observar en la figura 3b que el IAF llega a su máximo a los 103 días después de la siembra en todos los tratamientos, existiendo diferencia significativa entre ellos ($pvalue = 0,0011$), decayendo a los 122 días debido a la defoliación que se presentó en este punto al entrar la planta a la etapa final de su ciclo. Con el análisis de Tukey se observó que el tratamiento de 400 kg N ha^{-1} es diferente a los demás tratamientos evaluados. Además, se puede observar que existe una asociación altamente significativa ($p < 0,001$) entre estas dos variables (tabla 3).

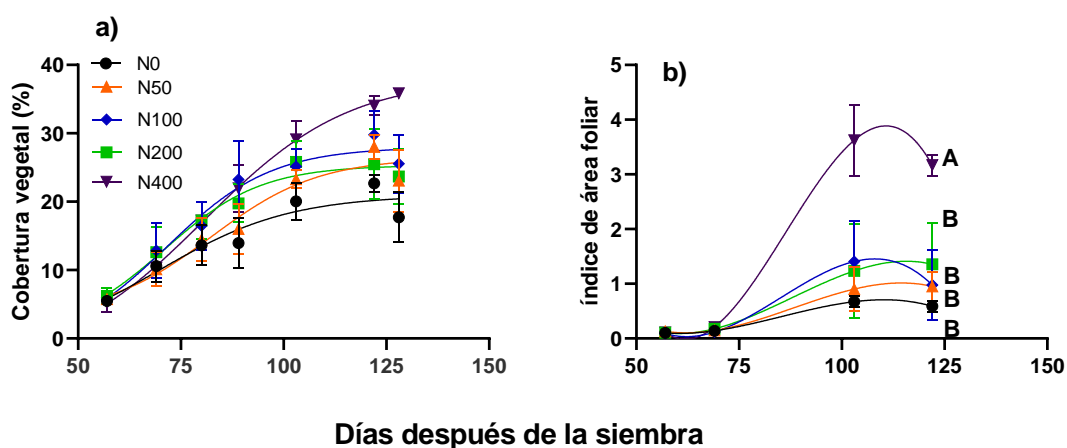


Figura 3. Cobertura vegetal (a) e índice de área foliar (b) en quínoa var. Tunkahuan bajo 5 niveles de nitrógeno. Letras iguales junto a las líneas no expresan diferencia estadística entre tratamientos mediante el análisis de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras sobre los símbolos indica el error estándar de la media considerando tres repeticiones.

6.1.4. Rendimiento y sus componentes

Los resultados del rendimiento y sus componentes se presentan en la tabla 2. Se puede observar que el rendimiento (t ha^{-1}) tuvo un efecto altamente significativo entre los tratamientos ($pvalue = 0,0006$), siendo en la aplicación de 200 Kg ha^{-1} en la que se presentó el mayor rendimiento ($3,41 \text{ T ha}^{-1}$). El número de granos por m^2 ($pvalue = 0,0290$); y la Biomasa g m^{-2} ($pvalue = 0,0267$); presentaron una diferencia significativa, creciendo estas dos variables conforme aumentaba la dosis de N aplicado. El peso de 1000 granos ($pvalue = 0,0045$) tuvo una diferencia muy significativa, siendo el tratamiento de 200 kg N ha^{-1} el que presentó mayor peso de granos. Para el índice de cosecha y la proteína del grano no se encontró ninguna diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 2.

Medias de rendimiento del grano, sus componentes, índice de cosecha y proteína del grano de la variedad de quínoa Tukahuan bajo los diferentes niveles de nitrógeno.

Nitrógeno (Kg ha⁻¹)	Rendimiento (T ha⁻¹)	Índice de cosecha	Número de granos (m²)	Peso de 1000 granos (gr)	Biomasa g m⁻²	Proteína grano
0 Kg ha ⁻¹	1,46 C	0,404	56774,86 B	2,60 B	360,25 B	14,80
50 Kg ha ⁻¹	2,06 BC	0,443	79166,05 AB	2,60 B	507,77 AB	14,70
100 Kg ha ⁻¹	2,12 AB	0,415	94616,37 AB	2,70 B	657,47 AB	16,53
200 Kg ha ⁻¹	3,41 A	0,381	98171,84 A	3,47 A	933,11 A	17,01
400 Kg ha ⁻¹	2,97 AB	0,335	94863,43 AB	3,20 AB	898,01 AB	16,57
CV	14,74	26,72	17,14	8,59	30,47	9,84
N	***	NS	*	**	*	NS

Los valores son medias de tres repeticiones. Letras iguales en sentido vertical no muestran diferencia significativa mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). NS= efecto no significativo $p > 0,05$; * efecto significativo $p < 0,05$, **efecto muy significativo $p < 0,01$; *** efecto altamente significativo $p < 0,001$; CV= Coeficiente de Variación.

6.2. Resultados para segundo objetivo

6.2.1. Clorofila (Lectura SPAD)

En la figura 4a se observa la lectura SPAD que evalúa cuantitativamente la intensidad del color verde en la hoja a lo largo del ciclo del cultivo, en donde se pudo encontrar diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ($pvalue = 0,0412$), teniendo una dinámica similar a las variables de crecimiento evaluadas en las aplicaciones de 400 kg N ha⁻¹ y 100 Kg N ha⁻¹, al no aplicar N se encontró la menor lectura SPAD. Al comparar las medias con el test de Tukey se observó que los tratamientos no fueron diferentes entre sí. La figura 4b ($pvalue = 0,0001$) muestra la concentración de N en función de la lectura SPAD en la fase fenológica BBCH 19 que corresponde al desarrollo de las hojas vegetativas, en la fase BBCH 29 que corresponde al desarrollo de los brotes laterales y en BBCH 59 que corresponde a la formación y desarrollo de la inflorescencia; en la misma se puede observar que la concentración de nitrógeno aumenta conforme incrementa la lectura SPAD.

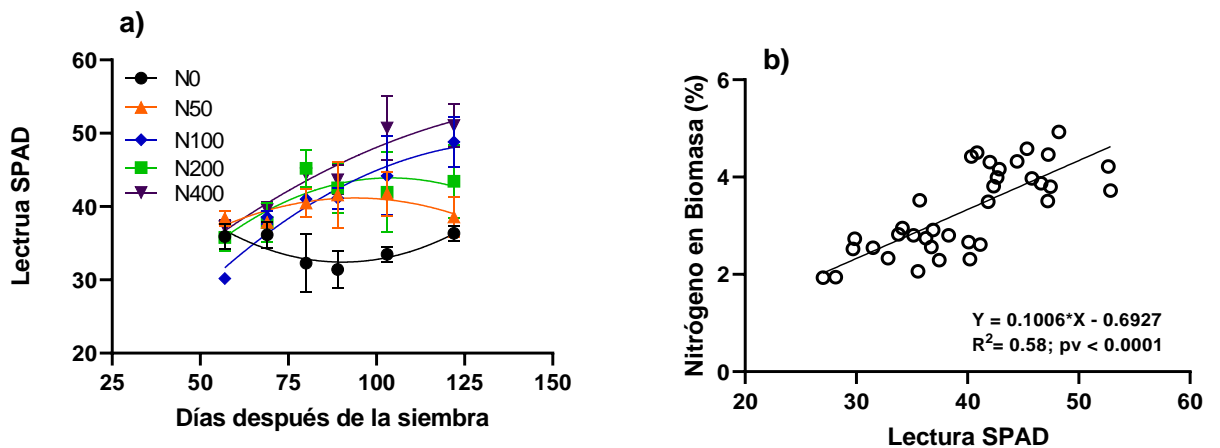


Figura 4. Lectura SPAD en función de los días después de la siembra y en función de la cantidad de nitrógeno aplicado (a), Nitrógeno en la biomasa (%) en función de la lectura SPAD (b) en las etapas fenológicas correspondientes a los estadios BBCH 19, 28 y 59.

6.2.2. Eficiencia de uso del Nitrógeno, eficiencia Agronómica, eficiencia fisiológica y eficiencia de recuperación.

En la figura 4a se puede observar que para la eficiencia agronómica sí se encontró diferencia significativa entre tratamientos (p value = 0,0201), al aplicar 50 kg N ha⁻¹ se estimuló significativamente la mayor eficiencia con 13.66 kg de grano por kg de N aplicado en comparación con la aplicación de 400 kg N ha⁻¹ que con 3.80 kg de grano por kg de N aplicado presentó la menor eficiencia. Para la eficiencia fisiológica no se encontraron diferencias significativas (figura 5b). En la eficiencia de recuperación sí se encontraron diferencias significativas (p value = 0,0275) (figura 5c), de acuerdo al test de Tukey el tratamiento de 50 kg N ha⁻¹ (82.57%) es significativamente diferente al de 400 kg N ha⁻¹ (28.63%). La eficiencia de uso del N también presentó diferencia significativa (p value = 0,0007) (figura 5d), al realizar el test de Tukey se puede observar que los tratamientos de 50 kg N ha⁻¹ (39.73 kg de grano por kg N aplicado), 100 kg N ha⁻¹ (26.64 kg de grano por kg N aplicado) y 400 kg N ha⁻¹ (14.87 kg de grano por kg N aplicado) son estadísticamente diferentes entre sí.

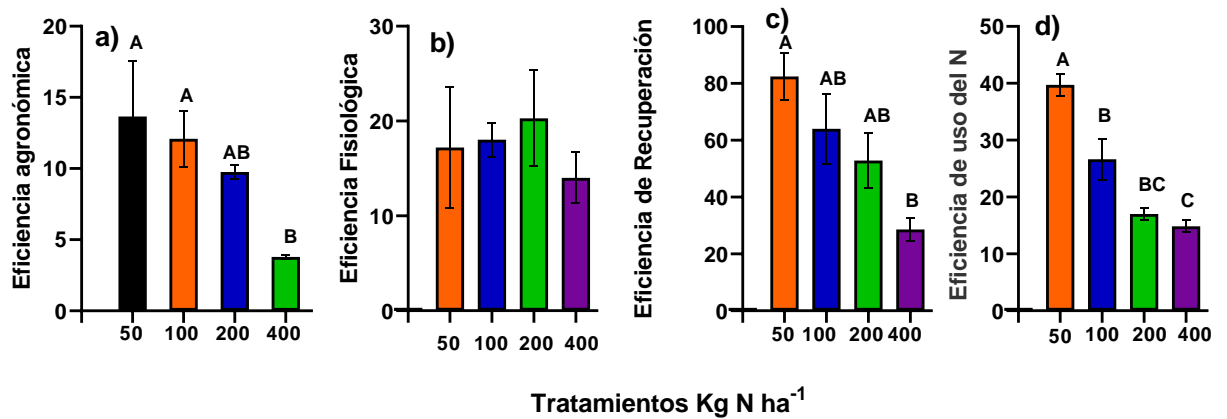


Figura 5. Eficiencia agronómica (a), eficiencia fisiológica (b), eficiencia de recuperación (c) y eficiencia de uso del nitrógeno (d) del genotipo de quínoa var. Tunkahuan bajo 5 niveles de nitrógeno. Las barras verticales representan la eficiencia del nitrógeno cuando se aplicó las diferentes dosis de este nutriente. La línea sobre las barras indica el error estándar de la media considerando tres repeticiones. Letras iguales sobre cada barral no muestran diferencia significativa mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

6.3. Dosis agronómica óptima

En la figura 6, se muestra el rendimiento del grano y la EA en función del N disponible en el suelo, la figura nos indica que el rendimiento tuvo una tendencia creciente hasta la aplicación de 200 kg N llegando a obtener un rendimiento de 3,41 t ha⁻¹. La EA mostró una tendencia decreciente pasando de 13,66 kg de grano por N aplicado cuando se aplicó 50 kg N a 3,79 kg de grano por N aplicado cuando la dosis fue de 400 kg N ha⁻¹. Se logró estimar el punto de unión de ambas curvas, lo cual determina la mayor productividad con la mejor EA. La dosis óptima de N se dio en 135,00 Kg N ha⁻¹ con un rendimiento de 3 t ha⁻¹.

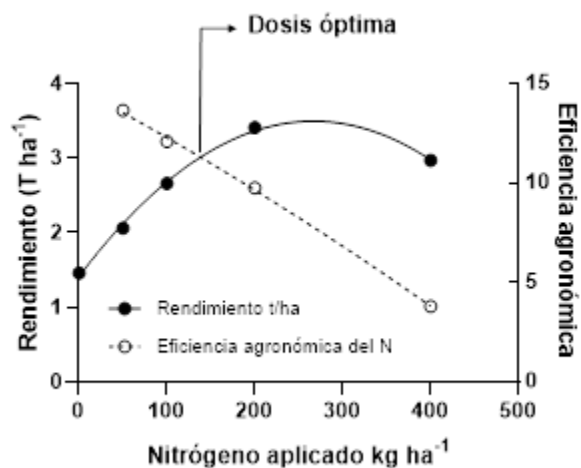


Figura 6. Dosis óptima de nitrógeno en función de 5 niveles de nitrógeno aplicado.

6.4. Correlaciones entre las variables de estudio

En la tabla 3 se puede observar los análisis de correlaciones que se realizaron con el coeficiente de correlación de Pearson a un nivel de significancia ($p < 0,05$).

Tabla 3.

Correlaciones entre las variables de estudio en el cultivo de quínoa var. Tunkahuan

	Altura	Cobertura	Biomasa	Clorofila	IAF	Rendimiento	N granos m ²	Peso grano	IC	Nitrógeno BS	Nitrógeno grano	Proteína	EUN	EA	EF	
Cobertura	0.77**															
Biomasa	0.80***	0.67**														
Clorofila	0.60*	0.82***	0.66**													
IAF	0.67**	0.81***	0.71**	0.67**												
Rendimiento	0.78**	0.47	0.89***	0.57*	0.59*											
N granos m ²	0.69**	0.47	0.77**	0.67**	0.51	0.89***										
Peso grano	0.54*	0.28	0.65**	0.17	0.49	0.69**	0.30									
IC	-0.37	-0.63*	-0.63*	-0.45	-0.47	-0.24	-0.16	-0.25								
Nitrógeno BS	0.05	0.27	0.14	0.45	0.55*	0.22	0.40	-0.08	0.11							
Nitrógeno grano	0.68**	0.41	0.87***	0.51	0.56*	0.96***	0.83***	0.71**	-0.27	0.24						
Proteína	0.18	0.17	0.50	0.26	0.30	0.48	0.36	0.45	-0.26	0.23	0.71**					
EUN	-0.18	-0.45	-0.31	-0.17	-0.45	0.15	0.13	0.16	0.73	0.04	0.12	0.06				
EA	-0.42	-0.64	-0.45	-0.58	-0.68	-0.31	-0.45	-0.04	0.30	-0.61	-0.43	-0.59	0.31			
EF	0.18	0.03	-0.13	-0.29	-0.20	-0.13	-0.33	0.12	0.02	-0.60	-0.13	-0.12	-0.08	0.23		
ER	0.09	-0.19	-0.14	0.08	-0.15	0.20	0.11	0.27	0.62	0.13	0.14	0.04	0.84**	0.12	-0.24	

Los valores son los coeficientes de Pearson de tres repeticiones; * efecto significativo $p < 0,05$; ** efecto muy significativo $p < 0,01$; *** efecto altamente significativo $p < 0,001$; IAF, índice de área foliar; N granos m², número de granos por metro cuadrado; BS, base seca; IC, índice de cosecha; EUN, eficiencia de uso del nitrógeno; EA, eficiencia agronómica; EF, eficiencia fisiológica; ER, eficiencia de recuperación.

7. Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos las variables morfológicas (altura, biomasa, cobertura, IAF) dependen directamente de la cantidad de nitrógeno que se le suministre a la planta, así lo ratifica Martínez et al. (2015), quien además menciona junto a **Bascuñán-Godoy et al. (2018)** que la quínoa presenta una respuesta positiva a la aplicación creciente de N, esto se ve reflejado en el desarrollo vegetativo e incremento del rendimiento, dinámica que se observa en el presente trabajo, donde la quínoa alcanzó un mayor desarrollo cuando se aplicó la dosis más alta de N 400 (kg ha⁻¹), siendo un crecimiento significativo con respecto a las

dosis más bajas, lo que corrobora Kaul et al. (2005), el cual indica que la quínoa tiene un desarrollo vegetativo muy significativo al aplicar dosis altas de N.

En cuanto al rendimiento, los valores llegaron hasta $3,41 \text{ t ha}^{-1}$, valor que está dentro del rango reportado por Gómez & Castellanos (2016), quienes mencionan que el rendimiento de quínoa varía de 1 a 7 t ha^{-1} . Peralta (2009), por su parte reporta que en la sierra ecuatoriana a nivel de pequeños productores los rendimientos van de 300 a $1\ 000 \text{ kg ha}^{-1}$, encontrando en el presente estudio valores superiores a los ya mencionados. Se pudo observar además que el rendimiento de la quínoa se incrementó conforme lo hacía la dosis de N, pero esto sucedió hasta la dosis de 200 kg N , en la dosis de 400 kg N el rendimiento disminuyó. Esta tendencia es reportada también por Jacobsen et al. (1994), quien indica que el rendimiento en quínoa se incrementa cuando la dosis de nitrógeno aumenta de 40 a 160 kg ha^{-1} . El rendimiento ($1,46 \text{ t ha}^{-1}$) encontrado en el T1 (0 kg N ha^{-1}) es superior al mencionado por Peralta (2009), esto se debe a que el único nutriente manipulado fue el N, los demás macro y micronutrientes requeridos por la quínoa fueron aplicados en función de buscar el potencial rendimiento del cultivo.

El contenido de proteína en el grano comprendió entre 14,80 y 17,01 %, aumentando conforme aumentaba la dosis de N, el mayor contenido de proteína se encontró cuando se aplicó 200 kg N ha^{-1} , valor que está dentro del rango reportado por Bojanic (2011), quien menciona que la proteína en el grano de quínoa está entre 13,81 y 21,9 % dependiendo de la variedad. Una dinámica similar encontró Kaul et al. (2005) en un estudio realizado en Alemania, pero a diferencia del presente, en su trabajo sí se encontraron diferencias significativas en los contenidos de proteína, el rango reportado fue de 13,33 % a 15,01 %, este último valor al aplicar la dosis mayor (225 kg ha^{-1}). Por su parte Nicolas et al. (2019) llega a la misma conclusión mencionando que una importante cantidad del nitrógeno absorbido por la planta llega a los granos a la madurez y contribuye a la cantidad de proteína total del grano.

La lectura SPAD osciló entre 30,0-51,05, valores que estuvieron dentro del rango reportado en otros cultivos de grano (sorgo) por Uchino et al. (2013), quien estimó la lectura SPAD en 20,2 y 53,0. Por otro lado se pudo comprobar que la lectura SPAD tuvo una asociación directa con el contenido de N en la planta en los estadios fenológicos: BBCH19, BBCH29 y BBCH59, etapas que van desde la formación de brotes laterales hasta la entrada de la inflorescencia. La asociación positiva que se encontró en estas etapas se debe a que según

Cunha et al. (2015) el SPAD-502 evalúa cuantitativamente la intensidad del verde de la hoja y como indica Villar and Ortega (2003) la intensidad del color verde en las hojas es característico de las plantas adecuadamente fertilizadas con nitrógeno. Mendoza et al. (1998) indica que conforme se desarrolla la planta el contenido de nitrógeno en las hojas disminuye para incrementarse en la planta completa, especialmente en el fruto al entrar en la etapa reproductiva. Afirmación que se ratifica en el presente estudio al no haber podido encontrar correlaciones significativas en la etapa inicial y final del cultivo.

La EUN define la relación entre el rendimiento del cultivo y el nitrógeno total aplicado. Para Aguilar et al. (2018), la eficiencia de uso de nitrógeno está limitada por la habilidad de las plantas para obtener el nitrógeno del fertilizante aplicado. En los resultados encontrados la EUN disminuyó con el aumento del suministro de nitrógeno: cuando se aplicó 50 kg ha⁻¹ EUN presentó el valor más alto (39,72 kg de grano por kg de N aplicado) disminuyendo al aumentar la dosis. Resultados similares reportó Chino Nicolas et al. (2019), quien menciona que la planta requiere 19 kg de nitrógeno para producir una tonelada de grano, siendo la eficiencia de uso del nitrógeno de 53 kg de grano por cada kilogramo de nitrógeno aplicado. La dinámica de la EUN fue similar al estudio ya mencionado, es decir que conforme se incrementa la dosis de N la EUN disminuye, para Kakabouki et al. (2018), esto se debe a que en dosis altas de N existe una menor utilización de este nutriente para la producción de grano y mayor para la producción de biomasa.

La Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (EA) relaciona la capacidad de la planta para aumentar el rendimiento con el nitrógeno aplicado. Bascuñán-Godoy et al. (2018) indica que el aumento de este indicador sugiere mayores rendimientos de grano. La tasa óptima de aplicación de N según los resultados obtenidos fue de 50 kg N ha⁻¹ obteniéndose una EA de 13,66 kg de grano por kg N aplicado, lo que se asemeja a los resultados presentados por Bascuñán-Godoy et al. (2018), quien menciona que la dosis óptima para una EA se encontró al aplicarse 100 kg N ha⁻¹ (dosis mínima aplicada) siendo la eficiencia de 12,08 kg de grano por kg de N aplicado, disminuyendo la EA al aumentar la dosis, dinámica similar se encontró en el presente estudio. Por otra parte, los datos presentados se encuentran dentro de lo reportado por Belder et al. (2005), quien indica que la EA para cultivos de grano se encuentra dentro del rango de 0 a 26 kg de grano por unidad de nitrógeno aplicado.

La eficiencia fisiológica (EF), indica el rendimiento de grano por cada unidad de nutriente absorbido, en los resultados obtenidos se pudo observar que la EF aumentó en dosis

superiores a los 50 kg N ha⁻¹, alcanzando su valor más alto (20,28 kg kg⁻¹) en una dosis de 200 kg ha⁻¹, cuando la tasa N siguió aumentando la EF disminuyó. Datos similares obtiene en su estudio realizado en quínoa Berti et al. (2000), donde indica que se obtuvo una mayor EF para las dosis de N que comprendían los 75 y 150 kg de grano por kg de N absorbido. Aguilar et al. (2018) indica la misma interacción, en la menor dosis (120 Kg N ha⁻¹) aplicada en su trabajo tuvo el valor más alto de eficiencia fisiológica.

La eficiencia de recuperación (ER), es afectada por el momento de aplicación y la forma en que se distribuye de acuerdo a la demanda del cultivo y a la capacidad fisiológica del mismo (Ballesteros Rodríguez et al., 2016). En los resultados del presente estudio se pudo obtener una ER del 82 % cuando se aplicó 50 kg N ha⁻¹, valor que disminuyó conforme incrementó la tasa de aplicación de nitrógeno, llegando a 28,63 % cuando se aplicó 400 kg N ha⁻¹; estos datos contrastan con los reportados por Ballesteros Rodríguez et al. (2016), quien indica que en cereales, a nivel mundial, la ER es de 33 %. Por su parte Kakabouki et al. (2018) encontró valores superiores al 100 % en quínoa, indica que esto se debe a que el cultivo absorbe no solo el nitrógeno del fertilizante sino también el disponible del suelo. Esto explica que en los resultados del presente estudio no se encontraron valores superiores ni cercanos al 100 %, debido a que según el análisis de suelo realizado no existía riqueza de nitrógeno en el mismo.

La dosis óptima de N fue de 135 Kg N ha⁻¹ para alcanzar un rendimiento de 3 t ha⁻¹, es decir que para alcanzar una tonelada de rendimiento se necesita de una aplicación de 45 kg N ha⁻¹, para esto hay que tener en cuenta la EA que es un indicador de la ganancia de rendimiento por Kg de N aplicado (Jacobsen et al., 1994). En el país la variedad Tunkuahuan se cultiva principalmente entre 2 200 – 3 200 msnm presentado un rendimiento promedio de 2,2 t ha⁻¹ (Delgado et al., 2009), para alcanzar estos rendimientos según Peralta (2009) se necesita de una aplicación de 160 kg N ha⁻¹, es decir que para alcanzar una tonelada de rendimiento se necesita de 72 kg N ha⁻¹, existiendo un incremento del 60 % en aplicación de N con respecto a lo reportada en el presente estudio. Este incremento se justifica debido a que de forma general en los planes de fertilización no se toma en cuenta las EUN. Por otro lado Kaul et al. (2005), menciona que el rendimiento de la quínoa llegaría hasta 3. 5 t ha⁻¹ cuando se aplican 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno, valor que se asemeja al reportado en el presente trabajo. Por su parte Miranda et al. (2012) difiere de los resultados presentados reportando mejores datos en diferentes variedades y condiciones edafoclimáticas, menciona que la quínoa extrae del suelo entre 45 a 50 kg de nitrógeno para la producción de aproximadamente 1,8 toneladas

de grano, esto en la variedad Jacha grano y en la accesión de quínoa 1474 cultivadas en el altiplano de Perú, Chile y Bolivia.

8. Conclusiones

El rendimiento de grano de quínoa exhibió una respuesta de rendimiento decreciente en relación al aumento de la dosis de nitrógeno, alcanzando el máximo rendimiento en 3,41 t ha⁻¹ con 200 kg N ha⁻¹, disminuyendo a dosis superiores. La dosis óptima agronómica se estableció en 135 kg N ha⁻¹ para obtener un rendimiento de 3 t ha⁻¹, esto teniendo en cuenta una eficiencia agronómica de 11,25 kg de grano por kg de N aplicado.

La eficiencia de uso del nitrógeno y la eficiencia agronómica del nitrógeno presentaron una relación inversa al incremento de la dosis de este nutriente, al aumentarse la dosis de N estas eficiencias disminuyeron, debido a que en dosis altas de N existe una menor utilización de este nutriente para la producción de grano y mayor para la producción de biomasa. Al aplicar 50 kg N ha⁻¹ se obtuvo la mayor eficiencia agronómica con 13,66 kg de grano por kg de N aplicado, por otro lado, al aplicar 400 kg N ha⁻¹ se obtuvo la menor eficiencia de 3,80 kg de grano por kg de N aplicado.

No se encontraron efectos significativos de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de proteína del grano, sin embargo, esta aumentó en 2,21 puntos porcentuales con la dosis de 200 kg N ha⁻¹ respecto a la dosis de 50 kg N ha⁻¹

9. Recomendaciones

No usar dosis demasiado elevadas (superiores a 200 kg N ha⁻¹) para la fertilización nitrogenada en el cultivo de quínoa, debido a que la eficiencia de uso del fertilizante disminuirá, provocando consumo de innecesario, inclusive podría provocar efectos adversos al medioambiente.

Replicar el trabajo en las mismas y otras condiciones edafoclimaticas con la finalidad de validar los resultados.

10. Bibliografía

- Aguilar, E. C. H., Villacorta, H. S., & Peralta, G. S. (2018). Incorporación de nitrógeno para mejorar la eficiencia de uso del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en La Libertad, Perú. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 7, 41-56.
- Alfonso, G., Alvarado-Ochoa, S., & Cartagena, Y. (2017). Evaluación de deficiencias nutricionales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo. *Siembra*, 4(1), 93-109.
- ATAEI, M. (2006). Path analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) yield. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(3), 227-232.
- Ballesteros Rodríguez, E., Vaca García, V. M., Morales Rosales, E. J., Franco Mora, O., Zamudio González, B., & Gutiérrez Rodríguez, F. (2016). Fraccionamiento de nitrógeno: eficiencia de recuperación y concentración proteica en triticale (XTriticosecale Wittmack). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 585-598.
- Barbieri, P. A., Echeverría, H. E., & Rozas, H. R. S. (2018). Pérdidas por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno en maíz en función de la fuente, dosis y momento de aplicación. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 117(1), 111-116.
- 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,
- Bascuñán-Godoy, L., Sanhueza, C., Pinto, K., Cifuentes, L., Reguera, M., Briones, V., . . . Silva, H. (2018). Nitrogen physiology of contrasting genotypes of *Chenopodium quinoa* Willd.(Amaranthaceae). *Scientific Reports*, 8(1), 1-12.
- Belder, P., Spiertz, J., Bouman, B., Lu, G., & Tuong, T. (2005). Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation. *Field Crops Research*, 93(2-3), 169-185.
- Berti, M., Wilckens, R., Hevia, F., Serri, H., Vidal, I., & Méndez, C. (2000). Fertilización nitrogenada en quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 27(2), 81-90.
- Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. *Industrial crops and products*, 23(1), 73-87.
- Bishop, P., & Manning, M. (2010). Urea volatilisation: the risk management and mitigation strategies. *Palmerston North, New Zealand: Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University*.
- Bojanic, A. (2011). *La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. D-FAO.
- Bowles, T. M., Atallah, S. S., Campbell, E. E., Gaudin, A., Wieder, W. R., & Grandy, A. S. (2018). Addressing agricultural nitrogen losses in a changing climate. *Nature Sustainability*, 1(8), 399-408.
- Bremner, J. (1995). Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. *Nitrogen economy in tropical soils*, 321-329.
- Cabriales, J. P., Cabrera, O. G., & Núñez, J. V. (2002). Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (15N). *Terra Latinoamericana*, 20(1), 51-56.
- Cárdenas-Castillo, J. E., Delatorre-Herrera, J., Bascuñán-Godoy, L., & Rodríguez, J. P. (2021). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) Seed Yield and Efficiency in Soils Deficient of Nitrogen in the Bolivian Altiplano: An Analytical Review. *Plants*, 10(11), 2479. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/11/2479>

- Castillo, J. E. M. (2021). *Efecto de Distintas Dosis de Nitrógeno en la Expresión de Resistencia de Plantas de Quinoa (Chenopodium quinoa) Frente a Insectos Defoliadores* Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)].
- Chino Nicolas, E., Miranda Casas, R., & Del Castillo Gutiérrez, C. R. (2019). Comportamiento agronómico del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con la aplicación de niveles de estiércol camélido. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(1), 41-49.
- Conijn, J. G., Bindraban, P. S., Schröder, J. J., & Jongschaap, R. E. E. (2018). Can our global food system meet food demand within planetary boundaries? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 244-256.
- Córdova, N., Carreño, F., & Llerena, R. (2015). Comportamiento del crecimiento y rendimiento del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L.) en tres fechas de siembra. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 86-92.
- Cunha, A. R. d., Katz, I., Sousa, A. d. P., & Martínez Uribe, R. A. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de *lisianthus* en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia (Arica)*, 33(2), 97-105.
- Delgado, A., Palacios, C., & Betancourt, C. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño. *Colombia. Agron. Colomb*, 27(2), 159-167.
- FAO. (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir con la seguridad alimentaria mundial* (Vol. 1).
- Fixen, P. E., & West, F. B. (2002). Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges. *Ambio: a journal of the human environment*, 31(2), 169-176.
- Franco Alvarado, L. A. (2018). *Eficiencia de utilización del nitrógeno en el rendimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willd) adaptada a la zona norte de la provincia de Los Ríos Quevedo-UTEQ*].
- Galwey, N., Leakey, C. L. A., Price, K. R., & Fenwick, G. R. (1989). Chemical composition and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food sciences and nutrition*, 42(4), 245-261.
- Gandarillas, H., & Tapia, M. (1979). *Quinua y Kaniwa cultivos Andinos*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Bogotá, Colombia.
- García-Parra, M. A., García-Molano, J. F., & Carvajal-Rodríguez, D. C. (2018). Evaluación del efecto de la fertilización química y orgánica en la composición bromatológica de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en Boyacá-Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 99-108.
- García, F. O., & Salvagiotti, F. (2009). Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. Actas del XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica,
- Geng, J., Yang, X., Huo, X., Chen, J., Lei, S., Li, H., . . . Liu, Q. (2020). Effects of controlled-release urea combined with fulvic acid on soil inorganic nitrogen, leaf senescence and yield of cotton. *Sci Rep*, 10(1), 17135. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74218-2>
- Ghafoor, I., Habib-Ur-Rahman, M., Ali, M., Afzal, M., Ahmed, W., Gaiser, T., & Ghaffar, A. (2021). Slow-release nitrogen fertilizers enhance growth, yield, NUE in wheat crop and reduce nitrogen losses under an arid environment. *Environ Sci Pollut Res Int*, 28(32), 43528-43543. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13700-4>
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de Cultivo de la Quinoa*, © FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina Lima-Perú.
- Herrera, O. F., Vargas, O. Y., & Marin, C. P. (2000). La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate. *Scientia gerundensis*, 5-12.

- Hinojosa, L., Leguizamo, A., Carpio, C., Muñoz, D., Mestanza, C., Ochoa, J., . . . Monar, C. (2021). Quinoa in Ecuador: Recent advances under global expansion. *Plants*, *10*(2), 298.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. Agroamérica.
- Hunziker, A. T. (1943). Las especies alimenticias de Amaranthus y Chenopodium cultivadas por los indios de América. *Revista Argentina de Agronomía t. 10, no. 4*.
- Jacobsen, S.-E., Jørgensen, I., & Stølen, O. (1994). Cultivation of quinoa (Chenopodium quinoa) under temperate climatic conditions in Denmark. *The Journal of Agricultural Science*, *122*(1), 47-52.
- 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.
- 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.
- MAG. (2013). *La quinua por su potencial nutritivo es considerada para erradicar el hambre en el mundo – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. <https://www.agricultura.gob.ec/la-quinua-por-su-potencial-nutritivo-es-considerada-para-erradicar-el-hambre-en-el-mundo-2/>
- Martinez, J. M., Galantini, J., & Landriscini, M. R. (2015). Eficiencia en el uso del nitrógeno del trigo en la región semiárida de Buenos Aires (Argentina): efectos de la dosis y momento de aplicación. *Agriscientia*, *32*(1), 15-27.
- Maughan, P. J., Bonifacio, A., Coleman, C. E., Jellen, E. N., Stevens, M. R., & Fairbanks, D. J. (2007). Quinoa (Chenopodium quinoa). In *Pulses, Sugar and Tuber Crops* (pp. 147-158). Springer.
- Mendoza, M. d. I. N. R., González, G. A., Santelises, A. A., Barra, J. D. E., & Rincón, J. A. S. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoamericana*, *16*(2), 135-141.
- Mikkelsen, R. (1990). Biuret in urea fertilizer. *Fertilizer research*, *26*(1), 311-318.
- Miranda, R., Carlesso, R., Huanca, M., Mamani, P., & Borda, A. (2012). Rendimiento y acumulación de nitrógeno en la quinua (Chenopodium quinoa Willd) producida con estiércol y riego suplementario. *Venesuelos*, *20*(1).
- Mujica, A. (1994). Andean grains and legumes. *Neglected crops*, *1492*, 131-148.
- Nicolas, E., Casas, R., & Gutiérrez, C. (2019). Comportamiento agronómico del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Con la aplicación de niveles de estiércol camélido. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, *6*(1), 41-49.
- Pando, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. *FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura e Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- Peralta, I. (2009). La quinua en Ecuador." Estado del arte".
- Pliego, L., Ocaña, A., & Lluch, C. (2003). Crecimiento, fijación de nitrógeno, acumulación y asimilación de nitratos con dosis de nitrógeno en frijol. *Terra Latinoamericana*, *21*(2), 213-223.
- Rawal, N., Pande, K. R., Shrestha, R., & Vista, S. P. (2022). Nutrient use efficiency (NUE) of wheat (Triticum aestivum L.) as affected by NPK fertilization. *PLoS One*, *17*(1), e0262771. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262771>
- Rios, D. K., Britto, R., & Delgado, H. (2011). EVALUATION OF YIELD AND ITS COMPONENTS IN BARLEY (Hordeum vulgare L.) GENOTYPES DIFFERENTIATED FOR SPIKE AND KERNEL TYPES. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, *14*(2), 55-63.

- Risi, J. (1984). The Chenopodium grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Adv. Applied Biology*, 10, 145-216.
- Salvador-Castillo, J. M., Bolaños-González, M. A., Palacios-Vélez, E., Palacios-Sánchez, L. A., López-Pérez, A., & Muñoz-Pérez, J. M. (2021). Estimación de la fracción de cobertura vegetal y contenido de nitrógeno del dosel en maíz mediante sensores remotos. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Sosa-Zuniga, V., Brito, V., Fuentes, F., & Steinfort, U. (2017). Phenological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 171(1), 117-124.
- Uchino, H., Watanabe, T., Ramu, K., Sahrawat, K., Marimuthu, S., Wani, S., & Ito, O. (2013). Calibrating chlorophyll meter (SPAD-502) reading by specific leaf area for estimating leaf nitrogen concentration in sweet sorghum. *Journal of plant nutrition*, 36(10), 1640-1646.
- Uquillas, C. M., Calderón, K. Z., Alava, J. P., Zamora, D. V., Montufar, G. V., Fernández-García, N., & Olmos, E. (2019). Evaluación agronómica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) En condiciones agroclimáticas en la zona de mocache. *Ciencia y Tecnología*, 12(1), 19-30.
- Valdés Valdés, C., Estrada Campuzano, G., Martínez Rueda, C. G., & Domínguez López, A. (2017). Rendimiento de grano en trigo modificado por cambios en la fuente durante el llenado de grano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(1), 79-90.
- Valencia, S., & Del Rosario, M. (2015). Identificación preliminar de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con mayor eficiencia en el uso de nitrógeno.
- Villar, Z., & Ortega, B. (2003). Medidor de clorofila: Bases Teóricas y su aplicación para la fertilización nitrogenada en cultivos.
- Zambrano, V., Solorzano, A., & Viera, C. (2019). Análisis bibliográfico sobre el potencial nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa*) como alimento funcional. *Centro Azúcar*, 46(4), 89-100.
- Zhu, J., Tremblay, N., & Liang, Y. (2012). Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian journal of soil science*, 92(4), 645-648.

11. Anexos

Anexo 1. Establecimiento del cultivo



Anexo 2. Registro de datos en campo



Anexo 3. Etapa de madurez fisiológica (inicio de la cosecha)



Anexo 4. Registro de datos en laboratorio



Anexo 5. Estimación del nitrógeno mediante el método kjeldahl



Anexo 6. Análisis estadístico variables de crecimiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura	15	0.64	0.50	13.22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2220.62	4	555.15	4.48	0.0248
Tratamiento	2220.62	4	555.15	4.48	0.0248
Error	1238.26	10	123.83		
Total	3458.87	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=29.90187

Error: 123.8256 gl: 10

Tratamiento Medias n E.E.

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	99.11	3	6.42 A
T4	94.67	3	6.42 A
T2	82.65	3	6.42 A B
T3	79.72	3	6.42 A B
T1	64.56	3	6.42 B

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	15	0.85	0.80	25.49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	411.36	4	102.84	14.58	0.0004
Tratamiento	411.36	4	102.84	14.58	0.0004
Error	70.52	10	7.05		
Total	481.89	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.13610

Error: 7.0524 gl: 10

Tratamiento Medias n E.E.

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	20.55	3	1.53 A
T4	9.99	3	1.53 B
T3	7.96	3	1.53 B
T2	7.79	3	1.53 B
T1	5.80	3	1.53 B

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IAF	15	0.81	0.74	39.46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4204434.25	4	1051108.56	10.99	0.0011
Tratamiento	4204434.25	4	1051108.56	10.99	0.0011
Error	956558.99	10	95655.90		
Total	5160993.24	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=831.09176

Error: 95655.8989 gl: 10

Tratamiento Medias n E.E.

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	1811.49	3	178.56 A
T3	703.22	3	178.56 B
T4	617.02	3	178.56 B
T2	451.07	3	178.56 B
T1	336.23	3	178.56 B

Clorofila 15 0.60 0.44 13.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	482.37	4	120.59	3.74	0.0412
Tratamiento	482.37	4	120.59	3.74	0.0412
Error	322.27	10	32.23		
Total	804.64	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=15.25470

Error: 32.2271 gl: 10

Tratamiento Medias n E.E.

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	51.05	3	3.28 A
T3	48.82	3	3.28 A
T4	43.47	3	3.28 A
T2	38.57	3	3.28 A
T1	36.34	3	3.28 A

Anexo 7. Análisis estadístico del rendimiento

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento Tn/ha	15	0.84	0.77	14.74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.03	4	1.76	13.03	0.0006
Tratamiento	7.03	4	1.76	13.03	0.0006
Error	1.35	10	0.13		
Total	8.38	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.98679
Error: 0.1349 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	3.41	3	0.21 A
T5	2.97	3	0.21 A B
T3	2.57	3	0.21 A B
T2	2.06	3	0.21 B C
T1	1.45	3	0.21 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 8. Análisis estadístico: eficiencia agronómica, fisiológica, de recuperación y eficiencia de uso del N.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUN	11	0.90	0.86	16.34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	904.19	3	301.40	20.99	0.0007
Tratamientos	904.19	3	301.40	20.99	0.0007
Error	100.52	7	14.36		
Total	1004.71	10			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=10.86295

Error: 14.3594 gl: 7

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T2	39.73	2	2.68 A
T3	26.64	3	2.19 B
T4	17.03	3	2.19 B C
T5	14.87	3	2.19 C

RAIZ_ER

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RAIZ ER	11	0.71	0.58	14.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19.15	3	6.38	5.66	0.0275
Tratamientos	19.15	3	6.38	5.66	0.0275
Error	7.90	7	1.13		
Total	27.05	10			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.04560

Error: 1.1287 gl: 7

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T2	9.07	2	0.75 A
T3	7.93	3	0.61 A B
T4	7.21	3	0.61 A B
T5	5.32	3	0.61 B

EA

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EA	11	0.73	0.62	29.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	152.45	3	50.82	6.44	0.0201
Tratamientos	152.45	3	50.82	6.44	0.0201
Error	55.20	7	7.89		
Total	207.65	10			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=8.05005

Error: 7.8856 gl: 7

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T2	13.66	2	1.99 A
T3	12.09	3	1.62 A
T4	9.75	3	1.62 A B
T5	3.80	3	1.62 B

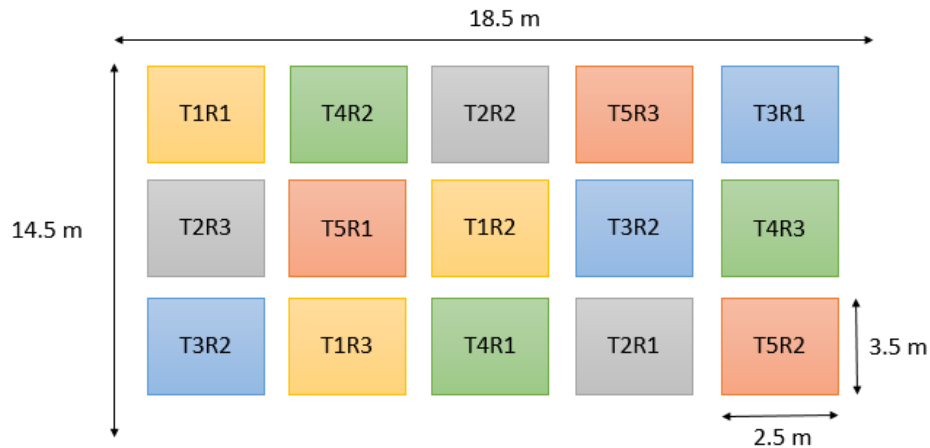
EF

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EF	11	0.17	0.00	37.60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	60.47	3	20.16	0.47	0.7122
Tratamientos	60.47	3	20.16	0.47	0.7122
Error	299.78	7	42.83		
Total	360.25	10			

Anexo 9. Diseño Experimental (Diseño completamente al azar)



Anexo 10. Escala fenológica BBCH elaborada por (Sosa-Zuniga et al., 2017)

BBCH Code Two-digit	Description
Principal growth stage 0: germination	
00	Dry seed
01	Initiation of seed imbibition
03	Seed imbibition completed
05	Radicle 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 11. Análisis de suelo



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
 Tífs. (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 22-0210

NOMBRE DEL CLIENTE: Cordero Gaona Elisa Mishel
PETICIONARIO: Cordero Gaona Elisa Mishel
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Cordero Gaona Elisa Mishel
DIRECCIÓN: La Argelia

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 16/03/2022
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14:00
FECHA DE ANÁLISIS: 21/03/2022
FECHA DE EMISIÓN: 25/03/2022
ANÁLISIS SOLICITADO: S4 + CIC

Análisis	Ph		N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO	CO.*	Textura (%)				IDENTIFICACIÓN											
			ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm				meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural												
22-0557	5,81	Me Ac	55	M	22	A	7,8	B	0,31	B	0,05	B	2,41	M	0,42	M	0,9	B	5,4	A	323	A	16,3	A	5,72	7,90	53,12	2,88	0,3	B	41	41	18	Franco	Wagner Oviedo, Angel Uchuari, Elisa Cordero, Lote 1, Muestra 1

Análisis	Al+H*	Al*	Na *	C.E. *	N. Total*	N-NO3 *	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACION

OBSERVACIONES:

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo: Agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado
S,B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado
B =	= Curcumina

* Ensayos no solicitados por el cliente

INTERPRETACION		
pH	Elemento	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)	

ABREVIATURAS	
C.E =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasio
Al+H =	Titulación NaOH

INTERPRETACION		
Al+H,Al y Na	C.E.	M.O y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino
T = Tóxico		M. = Medio
		A = Alto



Firmado digitalmente por
JOSE ALONSO LUCERO



Firmado digitalmente por
IVAN RODRIGO

Anexo 12. Certificado de traducción Abstract

CERTIFICADO DEL RESUMEN

Yo, **Maholy Katherine Morocho Merino**, portadora de la cedula de Identidad N°:1104677131. Licenciada en ciencias de la educación especialidad Idioma Inglés. Certifico la traducción al idioma inglés el resumen de la tesis denominada: "**Respuesta agro-fisiológica a la fertilización nitrogenada, y eficiencia de uso del nitrógeno en quínoa en una región interandina de Loja**", perteneciente al señor **Wagner Adrián Oviedo Castillo**, esta corresponde al texto original en español.

A la parte interesada muy atentamente,



Maholy Katherine Morocho Merino

Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Idioma Inglés

Registro N° 1008-2016-1695982 SENEYCYT.