



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Efecto de diferentes niveles de nitrógeno sobre el rendimiento de
quinua bajo las condiciones agroclimáticas de la hoya de Loja**

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Agrónoma

AUTORA:

Caty María Correa Jiménez

DIRECTOR:

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

Loja - Ecuador

2023

Certificación

Loja, 6 de marzo de 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: **Efecto de diferentes niveles de nitrógeno sobre el rendimiento de quinua bajo las condiciones agroclimáticas de la hoya de Loja** de autoría de la estudiante **Caty María Correa Jiménez**, con cédula de identidad Nro. **1150407557**, previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación para los tramites de titulación.



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO
CRISTOBAL VASQUEZ
MATUTE

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Autoría

Yo, **Caty María Correa Jiménez**, 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 o acciones legales, por el contenido de la misma. 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: 

Cédula: 1150407557

Fecha: 05/06/2023

Correo electrónico: caty.correa@unl.edu.ec

Celular: 0989131560

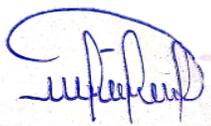
Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Caty María Correa Jiménez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de diferentes niveles de nitrógeno sobre el rendimiento de quinua bajo las condiciones agroclimáticas de la hoya de Loja**, como requisito para obtener el título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

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

Firma: 

Autor: Caty María Correa Jiménez

Cédula: 1150407557

Dirección: Francisco Arias y José María Riofrío - Loja.

Correo electrónico: caty.correa@unl.edu.ec

Celular: 0989131560

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación primeramente a Dios por darme la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta, a mis queridos padres: Isabel Jiménez y Francisco Correa, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo han sido mi apoyo fundamental y me han acompañado en cada paso a lo largo de mi carrera universitaria, motivándome siempre a seguir hacia adelante, a mi amado hijo: David Jiménez quien ha sido mi fuente de inspiración y mi motor para mantenerme en pie y nunca rendirme.

A mis hermanas y amigos por su cariño, apoyo moral y comprensión durante todo este proceso, por acompañarme y extender su mano en momentos difíciles siendo parte integral de mi camino académico y personal, gracias.

Caty María Correa Jiménez

Agradecimiento

Quiero expresar mi gratitud en primer lugar a Dios, quien con su bendición hizo posible alcanzar este sueño.

Mi profundo agradecimiento a mis padres quienes han sido mis guías de vida, inculcándome valores y enseñanzas, gracias por creer en mí y darme su apoyo incondicional permitiéndome alcanzar este logro.

Así mismo un sincero agradecimiento a Edison Jiménez quien siempre estuvo presente apoyándome a lo largo de mi carrera profesional, gracias por estar en los buenos y malos momentos, por tus palabras de aliento y por impulsarme a seguir.

Agradezco a mi tutor de tesis Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD, por compartir sus conocimientos y experiencias, sin su apoyo, orientación y constancia este trabajo de investigación no habría sido posible.

A mis estimados compañeros y amigos: Ángel Uchuari, David Carrión, Elisa Cordero, Karina Lima y de manera especial a mi amigo Wagner Oviedo, quienes me acompañaron a largo de este proceso y fueron mi apoyo académico y moral.

A la gloriosa Universidad Nacional de Loja, sus autoridades y apreciados docentes quienes me impartieron sus conocimientos, gracias por la dedicación perseverancia y tolerancia, donde quiera que vaya llevaré la semilla de sus conocimientos en mi transitar profesional.

Caty María Correa Jiménez

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Índice de anexos	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Centro de Origen y diversidad de la quinua.....	6
4.2. Descripción botánica y taxonómica	6
4.3. Requerimientos edafoclimáticos.....	6
4.4. Fenología.....	7
4.5. Variedades	9
4.5.1. <i>Variedad INIAP Tunkahuan</i>	9
4.5.2. <i>Variedad INIAP pata de venado</i>	9
4.6. Nutrientes en el cultivo de quinua	9
4.6.1. <i>Macronutrientes</i>	9
4.6.2. <i>Micronutrientes</i>	10
4.7. El nitrógeno y la curva de dilución de N	10
4.8. Rendimiento en quinua.....	12
4.8.1. <i>Componentes del rendimiento</i>	13
5. Metodología	14
5.1. Ubicación del área de estudio	14
5.2. Diseño Experimental	14

5.3.	Metodología para el primer objetivo específico.....	15
5.3.1.	<i>Variables de crecimiento y desarrollo</i>	15
5.3.2.	<i>Variables de Rendimiento</i>	15
5.3.3.	<i>Índice de cosecha</i>	16
5.3.4.	<i>Área foliar, IAF y cobertura vegetal</i>	16
5.4.	Metodología para el segundo objetivo específico	17
5.4.1.	<i>Biomasa y N de brotes</i>	17
5.4.2.	<i>Acumulación de N en las plantas</i>	17
5.4.3.	<i>Contenido de clorofila</i>	18
5.4.4.	<i>Curva de dilución de N</i>	18
5.5.	Análisis estadístico	19
6.	Resultados	20
6.1.	Resultados para el primer objetivo específico	20
6.1.1.	<i>Fenología</i>	20
6.1.2.	<i>Altura y tasa de elongación del tallo</i>	20
6.1.3.	<i>Biomasa</i>	21
6.1.4.	<i>Índice de área foliar y cobertura vegetal</i>	22
6.1.5.	<i>Rendimiento y sus componentes</i>	23
6.2.	Resultados para el segundo objetivo específico.....	24
6.2.1.	<i>Evolución de nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo y SPAD</i>	24
6.2.2.	<i>Curva de dilución crítica de nitrógeno en quinua</i>	26
6.2.3.	<i>Índice de nutrición nitrogenada (INN)</i>	27
6.2.4.	<i>Correlaciones</i>	27
7.	Discusión	29
7.1.	Discusión para el primer objetivo específico	29
7.2.	Discusión para el segundo objetivo específico	31
8.	Conclusiones	33
9.	Recomendaciones	34
10.	Bibliografía	35
11.	Anexos	39

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de tratamientos de nitrógeno aplicados al cultivo de quinua.....	14
Tabla 2. Medias de rendimiento y sus componentes e índice de cosecha de la variedad Tukahuan bajo los diferentes niveles de nitrógeno.	24
Tabla 3. Correlaciones entre las distintas variables evaluadas en quinua variedad Tukahuan	28

Índice de figuras

Figura 1. Duración de las etapas fenológicas de la quinua variedad Tunkahuan cultivada en la Argelia, Loja en días después de la siembra. Verde: Emergencia (BBCH09); Rojo: Hojas verdaderas (BBCH14); Celeste: Brotes laterales (BBCH28); morado: Inflorescencia, flores aun cerradas (BBCH59); Naranja: Floración (BBCH60); verde claro: Desarrollo del fruto (BBCH70); Café: Senescencia (BBCH93).....	20
Figura 2. Altura promedio (a) y tasa de elongación del tallo (b) del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos mediante prueba de Tukey ($p<0,05$).	21
Figura 3. Biomasa de las plantas del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos mediante prueba de Tukey ($p<0,05$).	22
Figura 4. Índice de área foliar (a) y porcentaje de cobertura vegetal (b) de las plantas del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos mediante prueba de Tukey ($p<0,05$).	23
Figura 5. Evolución del nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo (a), lectura SPAD y (c) correlación porcentaje de nitrógeno versus lectura SPAD de las plantas del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos mediante prueba de LSD Fisher ($p<0,05$).	25
Figura 6. Curva de dilución de nitrógeno de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno.....	26
Figura 7. Índice de nutrición nitrogenada del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno.....	27
Figura 8. Preparación del terreno y delimitación de parcelas.	44
Figura 9. Rastrillado.....	44
Figura 10. Realización de surcos para la siembra.....	44
Figura 11. Aplicación de urea al momento de la siembra.....	44
Figura 12. Siembra de la quinua.....	45
Figura 13. Corte de plántulas de quinua para llevar a estufa.	45
Figura 14. Toma de datos de clorofila.....	45
Figura 15. Toma de datos de altura	45
Figura 16. Toma de datos de área foliar	46
Figura 17. Peso de las plántulas secadas a 65 °C.....	46
Figura 18. Desarrollo del cultivo.....	46
Figura 19. Cosecha.....	46
Figura 20. Fase de laboratorio. Pesaje de muestras tamizadas.....	47
Figura 21. Fase de laboratorio. Titulación de muestras.	47

Índice de anexos

Anexo 1. Análisis de suelo.....	39
Anexo 2. Fenología de la quinua de acuerdo con la escala extendida de la BBCH	41
Anexo 3. Ficha técnica de urea	43
Anexo 4. Evidencias fotográficas.....	44
Anexo 5. Análisis estadístico de variables desarrollo.....	48
Anexo 6. Análisis estadístico del rendimiento	50
Anexo 7. Análisis estadístico del contenido de nitrógeno	50
Anexo 8. Certificado de inglés	51

1. Título

Efecto de diferentes niveles de nitrógeno sobre el rendimiento de quinua bajo las condiciones agroclimáticas de la hoya de Loja

2. Resumen

El nitrógeno es el nutriente más limitante para la producción de cultivos. Investigaciones indican que la quinua responde favorablemente a niveles de nitrógeno superiores a 80 kg/ha, sin embargo, existe limitada información y no existe una curva de dilución crítica de nitrógeno para esta especie. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta del rendimiento a diferentes niveles de nitrógeno en quinua y determinar la curva de dilución crítica del nitrógeno. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA), con un solo factor que fue la fertilización nitrogenada constituido por cinco niveles: 0, 50, 100, 200 y 400 kg/ha de nitrógeno y 3 repeticiones por cada tratamiento. El rendimiento fue afectado significativamente por la aplicación de nitrógeno, donde 200 kg/ha obtuvo un rendimiento promedio de 3,41 t/ha. Los porcentajes de nitrógeno en la biomasa en los distintos tratamientos fueron elevados en la fase inicial del cultivo (57 a 103 DDS) alcanzando valores entre 4,73 % y 5,02 %, luego se observa un decrecimiento del contenido de nitrógeno en la planta a medida que avanza el tiempo, llegando a obtener valores entre 1,78 % y 1,84 % al final del cultivo. La curva de dilución de nitrógeno ($Y = 3,37x^{-0,258}$) y el índice de nutrición nitrogenada resultante permitieron identificar que el tratamiento de 400 kg/ha presentó valores de índice de nutrición nitrogenada mayores a 1 indicando que hubo un consumo de lujo de nitrógeno mientras que el tratamiento testigo mostró puntos de datos con valores menores a 1, lo cual indicó una deficiencia de nitrógeno.

Palabras clave: *Chenopodium quinoa* Willd; Fertilización nitrogenada, rendimiento; curva de dilución crítica, INN.

2.1. Abstract

Nitrogen is the most limiting nutrient for crop production. Research indicates that quinoa responds favorably to nitrogen levels above 80 kg/ha, however, there is limited information and there is no critical nitrogen dilution curve for this species. The present work aimed to evaluate the yield response to different levels of nitrogen in quinoa and determine the critical dilution curve of nitrogen. The experiment was established under a completely randomized design (CRD), with a single factor that was nitrogen fertilization consisting of five levels: 0, 50, 100, 200 and 400 kg / ha of nitrogen and 3 repetitions for each treatment. The yield was significantly affected by the application of nitrogen, where 200 kg/ha obtained an average yield of 3.41 t/ha. The percentages of nitrogen in the biomass in the different treatments were high at the initial phase of the crop (57 to 103 DDS) reaching values between 4.73 % and 5.02 %, then a decrease in nitrogen content is observed in the plant as time progresses, reaching values between 1.78 % and 1.84 % at the end of the crop. The nitrogen dilution curve ($Y = 3.37x - 0.258$) and the resulting nitrogen nutrition index allowed us to identify that the 400 kg/ha treatment presented nitrogen nutrition index values greater than 1 indicating that there was a luxury nitrogen consumption while the control treatment showed data points with values less than 1, which indicated a nitrogen deficiency.

Keywords: *Chenopodium quinoa* Willd; Nitrogen fertilization, yield; critical dilution curve, INN.

3. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es considerada como el único alimento vegetal que tiene todos los aminoácidos esenciales, su valor proteico es superior al trigo, la cebada y la soya, comparándose con la leche ([Bojanic, 2011](#)). Es rica en minerales como hierro, calcio, fósforo y vitaminas ([Dakhili et al., 2019](#)). Por otro lado la quinua se considera resistente a varios factores abióticos adversos que limitan la producción de los cultivos incluidos la sequía, las heladas y la salinidad ([Jacobsen et al., 2003](#)). Su adaptabilidad varía desde el nivel del mar hasta los 4 000 msnm y se caracteriza por sus múltiples formas de uso, su bajo costo de producción y su potencialidad de expansión ([Nieto et al., 2016](#)).

En Ecuador la expansión de la quinua ha sido menor ([Peralta y Mazón, 2014](#)). A pesar de tener las condiciones para su producción y potenciales mercados internacionales el cultivo de quinua en el país es considerado como secundario, no solo por la escasa superficie sembrada, sino por su bajo consumo per cápita, y bajos rendimientos. Dichos rendimientos a nivel de productor van de 0,3 a 1 t/ha en promedio ([Peralta y Mazón, 2014](#)), en contraste con un rendimiento potencial que puede superar las 8 t/ha ([Gómez et al., 2011](#)). La ausencia de un adecuado manejo de la fertilización de los suelos y la nutrición del cultivo constituye uno de los factores más influyentes en cuanto a los bajos rendimientos observados. En dicho aspecto se reportan respuestas favorables del rendimiento mediante la fertilización nitrogenada, fosforada y potásica en suelos pobres con deficiencias de estos nutrientes ([Fries y Tapia, 2007](#)).

El nitrógeno es el nutriente más limitante para la producción de cultivos después del agua ([Fageria y Baligar, 2005](#)). Influye directamente en la producción vegetal en forma cualitativa y cuantitativa, al favorecer el aumento de área foliar que causa el incremento de la tasa fotosintética produciendo mayor crecimiento vegetativo ([González et al., 2004](#)). Dicho macronutriente aplicado en cantidades mayores a las dosis estimulantes de óptimo y máximo, por sus efectos depresivos conduce al descenso del rendimiento del cultivo ([Nieto et al., 2016](#)).

La quinua requiere un importante aporte de nitrógeno para incrementar el rendimiento y calidad del grano ([Kakabouki et al., 2018](#); [Kaul et al., 2005](#)). Diversas investigaciones indican que el cultivo de quinua responde favorablemente a niveles superiores a 80 kg/ha ([Miranda](#)

[et al., 2012](#)). Del mismo modo varios datos comprueban que dicho cultivo presenta respuestas favorables en términos del rendimiento de grano y eficacia en el uso de N, a la aplicación de este macronutriente ([Gonzales et al., 2015](#)). Al respecto [Basra et al. \(2014\)](#) reporta que la aplicación de 75 kg N/ha al suelo mejoró todos los rasgos relacionados con el crecimiento y el rendimiento. [Geren \(2015\)](#) por su parte halló que el nivel de 150 kg N/ha es el mejor para el rendimiento de grano y el contenido de proteína cruda de la quinua en las condiciones ecológicas mediterráneas de Rumania. Sin embargo y pese a los antecedentes la fertilización nitrogenada ha sido poco evaluada en quinua por lo que existe limitada información sobre la respuesta del rendimiento a diferentes niveles de fertilización y se desconocen los niveles óptimos y críticos en relación con el rendimiento en las condiciones agroclimáticas de la sierra ecuatoriana y más específicamente en la provincia de Loja.

Objetivo General

- Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento en quinua bajo las condiciones agroclimáticas de la hoya de Loja.

Objetivos Específicos

- Evaluar la respuesta del rendimiento y sus componentes a la manipulación de diferentes niveles de nitrógeno en quinua.
- Determinar la curva de dilución crítica del nitrógeno para la variedad Tunkahuan en las condiciones agroclimáticas de la hoya de Loja.

4. Marco teórico

4.1. Centro de Origen y diversidad de la quinua

La quinua es una especie nativa de Sudamérica, cuyo centro de origen se encuentra en los Andes de los países de Bolivia y Perú donde se encuentra la mayor diversidad. Se trata de una especie ampliamente dispersa y existe gran cantidad de variedades cultivadas, ecotipos y especies silvestres en diferentes partes del mundo ([Bojanic, 2011](#)).

4.2. Descripción botánica y taxonómica

La quinua pertenece a la familia de las Chenopodiaceae ([Apaza et al., 2013](#)), se caracteriza por ser una planta tipo herbácea de ciclo anual y su comportamiento varía de acuerdo a las diferentes zonas agroecológicas donde se la cultiva, debido a que presenta una gran plasticidad y logra adaptarse a diferentes condiciones ambientales. La coloración de la planta varía según los genotipos, etapa fenológica y el lugar donde se cultiva, los colores se presentan desde el verde hasta el rojo, observando una gama de colores pasando por el púrpura oscuro, amarillento, anaranjado, granate y otros. El período de desarrollo vegetativo del cultivo puede variar desde los 90 hasta los 240 días aproximadamente ([Mujica et al., 2001](#)).

Posee una raíz pivotante muy ramificada y fibrosa que puede alcanzar hasta unos 1,80 cm de profundidad, su tallo es cilíndrico en el cuello de la planta, anguloso a partir de las ramificaciones y varía de 1 a 8 cm de diámetro. Sus hojas son alternas de coloración variable y borde dentado, aserrado o liso, presenta una inflorescencia tipo panoja y las flores son incompletas, pequeñas y sésiles sin pétalos. El fruto es un aquenio que se deriva de un ovario súpero unilocular ([Mujica et al., 2001](#)).

4.3. Requerimientos edafoclimáticos

La quinua se cultiva desde 0 hasta 4 000 m.s.n.m, requiere de 500 a 800 mm de precipitación en el ciclo, una temperatura de 7 a 17 °C ([Luzón, 2016](#); [Peralta et al., 2012](#)), crece sin problemas desde el 40 % hasta el 100 % de humedad relativa dependiendo de la región ([Mujica et al., 2001](#)), debido a su plasticidad se pueden encontrar genotipos tanto de días

cortos como de días largos, inclusive se conoce genotipos que son indiferentes al fotoperiodo, lo cual permite una fácil adaptación a las diferentes condiciones de luminosidad ([Frere et al., 1975](#)). La quinua prefiere los suelos francos, franco arenoso, negro andino con un buen drenaje y pH entre 5,5 a 8 ([Luzón, 2016](#)).

4.4.Fenología

[Sosa et al. \(2017\)](#) describen los siguientes estadios principales de crecimiento de la quinua mediante una escala estandarizada de fenología basada en el sistema de codificación BBCH:

- Fase fenológica principal 0: germinación

Esta fase comprende los siguientes subestadios: semilla seca (estadio 00), imbibición de la semilla (estadio 01), la imbibición de la semilla completa (estadio 03), emergencia de la radícula desde la semilla (estadio 05), emergencia del hipocótilo (estadio 07), hipocótilo con los cotiledones que crecen hasta la superficie (estadio 08) y finalmente la aparición de los cotiledones a través de la superficie del suelo (estadio 09) ([Sosa et al., 2017](#)).

- Fase fenológica principal 1: desarrollo de la hoja

Comprende los siguientes subestadios: separación de los cotiledones (estadio 10), primer par de hojas visibles (estadio 11), segundo par de hojas visibles (estadio 12) y sucesivamente hasta llegar al noveno par de hojas visibles (estadio 19) ([Sosa et al., 2017](#)).

- Fase fenológica principal 2: formación de los brotes laterales

Esta fase inicia con las yemas laterales visibles (estadio 20), seguido del primer brote lateral visible (estadio 21), segundo brote lateral visible (estadio 22) y así sucesivamente ([Sosa et al., 2017](#))

Las fases fenológicas principales 3 correspondiente a elongación del tallo y 4 correspondiente al desarrollo de partes vegetativas cosechables se omiten en la descripción.

- **Fase fenológica principal 5: surgimiento de la inflorescencia**

Esta fase empieza con la inflorescencia presente pero aún envuelta por las hojas (estadio 50), luego las hojas se separan y la inflorescencia se hace visible desde arriba (estadio 51) y finalmente la inflorescencia es visible pero las flores aún están cerradas (estadio 59) ([Sosa et al., 2017](#)).

- **Fase fenológica principal 6: floración**

Implica el comienzo de la antesis con las primeras anteras visibles (estadio 60), seguido del final temprano de la antesis con las primeras anteras senescentes (estadio 67) y la antesis completa con anteras senescentes (estadio 69) ([Sosa et al., 2017](#)).

- **Fase fenológica principal 7: crecimiento del fruto**

Esta fase comprende el cuajado: engrosamiento del ovario y primeros granos visibles en el tallo principal (estadio 70) ([Sosa et al., 2017](#)).

- **Fase fenológica principal 8: maduración**

Inicia con el grano lechoso, fácil de romper con las uñas, contenido líquido y pericarpio verde (estadio 81), seguido del subestadio grano pastoso, fácil de romper con las uñas, contenido pastoso y blanco, pericarpio verde, beige, rojo o negro (estadio 85); la etapa finaliza con el grano maduro, difícil de romper con las uñas, un contenido seco, pericarpio beige, rojo o negro y en este momento está listo para cosechar (estadio 89) ([Sosa et al., 2017](#)).

- **Fase fenológica principal 9: senescencia**

La senescencia comienza en las hojas basales (estadio 91) y continua hacia arriba, pero el tallo permanece verde (estadio 93). Luego, las hojas basales mueren y el tallo pasa de amarillo a marrón (etapa 95). Finalmente, toda la planta está muerta y seca (estadio 97), y el producto es cosechado (estadio 99) ([Sosa et al., 2017](#)).

4.5.Variedades

4.5.1. Variedad INIAP Tunkahuan

La variedad se caracteriza por un bajo contenido en saponina por lo que se considera dulce. Es una variedad semiprecoz que se cosecha entre 5 y 7 meses según la altitud y precipitación, produce hasta 3 t/ha y presenta muy buena adaptación en la Sierra ([Peralta et al., 2013](#)).

4.5.2. Variedad INIAP pata de venado

La variedad presenta un bajo contenido de saponina, se considera precoz puesto que se cosecha entre 5 y 6 meses y se adapta entre 3 000 y 3 600 m.s.n.m. Esta variedad en condiciones favorables puede producir hasta 2 t/ha ([Peralta et al., 2013](#)).

4.6.Nutrientes en el cultivo de quinua

4.6.1. Macronutrientes

La quinua requiere una importante cantidad de N, P, K, Ca, Mg y S para un buen desarrollo, estos deben ser manejados por aplicaciones de acuerdo con fertilidad del suelo y requerimientos del cultivo. Los macronutrientes pueden ser primarios (N, P ,K) o secundarios (Ca, Mg y S) ([FAO, 2002](#)).

a) Macronutrientes primarios

Se requieren en cantidades más grandes, dentro de los macronutrientes primarios tenemos:

- Nitrógeno. Determina el potencial de rendimiento puesto que incrementa el crecimiento vegetativo y la capacidad fotosintética de las plantas, una cantidad de este llega a los granos a la madurez y contribuye con la cantidad de proteína ([Pando y Aguilar, 2016](#)). Según [Mekdad et al. \(2021\)](#) el N aumenta los metabolitos que se sintetizan debido al aumento en la tasa de fotosíntesis, lo que lleva a un aumento de los asimilados translocados en las partes comestibles de los cultivos. Se encuentra en el suelo en diferentes formas y las plantas lo toman de este en forma de nitrato (NO₃) ([Pando y Aguilar, 2016](#)).
- Fósforo. Es absorbido por la quinua principalmente durante las fases iniciales de desarrollo, permite una buena formación del sistema radicular y su deficiencia

disminuye la altura de la planta, provoca un retraso en la floración y maduración y ocasiona la formación de inflorescencias y granos de menor tamaño ([Pando y Aguilar, 2016](#)).

- Potasio: Se conoce que la quinua absorbe grandes cantidades de potasio y que gran parte de la cantidad absorbida permanece en el tallo. Sus deficiencias pueden ocasionar un ineficiente crecimiento radicular, así como tallos débiles y hojas bajas con bordes y ápices amarillentos ([Pando y Aguilar, 2016](#)).

b) Macronutrientes secundarios

Los macronutrientes secundarios también se absorben en cantidades considerables y cumplen funciones importantes, así por ejemplo el Ca influye en el desarrollo de las raíces y forma parte del tejido celular, el Mg es el constituyente central de la clorofila y participa en reacciones enzimáticas de transferencia de energía, mientras que el S es constituyente de proteínas y está involucrado en la formación de la clorofila ([FAO, 2002](#)).

4.6.2. Micronutrientes

Los micronutrientes como Fe, Cu, Zn, Cl, B, Mo y Mn, son elementos indispensables para el desarrollo de las plantas y son tan importantes como los macronutrientes en su nutrición, la deficiencia de estos se considera una de las razones más importantes por las cuales se reduce el crecimiento y el rendimiento de los cultivos ([Adediran et al., 2001](#)). Son requeridos por los cultivos en pequeñas cantidades y existe un margen estrecho entre el exceso y la deficiencia de estos puesto que si se aplica demasiado de un microelemento (como ejemplo el B) puede obtenerse un efecto perjudicial contrario al deseado (toxicidad) ([FAO, 2002](#)).

4.7.El nitrógeno y la curva de dilución de N

El nitrógeno se considera, junto con el carbono, como uno de los elementos básicos de la vida ([Connor y Loomis, 2002](#)), la deficiencia de dicho nutriente es el trastorno nutricional más importante que limita el rendimiento de los cultivos en todo el mundo, por lo tanto, el uso eficiente de N en la producción de cultivos es crucial para aumentar el rendimiento, la calidad, y rentabilidad de los cultivos, así como la seguridad ambiental ([Fageria y Baligar, 2005](#)).

Debido a la diversidad de condiciones agroecológicas existentes, los niveles óptimos de fertilización nitrogenada en quinua aún están bajo estudio, sin embargo, existen varios antecedentes acerca del comportamiento del cultivo que indican una respuesta favorable a la aplicación del macronutriente. En este aspecto [Erley et al. \(2005\)](#) informaron que la quinua logró un rendimiento de hasta 350 kg/ha con 120 kg N/ha, además el rendimiento de grano aumentó en un 94 % en comparación con el control. [Jacobsen et al. \(1994\)](#) encontraron que el rendimiento del grano de quinua incrementó con el aumento de la tasa de fertilización con nitrógeno de 40 a 160 kg N/ha. [Basra et al. \(2014\)](#) encontraron que la aplicación de nitrógeno al suelo (75 kg N/ha) mejoró todos los rasgos relacionados con el crecimiento y el rendimiento, lo que resultó en una mayor producción de biomasa e índice de cosecha. Del mismo modo ([Alandia et al., 2016](#)) reportaron resultados positivos a la aplicación de N en quinua en condiciones de sequía moderada obteniendo rendimientos comparables con plantas no sometidas a estrés hídrico. Todos estos datos denotan la importancia del papel que juega el N en el rendimiento del cultivo.

Por otro lado se conoce que el contenido de N en la planta decae durante el ciclo de crecimiento de los cultivos, esto es atribuido a varias razones entre ellas: las respuestas fisiológicas a situaciones como la posición de las hojas, el incremento de tejidos estructurales y el aumento del almacenamiento que varían durante el ciclo del cultivo ([Plénet y Lemaire, 1999](#)). En 1984 Lemaire y Salette establecieron una ecuación alométrica que relaciona el nitrógeno consumido por la planta y la materia seca acumulada. Esta ecuación nos permite construir una curva en donde cada punto representa la mínima concentración de N observada en planta para una acumulación determinada de biomasa aérea, la curva resultante se denomina la curva de dilución de nitrógeno (CDN) ([Frigerio et al., 2016](#)).

Lemaire y Salette ([1984](#)), desarrollaron el concepto de una curva de dilución crítica de N para *Festuca arundinacea* Schreb, representado por la siguiente función alométrica:

$$N_c = aW^{-b}$$

En la ecuación N_c es la concentración total de N en los brotes, W es la biomasa total de los brotes, a es la estimación de la concentración de nitrógeno en la biomasa total de brotes y b

es el coeficiente de dilución descrito en la relación entre la concentración de N y la biomasa de los brotes.

De acuerdo con varios autores cada especie tiene su propia CDN según sus características histológicas y morfológicas, además existen diferencias entre los grupos metabólicos C3 y C4 ([Frigerio et al., 2016](#)).

Para estudiar el estado de nutrición con nitrógeno se utiliza el índice de nutrición nitrogenada (INN), que se conceptualiza como el contenido de N en la biomasa aérea con relación al mínimo contenido de N que se necesita para maximizar su crecimiento, es decir el N crítico (N_c). El INN en otras palabras establece una relación entre el contenido de N experimental y el N crítico o teórico que debería contener la biomasa de una determinada muestra. El índice de nutrición nitrogenada es considerado una importante herramienta para determinar tanto excesos como deficiencias de nitrógeno en un determinado cultivo ([Lemaire et al., 2008](#)).

4.8. Rendimiento en quinua

El rendimiento en quinua se genera a lo largo del ciclo de cultivo y dependiendo de los factores que limiten su desarrollo y crecimiento se puede clasificar en rendimiento potencial, rendimiento alcanzable y rendimiento logrado o real. En el rendimiento potencial los factores limitantes son el genotipo, la temperatura, el fotoperíodo y la radiación solar, dichos factores no son controlados por el hombre, y los rendimientos son propios de cultivos comerciales a gran escala. En el rendimiento alcanzable, los factores limitantes son el agua, el suelo y los nutrientes; mientras que en el rendimiento logrado o real los factores limitantes son las plantas arvenses, las enfermedades, las plagas y la contaminación ([Villavicencio, 2021](#)).

La limitante de cada rendimiento impide llegar a una producción superior, así, si se controlan y satisfacen las limitantes del rendimiento logrado se obtiene el rendimiento alcanzable y si satisfacemos las limitantes de este logramos el rendimiento potencial, que es aquel que permite obtener el mejor retorno económico. Dichos factores tendrán un importante impacto cuanto mayor sea su incidencia a lo largo del período crítico del rendimiento ([Satorre et al., 2015](#)). De este modo de la totalidad de recursos incorporados en la planta, una parte será destinada a órganos vegetativos y otra única proporción representada por el índice de cosecha (IC), es lo que finalmente representa el rendimiento ([Sandaña y Calderini, 2018](#)).

4.8.1. Componentes del rendimiento

El rendimiento es un conjunto de componentes que se van generando durante el desarrollo del cultivo y cada uno es fijado en un momento específico. Está definido por sus dos principales componentes: el número de granos m^{-2} y el peso promedio del grano ([Sandaña y Calderini, 2018](#); [Satorre et al., 2015](#)).

a) Número de granos

La determinación de este componente es un proceso secuencial que se genera a lo largo del ciclo del cultivo. En quinua este componente posee dos etapas: una etapa vegetativa en la cual se determina el número de plantas por unidad de superficie y el número de ramificaciones por planta, y una etapa reproductiva en la cual se determina el número de ramificaciones de panoja por planta y el número de granos por panoja ([Geren, 2015](#); [Satorre et al., 2015](#)).

b) El peso del grano

El peso del grano es el último componente del rendimiento en fijarse. Depende de la tasa de acumulación de materia seca del grano y del tiempo de llenado, y empieza luego de la fecundación. La evolución del peso de grano durante el periodo de llenado considera la dinámica de acumulación de materia seca, y comprende tres fases: fase uno “lag”, fase dos “de crecimiento lineal” y fase tres “de estabilidad”. La fase uno “lag” es donde se produce la división celular acelerada y el incremento del peso es leve. La fase dos “de crecimiento lineal” es donde hay una gran acumulación de biomasa y se definen los componentes comerciales, y la fase tres “de estabilidad” es donde ya no hay acumulación de biomasa y su peso se estabiliza ([Satorre et al., 2015](#)).

5. Metodología

5.1.Ubicación del área de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja. Las coordenadas geográficas correspondientes al área de estudio son las siguientes: 4°02'19,2"S y 79°12'00,6"O. Se encuentra a una altitud de 2 150 m.s.n.m, su temperatura promedio es de 16,3 °C y presenta una precipitación media anual de 900 mm. El suelo de esta zona se caracteriza por ser franco limoso con un pH de 5 a 6.

5.2.Diseño Experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA), con un solo factor la fertilización nitrogenada constituido por cinco niveles: 0, 50, 100, 200 y 400 kg/ha de N, el cual se aplicó en forma de urea. Cada tratamiento tuvo 3 repeticiones y se obtuvo un total de 15 unidades experimentales. La dimensión de las unidades experimentales fue de 3,5 m de ancho por 2,5 m de largo separadas con 1 m de distancia entre parcelas. Cada unidad experimental constó de 7 hileras con un distanciamiento de 0,5 m entre ellas. La siembra dentro de las hileras se realizó a chorro continuo y posteriormente cuando las plantas tenían aproximadamente 20 cm de altura se hizo un raleo dejando una distancia de 10 cm entre cada planta. Cada hilera estuvo conformada por 25 plantas aproximadamente dando un total de 175 plantas por parcela.

Tabla 1. Descripción de tratamientos de nitrógeno aplicados al cultivo de quinua

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

5.3. Metodología para el primer objetivo específico “Evaluar la respuesta del rendimiento y sus componentes a la manipulación de diferentes niveles de nitrógeno en quinua”

Para evaluar la repuesta del rendimiento y sus componentes a la manipulación de diferentes niveles de nitrógeno se utilizaron cinco dosis de nitrógeno: 0, 50, 100, 200 y 400 kg/ha. Las dosis totales de los tratamientos se aplicaron al momento de la siembra. Los tratamientos no estuvieron limitados por disponibilidad de agua ni de nutrientes (a excepción del nitrógeno que fue manipulado) para garantizar las condiciones potenciales del cultivo por lo que se realizó previamente un análisis de suelo. Como material vegetal se utilizó un genotipo de quinua var. Tunkahuan liberado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP). Para determinar el objetivo se consideran los siguientes indicadores:

5.3.1. Variables de crecimiento y desarrollo

Dentro de las variables de crecimiento y desarrollo fueron consideradas fenología, altura de la planta y tasa de elongación del tallo. La fenología del cultivo se registró semanalmente empleando la escala BBCH para quinua ([Sosa et al., 2017](#)). Cada estado fenológico se asignó cuando más del 50 % de las plantas de cada parcela llegó al estado fenológico objetivo. La duración de las etapas fenológicas se cuantificó en días calendario.

La altura de la planta se registró cada 15 días tomando la altura desde el cuello de la planta hasta el ápice central, para ello se marcaron 3 plantas para evaluar por cada unidad experimental. Para estimar la tasa de elongación del tallo se utilizaron los datos recolectados para la altura de la planta, es decir de tres plantas marcadas por parcela empleando el software Table Curve v5.01. Para la dinámica de crecimiento del tallo, los valores se ajustaron a una función sigmoidea usando el software GraphPad Prism 8.01.

5.3.2. Variables de Rendimiento

En las variables de rendimiento fueron incluidos número de granos por planta, número de granos por m² y peso del grano. Se tomaron 5 plantas de las hileras centrales de cada unidad experimental en el estado de madurez fisiológica y se contabilizó el número de granos por planta. El número de granos por unidad de superficie se determinó multiplicando el número

de granos por planta por el número de plantas por m². Los granos cosechados se secaron en una estufa a 65 ± 5 °C por 3 días para determinar el peso de 1000 granos.

Para determinar el rendimiento final se utilizó la siguiente fórmula: $R = NG \text{ m}^{-2} * PG$

Donde:

R= rendimiento

NG m⁻² = número de granos por m²

PG= Peso promedio de los granos

5.3.3. Índice de cosecha

El índice de cosecha se calculó al momento de la cosecha empleando la siguiente fórmula:

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

5.3.4. Área foliar, IAF y cobertura vegetal

El área foliar (AF), se evaluó mediante el uso de un equipo medidor de área foliar CI-202, con tecnología láser y buena resolución. Se tomaron 6 plantas por cada fecha de muestreo, y se retiraron todas las hojas, ingresando cada una de estas en el escáner del equipo. Para estimar el área foliar (AF) de las plantas restantes se empleó la ecuación $Y = 80,159x + 7,6076$ obtenida a partir de la relación entre la biomasa y los valores de área foliar obtenidos.

El índice de área foliar (IAF) se evaluó empleando la siguiente fórmula:

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

Para estimar el porcentaje de cobertura vegetal se empleó la aplicación “Canopeo” disponible para el sistema Android e IOS, se seleccionaron tres plantas por cada unidad experimental y se tomaron fotografías con la aplicación a una altura de 1 metro, tomando en cuenta que no haya presencia de maleza en las plantas a muestrear ya que esto altera el porcentaje obtenido.

5.4. Metodología para el segundo objetivo específico “Determinar la curva de dilución crítica del nitrógeno para la variedad Tunkahuan en las condiciones agroclimáticas de la hoya de Loja”

Para determinar la curva de dilución crítica del nitrógeno para la variedad Tunkahuan en las condiciones agroclimáticas de Loja se consideraron los siguientes indicadores:

5.4.1. Biomasa y N de brotes

La biomasa de los brotes ($t\ ha^{-1}$) se determinó empleando 2 plantas de las hileras centrales de cada unidad experimental, estas se cortaron desde el cuello y se dividieron en hojas y tallos. Se realizaron 7 muestreos correspondientes a los estadios 14 (cuarto par de hojas verdaderas), 16 (sexto par de hojas verdaderas), 19 (noveno par de hojas verdaderas), 28 (brotes laterales visibles), 59 (Inflorescencia con flores aún cerradas), 70 (crecimiento del fruto) y 93 (senescencia, cosecha), en este último muestreo se utilizaron las mismas plantas destinadas para la cosecha. La materia seca (MS) se determinó después de secar en estufa cada componente a $65\ ^\circ C$ hasta llegar a un peso constante. Las muestras fueron molidas y tamizadas (1 mm) y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su posterior análisis químico (400 g). La concentración de N total en los brotes se determinó mediante el método Kjeldahl ([Bremner y Mulvaney, 1982](#)).

5.4.2. Acumulación de N en las plantas

La acumulación de N en las plantas se determinó en cada fase de muestreo utilizando la siguiente ecuación:

$$PNA = \frac{B_W B_N}{100}$$

Donde

B_W = Pesos secos biomasa aérea

B_N = Concentraciones de N biomasa aérea, respectivamente.

5.4.3. *Contenido de clorofila*

El contenido de clorofila se midió usando el equipo SPAD minolta 502, se seleccionaron 2 plantas de cada repetición y se midió en 2 hojas superiores completamente expandidas de cada planta. Se realizaron 6 muestreos correspondientes a los estadios 14 (cuarto par de hojas verdaderas), 16 (sexto par de hojas verdaderas), 19 (noveno par de hojas verdaderas), 28 (brotes laterales visibles), 59 (Inflorescencia con flores aún cerradas) y 70 (crecimiento del fruto). Las medidas se recogieron de la lámina foliar, evitando la nervadura central como lo indica [Zhu et al. \(2012\)](#).

5.4.4. *Curva de dilución de N*

Para realizar la curva de dilución de N se identificaron los puntos que corresponden a la tasa de N por encima de la cual la biomasa de brotes no aumenta significativamente utilizando el procedimiento propuesto por [Greenwood et al. \(1990\)](#) y [Justes et al. \(1994\)](#). Se identificó y seleccionó la biomasa de brotes significativamente más alta ($P \leq 0.05$) obtenida con cualquier tasa de fertilización con N y la correspondiente concentración de N. Estos puntos de datos se utilizaron para determinar la relación entre la concentración crítica de N y la biomasa de los brotes utilizando una función alométrica.

$$N_c = aW^{-b}$$

En la ecuación N_c es la concentración total de N en los brotes, W es la biomasa total de los brotes, a es la estimación de la concentración de nitrógeno en la biomasa total de brotes y b es el coeficiente de dilución descrito en la relación entre la concentración de N y la biomasa de los brotes. El índice de nutrición de N (INN) se estimó con la siguiente fórmula:

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

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

5.5. Análisis estadístico

Para la toma y registro de datos del cultivo se utilizó el programa Excel. Se realizó un ANOVA con el 5% de significancia para determinar el efecto de los tratamientos, así mismo se realizaron pruebas de comparación múltiple empleando la prueba de Tukey y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fischer para evaluar diferencias entre los tratamientos. Se realizaron análisis de correlaciones para evaluar asociaciones entre variables de desarrollo, rendimiento y sus componentes. Se emplearon los programas Infostat para realizar ANOVA y pruebas de comparación múltiple, Table curve para calcular la tasa de elongación del tallo mediante los datos de altura y GraphPad prism para realizar las diferentes gráficas.

6. Resultados

6.1. Resultados para el primer objetivo específico

6.1.1. Fenología

El ciclo del cultivo duró 165 DDS (días después de la siembra). La duración de las etapas fenológicas registradas fue la siguiente: Emergencia (BBCH09), 7 días; Hojas verdaderas (BBCH14), 50 días; Brotes laterales (BBCH28), 32 días; Inflorescencia (BBCH59), 14 días; Floración (BBCH60) 9 días; Desarrollo del fruto (BBCH70) 12 días; Senescencia (BBCH93), 40 días (Figura 1). En promedio el cultivo experimentó una temperatura máxima de 20 °C y mínima de 10 °C, estos datos fueron tomados de la Estación Meteorológica La Argelia ubicada en la Universidad Nacional de Loja.

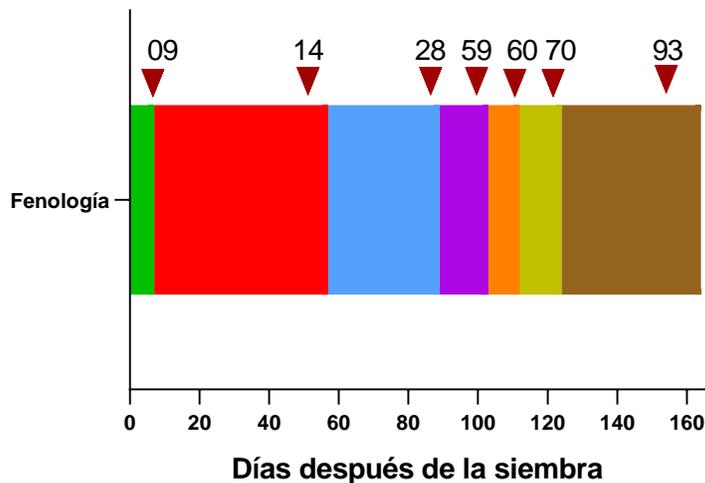


Figura 1. Duración de las etapas fenológicas de la quinua variedad Tunkahuan cultivada en la Argelia, Loja en días después de la siembra. Verde: Emergencia (BBCH09); Rojo: Hojas verdaderas (BBCH14); Celeste: Brotes laterales (BBCH28); morado: Inflorescencia, flores aun cerradas (BBCH59); Naranja: Floración (BBCH60); verde claro: Desarrollo del fruto (BBCH70); Café: Senescencia (BBCH93).

6.1.2. Altura y tasa de elongación del tallo

Para la variable altura existió un efecto significativo del nitrógeno, se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p < 0,05$). La menor altura corresponde al tratamiento control (N0), en donde se puede observar que las plantas alcanzaron en promedio al final de ciclo del cultivo 66,11 cm, mientras que las mayores alturas corresponden a los tratamientos

N200 y N400 con alturas promedio de 96,44 y 100,78 cm respectivamente (figura 2a). En cuanto a la variable de tasa de elongación del tallo los resultados fueron similares, los valores más altos corresponden a los tratamientos N200 y N400 con una tasa de elongación de 1,51 cm/día y 1,55 cm/día respectivamente en tanto que el tratamiento control (N0) presentó una tasa de una tasa de elongación de 0,98 cm/día (figura 2b).

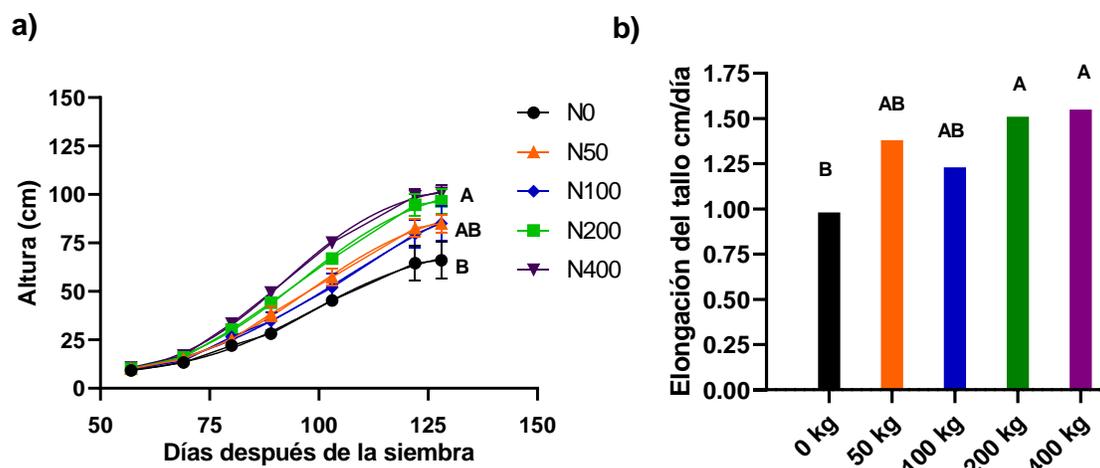


Figura 2. Altura promedio (a) y tasa de elongación del tallo (b) del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos mediante prueba de Tukey ($p < 0,05$).

6.1.3. Biomasa

La variable Biomasa mostró un efecto significativo del nitrógeno y se encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Los pesos más bajos se obtuvieron con el tratamiento control (N0) con un valor promedio al final del cultivo de 214,69 g/m², en tanto que los mayores pesos se obtuvieron mediante el tratamiento N200 con un valor promedio de 592,57 g/m², seguido del tratamiento N400 con un valor de 600,67 g/m². El tratamiento N200 es diferente del testigo N0, pero no presentó diferencias estadísticamente significativas con N50, N100 y N400. Del mismo modo se observa un aumento considerable de biomasa en los distintos tratamientos a partir de los 122 DDS (figura 3).

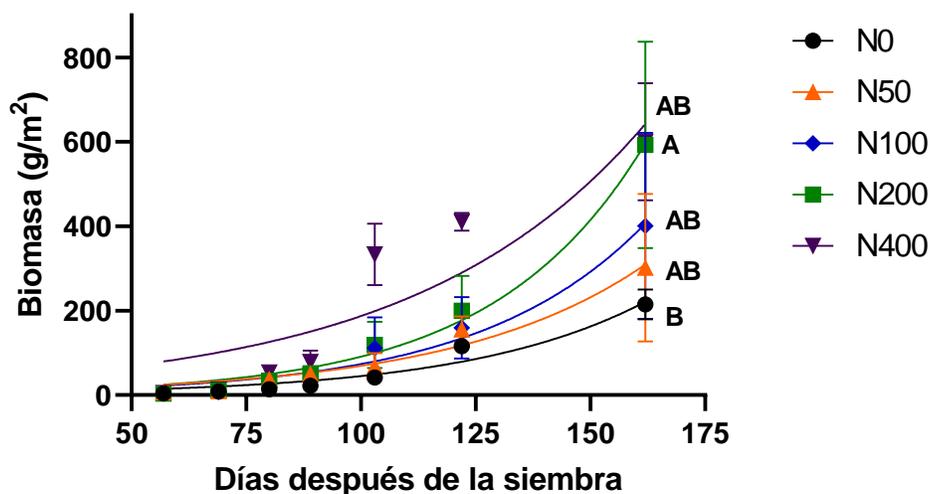


Figura 3. Biomasa de las plantas del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos mediante prueba de Tukey ($p < 0,05$).

6.1.4. Índice de área foliar y cobertura vegetal

El índice de área foliar presentó diferencias altamente significativas ($p < 0,005$), donde se puede evidenciar que el tratamiento N400 alcanzó los valores más altos al final del cultivo con 3,62. Mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey se encontró que los tratamientos restantes N0, N50, N100 y N200 no presentaron diferencias significativas entre ellos, del mismo modo los valores más bajos se obtuvieron con los tratamientos N0 (testigo) y (N50) con valores de 0,67 y 0,90 respectivamente; se observa además un descenso importante a partir de los 103 DDS (días después de la siembra) lo cual se explica por la defoliación de la planta producida por la senescencia (Figura 4a). Para la variable de cobertura vegetal los tratamientos N100 y N400 presentaron los porcentajes más altos (29,79 %) y 34,06 %), mientras que el tratamiento control (N0) presentó el porcentaje más bajo (22,67 %) (Figura 4b), sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

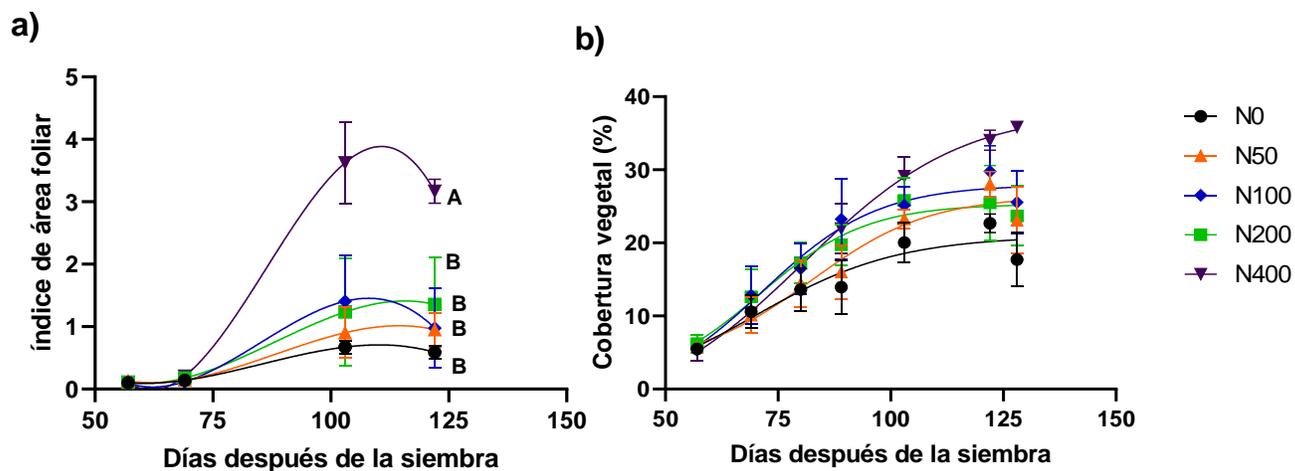


Figura 4. Índice de área foliar (a) y porcentaje de cobertura vegetal (b) de las plantas del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos mediante prueba de Tukey ($p < 0,05$).

6.1.5. Rendimiento y sus componentes

El rendimiento presentó un efecto altamente significativo ($p < 0,001$) a la aplicación de nitrógeno, donde el tratamiento N200 alcanzó los valores más altos con un rendimiento promedio de 3,41 t/ha, seguido del N400 con un promedio de 2,97 t/ha, a diferencia del tratamiento control que alcanzó un rendimiento de 1,45 t/ha. Los rendimientos obtenidos con los tratamientos N200 y N400 no fueron significativamente diferentes entre sí, del mismo modo que los rendimientos obtenidos con los tratamientos N0 y N50. En cuanto al índice de cosecha (IC), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, se obtuvo mayor IC con el tratamiento N50. En lo que respecta a los componentes del rendimiento número de granos por planta y número de granos por m^2 se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), en tanto que el peso del grano mostró un efecto muy significativo ($p < 0,01$).

Tabla 2. Medias de rendimiento y sus componentes e índice de cosecha de la variedad Tukahuan bajo los diferentes niveles de nitrógeno.

Nitrógeno (Kg/ha)	Rendimiento (t/ha)	Índice de cosecha	Número de granos (Planta)	Número de granos (m²)	Peso de 1000 granos (gr)	Biomasa g/m²
0 Kg/ha	1,45 C	0,40	2 838,74 B	56 774,86 B	2,60 B	360,25 B
50 Kg/ha	2,06 BC	0,44	3 958,30 AB	79 166,05 AB	2,60 B	507,77 AB
100 Kg/ha	2,12 AB	0,42	4 730,82 AB	94 616,37 AB	2,70 B	657,47 AB
200 Kg/ha	3,41 A	0,38	4 908,59 A	98 171,84 A	3,47 A	933,11 A
400 Kg/ha	2,97 AB	0,34	4 743,17 AB	94 863,43 AB	3,20 AB	898,01 AB
CV	14,74	26,72	17,14	17,14	8,59	30,47
N	***	NS	*	*	**	*

Los valores son medias de tres repeticiones. Letras iguales en sentido vertical no muestran diferencia significativa mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). 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 el segundo objetivo específico

6.2.1. Evolución de nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo y SPAD

Los porcentajes de nitrógeno en los distintos tratamientos (N0, N50, N100, N200 y N400) fueron elevados en la fase inicial del cultivo (57 a 103 DDS), alcanzando porcentajes de 4,73 % y 5,02 %, luego de esta fase se observa un decrecimiento notable del contenido de nitrógeno en la planta a medida que avanza el tiempo (DDS) llegando a obtener valores de 1,84 % y 1,78 % al final del cultivo, dicho comportamiento es común en las especies vegetales. Del mismo modo podemos observar que las mayores concentraciones de nitrógeno en las plantas corresponden a las mayores aplicaciones de nitrógeno, al final ciclo del cultivo N100 (100 kg/ha) y N400 (400 kg/ha) mostraron los valores más altos 2,01 % y 1,98 % respectivamente, en contraposición al porcentaje más bajo presentado por el tratamiento control N0 (0 kg/ha) con un valor de 1,79 %; la diferencia en la concentración de nitrógeno al final del cultivo entre los tratamientos no fue significativa, sin embargo sí presentó una marcada diferencia en el rendimiento final (figura 5a). En cuanto a la estimación del

contenido de clorofila mediante lectura del SPAD se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), siendo los tratamientos N100 y N400 los que presentaron los valores de SPAD más altos con 48,82 y 51,05 spads respectivamente (figura 5b). Del mismo modo el contenido de nitrógeno presentó una correlación positiva con la medición de SPAD ($p < 0,05$) en las fases de hojas verdaderas (BBCH19), formación de brotes laterales (BBCH28) e inflorescencias visibles (BBCH59) donde la concentración de nitrógeno incrementa a medida que aumenta la lectura del SPAD (figura 5c).

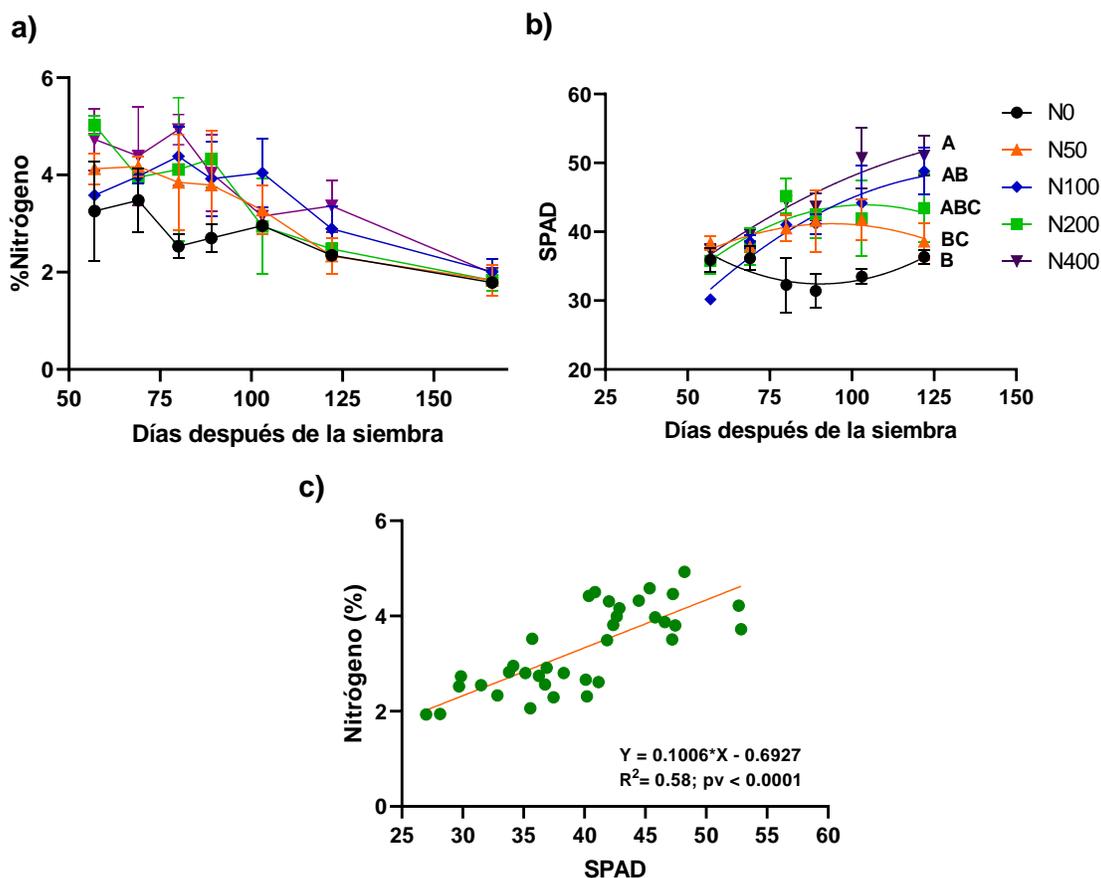


Figura 5. Evolución del nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo (a), lectura SPAD y (c) correlación porcentaje de nitrógeno versus lectura SPAD de las plantas del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos mediante prueba de LSD Fisher ($p < 0,05$).

6.2.2. Curva de dilución crítica de nitrógeno en quinua

La figura 6 muestra las concentraciones de nitrógeno y biomasa de los cinco tratamientos. El tratamiento N400 presentó puntos por encima de la curva de dilución de nitrógeno en función de la biomasa lo que indica una concentración de nitrógeno por encima de la concentración crítica, en tanto que el tratamiento N200 mostró la mayor cantidad de puntos con mayor proximidad a la curva, es decir a la concentración de N que permite alcanzar la máxima tasa de crecimiento. El tratamiento N100 también presentó puntos cercanos a la curva. Por otro lado, los tratamientos N0 y N50 mostraron puntos por debajo de la curva de dilución lo cual representa deficiencias en el contenido de nitrógeno de la planta. La curva de dilución de nitrógeno resultó del ajuste de un modelo de regresión potencial según la siguiente ecuación:

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

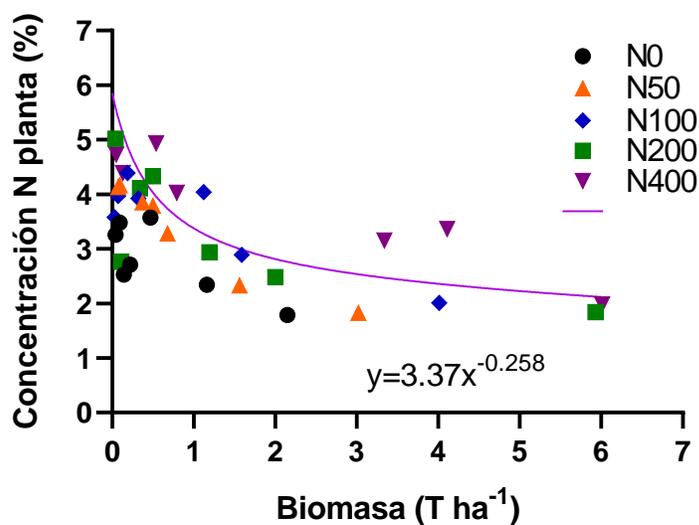


Figura 6. Curva de dilución de nitrógeno de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno.

6.2.3. Índice de nutrición nitrogenada (INN)

La figura 7 muestra el índice de nutrición nitrogenada (INN) de los distintos tratamientos en el cultivo de quinua. El tratamiento de 400 kg/ha (N400) presentó valores de INN mayores a 1 a partir de los 80 DDS, es decir que hay un consumo de lujo de nitrógeno donde la planta mantiene la absorción del nutriente, pero no se da un aumento en el crecimiento y rendimiento. La dosis de 200 kg/ha (N200) presentó puntos que se encontraban generalmente cerca del 1, lo que indica que el nitrógeno no limitaba el crecimiento, observándose un comportamiento similar con la dosis 100 kg/ha (N100). Por otro lado, el testigo que corresponde a la aplicación de 0 kg/ha (N0) mostró valores menores a 1 a lo largo de todo el ciclo del cultivo, es decir que existe una deficiencia de nitrógeno.

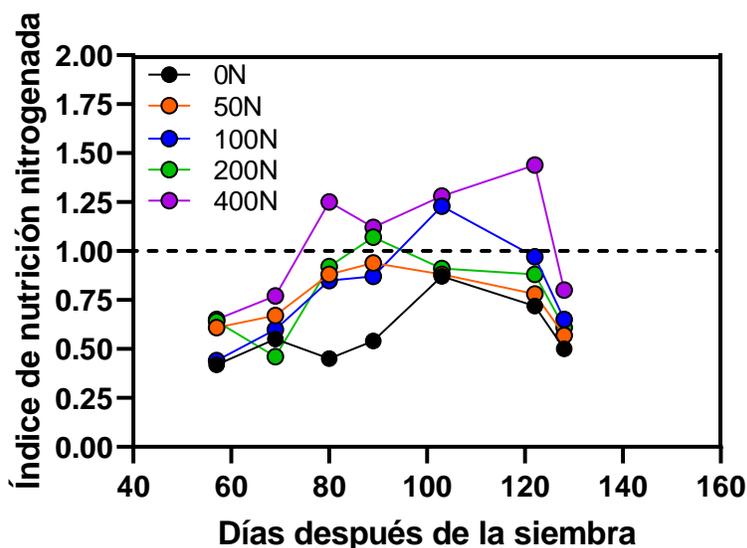


Figura 7. Índice de nutrición nitrogenada del cultivo de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de distintas dosis de nitrógeno.

6.2.4. Correlaciones

La tabla 2 indica las correlaciones entre distintas variables con un nivel de significancia ($p < 0,05$), donde se puede destacar que se encontró una correlación positiva altamente significativa entre la cobertura y el contenido de clorofila, del mismo modo entre la biomasa y el rendimiento. Se encontró una correlación positiva muy significativa entre el rendimiento y altura, y una correlación significativa entre rendimiento con clorofila e IAF.

Tabla 3. Correlaciones entre las distintas variables evaluadas en quinua variedad Tukahuan

	Altura	Cobertura	Biomasa	Clorofila	IAF	Rendimiento	NG m²	Peso 1000 G	IC	%N BS
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*					
NG m²	0,69**	0,47	0,77**	0,67**	0,51	0,89***				
Peso 1000 G	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		
%N BS	0,05	0,27	0,14	0,45	0,55*	0,22	0,40	-0,08	0,11	
%N grano	0,68**	0,41	0,87***	0,51	0,56*	0,96***	0,83***	0,71**	-0,27	0,24

Los valores son medias de tres repeticiones, ns= efecto no significativo $p > 0,05$; * efecto significativo $p < 0,05$; **efecto muy significativo $p < 0,01$; *** efecto altamente significativo $p < 0,001$.

7. Discusión

7.1. Discusión para el primer objetivo específico

De acuerdo con los resultados obtenidos la duración del ciclo del cultivo de quinua en las condiciones de suelo y clima de la hoya de Loja fue de 165 días, esto coincide con lo reportado por [Caballero et al. \(2015\)](#) quienes alcanzaron la fase de cosecha a los 167 días (DDS) en las condiciones climáticas del altiplano de Bolivia. [Ramírez et al. \(2016\)](#) sostienen que la fenología de la quinua se encuentra dividida en tres fases: vegetativa, reproductiva y madurez fisiológica; en donde al evaluar 3 accesiones de quinua encontraron que la fase vegetativa comprendida desde los 15 DDS a ramificación variaba entre los 70 a 90 DDS mientras que la fase reproductiva entre 150 y 177 DDS, del mismo modo [Rojas et al. \(2014\)](#) menciona que accesiones de quinua caracterizadas presentan la madurez fisiológica entre los 119 a 220 días. Esta información coincide con la obtenida en el presente trabajo de investigación ya que el tiempo estimado para alcanzar una determinada etapa se encuentra dentro del rango indicado por los autores antes mencionados para distintas accesiones estudiadas. Cabe indicar además que este cultivo presenta una alta plasticidad fenológica ([Jacobsen et al., 1999](#)), es decir que la duración de sus etapas fenológicas va a depender en gran parte del genotipo y las condiciones edafoclimáticas.

La altura presentó un efecto significativo a la aplicación de nitrógeno encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), siendo N200 y N400 los tratamientos que alcanzaron mayores alturas con respecto al testigo. De manera similar los tratamientos N200 y N400 presentaron una mayor tasa de elongación del tallo, lo cual concuerda con lo mencionado por [Berti et al. \(2000\)](#) quienes encontraron que la aplicación de nitrógeno aumentó el desarrollo vegetativo en quinua, es decir se alcanzó una mayor altura o desarrollo vegetal en presencia de un mayor aporte de fertilización nitrogenada. Varios autores también reportan una respuesta positiva de la biomasa a la aplicación de nitrógeno ([Bascuñán-Godoy et al., 2018](#); [Berti et al., 2000](#); [Kaul et al., 2005](#)), lo cual coincide con el comportamiento de la biomasa en el presente trabajo donde la mayor dosis de nitrógeno (N400) presentó una mayor cantidad de biomasa con respecto a los tratamientos restantes.

[González et al. \(2004\)](#) sostienen que el nitrógeno favorece el aumento del área foliar lo cual causa el incremento de la tasa fotosintética produciendo mayor crecimiento de los tejidos vegetativos. En el presente estudio la aplicación de nitrógeno incrementó el IAF y la cobertura vegetal, dichas variables se correlacionaron positivamente entre sí ($p < 0,005$), el IAF mostró una respuesta positiva a la aplicación de nitrógeno encontrándose diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,005$) donde N400 mostró los valores más altos, lo cual coincide con lo reportado por [Aguilar Carpio et al. \(2015\)](#) quienes encontraron que el nitrógeno ocasiona cambios significativos tanto en el número de hojas promoviendo una mayor aparición de ellas como en un incremento del IAF en el cultivo de maíz.

Se conoce que el nitrógeno es el nutriente que tiene mayor influencia para alcanzar rendimientos aceptables en el cultivo de quinua ([Caballero et al., 2015](#)). Varios autores reportan repuestas significativas a la aplicación de este macronutriente, [Jacobsen et al. \(1994\)](#) encontró que el rendimiento en quinua se incrementó al aumentar la dosis de aplicación de 40 a 160 kg/ha, del mismo modo [Erley et al. \(2005\)](#) reportó que la quinua respondió fuertemente a la fertilización con nitrógeno obteniendo 3 500 kg/ha cuando se aplican 120 kg/ha de nitrógeno. [Murrillo \(2006\)](#) por su parte obtuvo rendimientos por encima de los 1 500 kg/ha al aplicar 80 kg/ha de nitrógeno al momento de la siembra, acompañado de riego en caso de bajas precipitaciones. Esta información concuerda con lo obtenido en el presente trabajo, donde tanto el rendimiento como sus componentes (número de granos, peso de 1 000 granos) presentaron un efecto significativo a la aplicación de las distintas dosis de nitrógeno, siendo N200 el tratamiento con un mayor rendimiento (3,41t/ha), datos similares fueron señalados por [Nieto et al. \(2016\)](#) que obtuvo un rendimiento de 2,6 t/ha con dosis de 300 kg/ha de nitrógeno incorporado en forma de sulfato de amonio, destacando que al aplicar una mayor cantidad de nitrógeno (400kg/ha) el rendimiento disminuyó a 2,1 t/ha, comportamiento similar al observado en el presente estudio donde N400 alcanzó un rendimiento de 2,97 t/ha, es decir inferior al obtenido con N200 (3,41t/ha). Al respecto [Pilarte \(2014\)](#) y [Molina \(2014\)](#) manifiestan que los incrementos de nitrógeno incrementan también los rendimientos pero hasta alcanzar los 200 kg/ha, sobre este nivel los rendimientos disminuyen, es decir el rendimiento incrementa al aumentar la dosis de nitrógeno, luego alcanza un punto óptimo y decae por efecto depresivo de altas dosis de nitrógeno ([Urbano Terrón, 2001](#)). Los rendimientos obtenidos en el presente trabajo superan los rendimientos

reportados a nivel de productor en el país los cuales según [Peralta y Mazón \(2014\)](#) van de 0,3 a 1 t/ha. El índice de cosecha por su parte presentó un efecto no significativo a la aplicación de nitrógeno, similar a lo hallado por [Erley et al. \(2005\)](#) que indica que el índice de cosecha en quinua no se vio afectado por la fertilización con nitrógeno, por otro lado [Kakabouki et al. \(2018\)](#) encontró que el índice de cosecha mostró una reacción negativa bajo la fertilización nitrogenada. Así mismo [Berti et al. \(2000\)](#) indica al evaluar fertilización nitrogenada en distintos genotipos de quinua que existe una disminución del IC a medida que la fertilización nitrogenada aumenta y explica que al incrementarse el aporte de nitrógeno, aumenta la producción de fitomasa, sin embargo esto no implicó necesariamente un mayor rendimiento.

7.2. Discusión para el segundo objetivo específico

El comportamiento de la concentración de nitrógeno a lo largo del tiempo mostró una tendencia a decrecer a medida que avanza el tiempo (DDS). En la fase inicial del cultivo (57 a 103 DDS) se alcanzan porcentajes de hasta 5,02 %, llegando a obtener valores de 1,74 % y 1,84 % en la fase de madurez fisiológica (165 DDS), dicho comportamiento se repite en todos los tratamientos, resultados similares reporta [Basantes et al. \(2015\)](#) quien encontró una variación en el contenido de nitrógeno de 4,9 % a los 60 DDS y 2,4 % a los 90 DDS. Dicho comportamiento indica que el contenido de nitrógeno en la planta varía en función de sus etapas fenológicas, así mismo explica que este cultivo requiere mayor cantidad de nitrógeno en las primeras etapas de su desarrollo para mejorar la producción de masa vegetativa, sin embargo, al finalizar la etapa vegetativa disminuye la concentración de nitrógeno en el área foliar y orienta su producción a la floración para la etapa reproductiva produciéndose posteriormente la translocación del nitrógeno de las hojas a la panoja y formación del grano. Del mismo modo un mayor aporte de nitrógeno al suelo (N200 y N400) aumentó la concentración de nitrógeno en biomasa tal como lo reporta [Frigerio et al. \(2016\)](#) en *Digitaria eriantha* cv. Irene.

La medición del SPAD estima la intensidad del color verde en las hojas lo cual se considera como una medida directa del contenido de clorofila. [Xiong et al. \(2015\)](#) menciona en su estudio que existe una estrecha relación entre el valor SPAD y el contenido de clorofila por área foliar tanto en monocotiledóneas como en dicotiledóneas. La lectura del SPAD en el

presente trabajo mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$), siendo N400 el tratamiento con los valores más elevados, así mismo el contenido de nitrógeno presentó una correlación positiva con la medición de SPAD ($p < 0,05$) en las fases de hojas verdaderas, formación de brotes laterales e inflorescencias visibles. Al respecto [Xiong et al. \(2015\)](#) señalan en su estudio sobre la estimación de nitrógeno foliar basada en SPAD que hubo una estrecha relación entre las lecturas SPAD y el contenido de N foliar por área foliar y que el contenido de clorofila por área foliar incrementó con el aumento del contenido de N por área foliar tanto en los grupos de monocotiledóneas como de dicotiledóneas. Así mismo cabe mencionar que la medición de SPAD se correlacionó positivamente con el rendimiento ($p < 0,05$), número de granos por m^2 ($p < 0,01$) e índice de área foliar ($p < 0,01$).

De acuerdo con [Merrien y Milan \(1992\)](#) la concentración de N en la planta que permite alcanzar la máxima tasa de crecimiento se denomina concentración crítica, esta varía en función de la biomasa, ya que en la medida que esta aumenta, la proporción de este macronutriente disminuye por efecto de su dilución en la biomasa aérea incrementada, esto concuerda con el comportamiento del contenido de nitrógeno en función de la biomasa observado en este trabajo. En este sentido la curva de dilución crítica determina para diferentes cantidades de biomasa acumulada una concentración crítica de nitrógeno que permite alcanzar al cultivo la máxima tasa de crecimiento ([Díaz-Zorita y Duarte, 1998](#)). La curva de dilución crítica obtenida en este trabajo para quinua variedad tunkahuan, mostró que los porcentajes de nitrógeno obtenidos con el tratamiento N400 estuvieron por encima de la curva de dilución de nitrógeno, en tanto que se manifiesta un déficit de nitrógeno con los tratamientos N0 y N50, con estos resultados podemos inferir que la dosis más adecuada para obtener una mayor cantidad de biomasa y que esta se vea reflejada en el rendimiento sería el tratamiento N200 el cual presenta puntos más próximos a la curva, seguido del tratamiento N100 el cual también se aproxima a la curva, de este modo la aplicación de N400 sería un gasto innecesario de fertilizante, mientras que N0 y N50 constituirían una deficiencia. El modelo matemático que representó esta dilución para nitrógeno fue similar al reportado por [Ferreira y Ernst \(2014\)](#) en el cultivo de colza.

En cuanto al INN, [Ziadi et al. \(2010\)](#) determinaron el INN en trigo de primavera aplicando diferentes dosis de nitrógeno, en este estudio encontraron que los valores de INN variaron

entre 0,34 y 1,43, así mismo encontraron que los puntos de datos con aplicaciones de 40 y 80 kg/ ha fueron generalmente menores a 1 indicando que el nitrógeno estaba limitando el crecimiento, con 120 y 160 kg/ha los puntos estaban generalmente cercanos a 1, es decir el nitrógeno no limitaba el crecimiento, mientras que los puntos correspondientes a 200 Kg/ha estaban muy por encima de 1 es decir indica una nutrición excesiva. En el presente estudio en quinua los valores de INN oscilaron entre 0,44 y 1,44; siendo N400 el único tratamiento que presentó valores mayores a 1, mientras que el tratamiento testigo N0 indicó una deficiencia de N con puntos de datos por debajo del 1.

8. Conclusiones

El rendimiento en quinua se ve influenciado significativamente por la aplicación de distintas dosis de nitrógeno, los rendimientos más altos fueron alcanzados por el tratamiento N200 con 3,41 t/ha, seguido de N400 con 2,47 t/ha, rendimientos que superan los rendimientos reportados a nivel de productor que van de 0,3 a 1 t/ha. El número de granos por metro cuadrado y peso de mil granos aumentaron a medida que incrementaba la tasa de suministro de nitrógeno, sin embargo, al aplicar la dosis más alta de 400 kg/ha no se obtuvieron diferencias significativas respecto a la aplicación 200 kg/ha.

La curva crítica de dilución de nitrógeno para quinua indicó que la aplicación de 400 kg/ha presentó una concentración de nitrógeno por encima de la concentración crítica y la aplicación 200 kg/ha mostró la concentración de N más próxima a alcanzar la máxima tasa de crecimiento. El tratamiento de 400 kg/ha presentó valores de INN mayores a 1 indicando que hay un consumo de lujo de nitrógeno mientras que el tratamiento testigo mostró puntos de datos con valores menores a 1, lo cual indica una deficiencia de nitrógeno, concluyendo así que el tratamiento de 200 kg/ha no limita el crecimiento comportándose de forma similar la aplicación de 100 kg/ha, siendo éstas las aplicaciones más recomendables.

9. Recomendaciones

Aplicar dosis de nitrógeno de 200 kg/ha acompañada de riego adecuado junto con la aplicación de los nutrientes restantes, puesto que al aplicar 400 kg/ha el rendimiento obtenido no aumentará de forma significativa y podría implicar mayor gasto de recursos y un desperdicio de fertilizante innecesario.

Realizar estudios similares en quinua tanto para la variedad tunkahuan como para otras variedades dado que hay poca información acerca de la fertilización nitrogenada en este cultivo y no existe antes del presente trabajo una curva de dilución de nitrógeno para esta especie.

10. Bibliografía

- Adediran, J., Akande, M., Banjoko, V., Oluwatosin, G., & Taiwo, L. (2001). Influence of legume fallow on soil properties and yield of maize in South Western Nigeria. *Journal of Agriculture in the Tropics and Subtropics*, 102(2), 109-117.
- Aguilar Carpio, C., Escalante Estrada, J. A. S., & Aguilar Mariscal, I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra latinoamericana*, 33(1), 51-62.
- Alandia, G., Jacobsen, S. E., Kyvsgaard, N., Condori, B., & Liu, F. (2016). Nitrogen sustains seed yield of quinoa under intermediate drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(4), 281-291. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jac.12155>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. E. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú* (Primera ed.). Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO.
- Basantes, E., Lazo, D., & Obando, D. (2015). Extracción del nitrógeno y calcio en dos variedades quinua (*Chenopodium quinua*), 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). *Sci. Rep.* 8, 17524. In.
- Basra, S., Iqbal, S., & Afzal, I. (2014). Evaluating the Response of Nitrogen Application on Growth, Development and Yield of Quinoa Genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(5), 886-892.
- 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.
- Bojanic, A. (2011). *La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. FAO. <https://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- Bremner, J., & Mulvaney, C. (1982). Total nitrogen. In. AL Page (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods*. In: Amer. Soc. Agron. pp.
- Caballero, A., Maceda, W., Miranda, R., & Bosque, H. (2015). Rendimiento y contenido de proteína de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), en cinco fases fenológicas, bajo cuatro niveles de incorporación de estiércol. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 68-75.
- Connor, D., & Loomis, R. (2002). Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios. *Universidad de Cambridge. Barcelona, España*, 417.
- Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Hosseini, S. M., Shojaee-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure and functional properties. *Food Chemistry*, 299, 125161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125161>
- Díaz-Zorita, M., & Duarte, G. A. (1998). El nitrógeno y la producción de girasol en la región de la pampa arenosa. *Enviado al XVI Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo*.
- Erley, S., Kaul, H.-P., Kruse, M., & Aufhammer, W. (2005). Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of agronomy*, 22(1), 95-100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.11.002>

- Fageria, N. K., & Baligar, V. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in agronomy*, 88, 97-185. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6)
- FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso una guía de bolsillo para los oficiales de extensión* (4ta ed.). Food & Agriculture Org.
- Ferreira, G., & Ernst, O. (2014). Diagnóstico del estado nutricional del cultivo de colza (*Brassica napus*) en base a curvas de dilución de nitrógeno y azufre. *Agrociencia (Uruguay)*, 18(1), 65-74.
- Frere, M., Rea, J., & Rijks, J. (1975). Proyecto Interinstitucional en agroclimatología. Estudio agroclimatológico de la zona andina: Informe técnico.
- Fries, A. M., & Tapia, M. E. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos.
- Frigerio, K. L., Blanco, E. M., Privitello, J., Panza, A. A., & Frasinelli, C. A. (2016). Curva de dilución e índice de nutrición nitrogenada para *Digitaria eriantha* cv. Irene bajo diferentes regímenes de agua y nitrógeno. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(2), 175-185.
- Geren, H. (2015). Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 20(1), 59-64. <https://doi.org/https://doi.org/10.17557/39586>
- Gómez, M. B., Castro, P. A., Mignone, C., & Bertero, H. D. (2011). Can yield potential be increased by manipulation of reproductive partitioning in quinoa (*Chenopodium quinoa*) Evidence from gibberellic acid synthesis inhibition using Paclobutrazol. *Functional Plant Biology*, 38(5), 420-430. <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/FP10168>
- Gonzales, J., Prado, F., Erazzú, L., Buedo, S., Blanco, M., & Martinez, I. (2015). Efecto de la fertilización nitrogenada orgánica sobre el crecimiento y parámetros fotosintéticos en dos variedades de quinoa cultivadas en Amaicha del Valle (Tucumán, Argentina). *INTA*, 1-8.
- González, C., González, M., & Estavillo, J. (2004). Nitrógeno, agricultura y medio ambiente In: La Ecofisiología Vegetal: una ciencia de síntesis. M. Reigosa; N. Pedrol; A. Sanchez. Eds. *Paraninfo*, 387-412.
- Greenwood, D., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., & Neeteson, J. (1990). Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of botany*, 66(4), 425-436. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088044>
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0021859600065783>
- Jacobsen, S.-E., Mujica, A., & Jensen, C. (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food reviews international*, 19(1-2), 99-109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1081/FRI-120018872>
- Jacobsen, S., Quispe, H., & Mujica, A. (1999). Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. *Scientist and farmer-partners in research for the 21st century. CIP Program Report*, 2000, 403-408.
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J.-M., Machet, J.-M., & Thelier-Huché, L. (1994). Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Annals of botany*, 74(4), 397-407. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/anbo.1994.1133>
- 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, 220-235. <https://doi.org/https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005000901>

- Kaul, H.-P., Kruse, M., & Aufhammer, W. (2005). Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of agronomy*, 22(1), 95-100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.11.002>
- Lemaire, G., Jeuffroy, M.-H., & Gastal, F. (2008). Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. *European Journal of agronomy*, 28(4), 614-624. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.005>
- Lemaire, G., & Salette, J. (1984). Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. II.-Etude de la variabilité entre génotypes. *Agronomie*, 4(5), 431-436.
- Luzón, S. (2016). *Respuesta de la quinua variedad Tunkahuan a la fertilización nitrogenada en las condiciones edafoclimáticas de la Argelia* [Universidad Nacional de Loja]. Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/10110>
- Mekdad, A., El-Enin, M., Rady, M., Hassan, F., Ali, E., & Shaaban, A. (2021). Impact of Level of Nitrogen Fertilization and Critical Period for Weed Control in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Agronomy*, 11(5), 909. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/5/909>
- Merrien, A., & Milan, M.-J. I. (1992). *Physiologie du tournesol*. Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains.
- 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), 21-29.
- Molina, J. (2014). El nitrógeno y Fertilizantes nitrogenados. <http://www.monografias.com/trabajos82/nitrogeno-fertilizantes-nitrogenados/nitrogenados/nitrogeno-fertilizantesnitrogenados.shtml>
- Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo, J., & Marathe, J. (2001). Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y del futuro. *Santiago: FAO*.
- Murrillo, R. A. (2006). *Comportamiento del nitrógeno proveniente de fertilizantes minerales en el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd) bajo condiciones de riego y secano*.
- Nieto, E., Olivas, D., Domínguez, C. M., & Cochagne, J. (2016). Fertilización nitrogenada en el rendimiento de dos variedades de quinua. *Infinitum*, 6(1), 11-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.51431/infinitum.v6i1.3>
- 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, E., & Mazón, N. (2014). La quinua en Ecuador. In D. Brazile, D. Bertero, & C. Nieto (Eds.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (pp. 462-476). <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2433>
- Peralta, E., Mazon, N., Murillo, A., Rivera, M., Rodriguez, D., Lomas, L., & Monar, C. (2012). *Manual agrícola de granos andinos: chocho, quinua, amaranto y ataco. Cultivos, variedades y costos de producción* (Tercera ed.). Estación Experimental Santa Catalina. INIAP.
- Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Villacrés, E., & Rivera, M. (2013). Catálogo de variedades mejoradas de granos andinos: Chocho, quinua y amaranto, para la sierra de Ecuador. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2713>
- Pilarte, F. (2014). Función de los elementos esenciales en los cultivos -N i t r ó g e n o . de: http://www.a4n.com.sv/uploaded/mod_documentos/Funci_n%20de%20los%20elementos%20esenciales%20en%20los%20cultivos.pdf.

- Plénet, D., & Lemaire, G. (1999). Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil*, 216(1), 65-82. <https://doi.org/10.1023/A:1004783431055>
- Ramírez, C. V., Romero Guerrero, G., & Gómez Piedras, J. J. (2016). RESPUESTA MORFOAGRONÓMICA Y CALIDAD EN PROTEÍNA DE TRES ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) EN LA SABANA NORTE DE BOGOTÁ. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19, 325-332. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000200009&nrm=iso
- Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gomez Pando Pedro Leon-Lobos, L., Alercia, A., Diulgheroff, S., . . . Bazile, D. (2014). Estado de la conservación ex situ de los recursos genéticos de quinoa.
- Sandaña, P., & Calderini, D. F. (2018). Source–Sink Relationships in Cereals and Legumes. In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (pp. 1-10). Springer New York. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_1037-1
- Satorre, E., Benech, R., Slafer, G., De la fuente, E., Miralles, D., Otegui, M., & avin, R. (2015). *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (6ta ed.). Editorial Facultad Agronomía.
- Sosa, 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/aab.12358>
- Urbano Terrón, P. (2001). *Tratado de fitotecnia general* (Segunda ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Villavicencio, E. (2021). *Periodo crítico para el rendimiento y la calidad del grano de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) mediante la aplicación de sombra en distintos estados fenológicos, en el sector la Argelia, Loja* Universidad Nacional de Loja]. Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/24449>
- Xiong, D., Chen, J., Yu, T., Gao, W., Ling, X., Li, Y., . . . Huang, J. (2015). SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. *Scientific reports*, 5(1), 13389.
- 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. <https://doi.org/10.4141/cjss2011-100>
- Ziadi, N., Bélanger, G., Claessens, A., Lefebvre, L., Cambouris, A. N., Tremblay, N., . . . Parent, L. É. (2010). Determination of a critical nitrogen dilution curve for spring wheat. *Agronomy Journal*, 102(1), 241-250. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0266>

Anexo 1. Análisis de suelo

11. Anexos

MC-LASPA-2201-01



INiAP
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

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



LASPA

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: CIC

N° muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC		Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo					
22-0557	0,06	2,59	0,43	0,23	3,31	34,22	9,67	9,67	Wagner Oviedo, Angel Uchuarí, Elisa Cordero, Lote 1, Muestra

RESPONSABLES DEL INFORME



Firmado electrónicamente por
**JOSE ALONSO
 LUCERO
 MALATAY**

LABORATORISTA



Firmado electrónicamente por
**IVAN RODRIGO
 SAMANIEGO
 MAIGUA**

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

MC-LASPA-2201-01



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1, S/N Cutigaguá,
 Tlfs: (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio_desa@inap.gob.ec



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

INFORME DE ENSAYO No: 22-0210

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

Analista	Unidad	Ph	N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	I	MO		CO.*		Textura (%)		IDENTIFICACIÓN									
																		meq/100g	%	%	%	Arenilla	Limo		Arcilla	Clase Textural							
22-0257	3.81	Me Ac	35	M	22	A	7.8	B	0.31	B	2.41	M	0.42	M	0.9	B	3.4	A	323	A	16.3	A	5.72	7.90	55.12	2.88	0.3	B	41	41	18	Franco	Wagner Oviado, Angel Uchuan, Elisa Cordero, Lote 1, Muestra 1.

Analisis	Al-H*	Al*	Ma*	C.E.*	N. Tobit*	N-NOS*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACION

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA	
pH *	Suelo: Agua (1:10) * Otros Modificado
Ca *	Carfe Mn Zn *
Ca+Mg *	Otros Modificado
Cl *	Carfe Mn Zn *
Conductividad *	Carfe Mn Zn *
MO *	Carfe Mn Zn *
Textura *	Carfe Mn Zn *

INTERPRETACION	
pH	Elemento
Ac *	N *
Al-H *	Al *
Al *	Al *
Ca *	Ca *
Ca+Mg *	Ca+Mg *
Ca+Mg/K *	Ca+Mg/K *
Cl *	Cl *
Conductividad *	Conductividad *
MO *	MO *
Textura *	Textura (Bor)

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

METODOLOGIA USADA	
C.E. *	Prueba Saturada
M.O. *	Disminuto de Potasio
MO *	Trabazón MOH

INTERPRETACION	
AN-HUM y Na	C.E.
B *	NS *
M *	LS *
T *	T *
	M.O y Cl
	B *
	M *
	T *



Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por esta. Si el lector de este como electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

* Opciones de interpretación ,etc. que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

Anexo 2. Fenología de la quinua de acuerdo con la escala extendida de la BBCH

<i>Código BBCH</i>	
<i>2-dígitos</i>	<i>Descripción</i>
<i>Fase fenológica principal 0: germinación</i>	
00	Semilla seca
01	Iniciación imbibición de la semilla
03	Iniciación imbibición de la semilla completa
05	Emergencia de la radícula desde la semilla
07	Emergencia del hipocotilo
09	Emergencia de los cotiledones sobre el suelo
<i>Fase fenológica principal 1: desarrollo hojas</i>	
10	Cotiledones completamente expandidos
11	Primer par de hojas verdaderas visibles
12	Segundo par de hojas verdaderas visibles
1.	El Sistema de codificación continua igual hasta la subetapa 19
19	Nueve o más pares de hojas verdaderas visibles
<i>Fase fenológica principal 2: formación tallos laterales</i>	
20	Yemas laterales visibles u hojas laterales expandidas sin tallos laterales
21	Un tallo lateral visible
22	Dos tallos laterales visibles
2.	El Sistema de codificación continua igual hasta la subetapa 29
29	Nueve o más ramas laterales visibles
<i>Fase fenológica principal 3: elongación del tallo (omitida)</i>	
<i>Fase fenológica principal 4: desarrollo de órganos vegetativos de consumo (omitida)</i>	
<i>Fase fenológica principal 5: emergencia de la inflorescencia</i>	
50	Inflorescencia presente pero aún cubierta por hojas
51	Hojas que rodean la inflorescencia separadas, la inflorescencia es visible desde arriba
59	Inflorescencia visible, pero flores aún cerradas
<i>Fase fenológica principal 6: floración</i>	
60	Comienzo floración: Inicio de la aparición anteras
69	Termino floración: Comienzo de la senescencia de las anteras

<i>Fase fenológica principal 7: desarrollo fruto</i>	
70	Asentamiento del fruto: Ovario abultado y primeros granos visibles
<i>Fase fenológica principal 8: maduración</i>	
81	Grano lechoso, fácil de romper con las uñas, contenido líquido y pericarpio verde.
85	Grano pastoso, fácil de romper con las uñas, contenido pastoso y blanco, pericarpio verde, beige, rojo o negro.
89	Grano Maduro, difícil de romper con las uñas, su contenido es seco, el pericarpio es verde, beige, rojo o negro. Listo para cosechar.
<i>Principal growth stage 9: senescencia</i>	
91	Sólo hojas basales senescentes
93	Hojas de la primera mitad de la planta, partiendo desde la base, senescentes
95	Todas las hojas están muertas, el tallo cambia su color desde Amarillo a marrón
97	Planta muerta y seca
99	Producto cosechado

Anexo 3. Ficha técnica de urea



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

Anexo 4. Evidencias fotográficas



Figura 8. Preparación del terreno y delimitación de parcelas.



Figura 9. Rastrillado



Figura 10. Realización de surcos para la siembra



Figura 11. Aplicación de urea al momento de la siembra.



Figura 12. Siembra de la quinua



Figura 13. Corte de plántulas de quinua para llevar a estufa.



Figura 14. Toma de datos de clorofila



Figura 15. Toma de datos de altura



Figura 16. Toma de datos de área foliar



Figura 17. Peso de las plántulas secadas a 65 °C



Figura 18. Desarrollo del cultivo



Figura 19. Cosecha

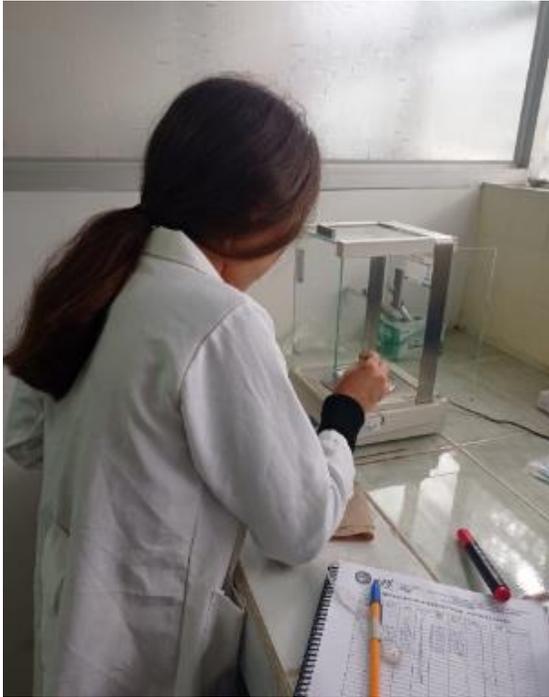


Figura 20. Fase de laboratorio. Pesaje de muestras tamizadas.



Figura 21. Fase de laboratorio. Titulación de muestras.

Anexo 5. Análisis estadístico de variables desarrollo

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.
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

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

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RAIZ Cobertura	15	0.46	0.25	9.26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.04	4	0.51	2.15	0.1488
Tratamiento	2.04	4	0.51	2.15	0.1488
Error	2.38	10	0.24		
Total	4.42	14			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1827.28	4	456.82	4.37	0.0267
Tratamiento	1827.28	4	456.82	4.37	0.0267
Error	1045.70	10	104.57		
Total	2872.97	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=27.47870

Error: 104.5697 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	46.66	3	5.90 A
T5	44.90	3	5.90 A B
T3	32.87	3	5.90 A B
T2	25.39	3	5.90 A B
T1	18.01	3	5.90 B

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

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16.82	4	4.20	10.99	0.0011
Tratamiento	16.82	4	4.20	10.99	0.0011
Error	3.83	10	0.38		
Total	20.64	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.12533

Error: 0.3826 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T5	3.62	3	0.36	A
T3	1.41	3	0.36	B
T4	1.23	3	0.36	B
T2	0.90	3	0.36	B
T1	0.67	3	0.36	B

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

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:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=10.32778

Error: 32.2271 gl: 10

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

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

Anexo 6. 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 7. Análisis estadístico del contenido de nitrógeno

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RAIZ %N	15	0.20	0.00	5.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	4	3.9E-03	0.61	0.6636
Tratamiento	0.02	4	3.9E-03	0.61	0.6636
Error	0.06	10	0.01		
Total	0.08	14			

Anexo 8. Certificado de inglés

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: "**Efecto de diferentes niveles de nitrógeno sobre el rendimiento de quinua bajo las condiciones agroclimáticas de la hoya de Loja**", perteneciente a la señorita **Caty María Correa Jiménez**, 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 SENECYT.