



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

**Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua  
(*Chenopodium quinoa*) var. Tunkahuan mediante siembra directa  
y trasplante con diferentes densidades de siembra en la Estación  
experimental La Argelia**

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

**AUTORA:**

Johana Mercedes Pucha Caraguay

**DIRECTORA:**

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 17 de febrero del 2023

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Tunkahuan mediante siembra directa y trasplante con diferentes densidades de siembra en la Estación experimental La Argelia**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrónoma** de la autoría de la estudiante **Johana Mercedes Pucha Caraguay**, con **cédula de identidad Nro. 1150410429**, una vez que el Trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
**MARLENE LORENA  
MOLINA MULLER**

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

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



**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 1150410429

**Fecha:** 27 de noviembre del 2023

**Correo electrónico:** johana.pucha@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0992856880

## **Dedicatoria**

El presente Trabajo de Integración Curricular le dedico principalmente a Dios por haberme dado la vida, y permitirme el haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, Narcisa de Jesús Caraguay Caraguay, por el ser pilar fundamental y demostrarme siempre su amor, cariño y apoyo incondicional y de esta forma permitirme llegar a cumplir una meta más.

A mi Padre Luis Hernán Pucha Pucha (+), aunque no esté físicamente conmigo, sé que desde el cielo es el angelito que siempre me cuida y me guía para que todo salga de la mejor manera.

A mis queridas hermanas Glendy, Yessenia y Mirian, por estar siempre presente en cada momento importante de mi vida. Por su apoyo para seguir adelante cumpliendo mis metas y por los ánimos durante mis años de formación profesional.

A mi querido novio Joffre Valle, por estar siempre para mí, por los ánimos semestre a semestre, por acompañarme durante todo este proceso y por nunca dudar que lo lograría

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional, y que con sus oraciones y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

***Johana Mercedes Pucha Caraguay***

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

Yo, **Johana Mercedes Pucha Caraguay**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Tunkahuan mediante siembra directa y trasplante con diferentes densidades de siembra en la Estación experimental La Argelia**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veintisiete días del mes de noviembre del dos mil veintitrés.



**Firma:**

**Autora:** Johana Mercedes Pucha Caraguay

**Cédula de identidad:** 1150410429

**Dirección:** Loja - Chantaco

**Correo electrónico:** johana.pucha@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0992856880

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Directora del Trabajo de Integración Curricular:**

Dra. Marlene Lorena Molina Müller. PhD.

## **Agradecimiento**

A la Gloriosa Universidad Nacional de Loja por abrirme las puertas de su alma mater, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y especialmente a la carrera de Agronomía, en cuyas aulas tuve la oportunidad de formarme profesionalmente, a todos sus docentes, personal administrativo y de servicio que en el transcurso de esta etapa universitaria impartieron sus conocimientos y me apoyaron para lograr mi objetivo.

A mi Directora del presente Trabajo de Integración Curricular la Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD, por brindarme su ayuda, conocimiento, motivación y asistencia técnica durante la redacción de mi proyecto de investigación.

Al personal técnico de los diferentes laboratorios de análisis químico, fisiología vegetal y suelos, gracias por su tiempo y por compartir sus conocimientos de manera profesional.

A mi querida madre y hermanas, gracias infinitas, por la confianza, amor, esfuerzo, sacrificio y el apoyo brindado; este logro es de ustedes y mío.

A mis compañeros, amigos y amigas especialmente a Samantha Maita y Stefany Sigcho, que gracias a su apoyo y conocimiento hicieron de esta experiencia universitaria una de las más especiales.

A mi novio gracias por tu amor incondicional, por tus palabras de aliento, por tus sabios consejos y sobre todo por creer en mí. Este logro también es tuyo porque me has ayudado a encontrar mi camino, a descubrir mis talentos y sobre todo a desarrollarlos.

***Johana Mercedes Pucha Caraguay***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	iii
<b>Dedicatoria</b> .....	iv
<b>Carta de autorización</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Índice de contenidos</b> .....	vii
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras .....	x
Índice de anexos .....	xii
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>4. Marco teórico</b> .....	6
4.1. Generalidades del cultivo de quinua .....	6
4.1.1. Origen y distribución geográfica .....	6
4.1.2. Cultivo de quinua a nivel mundial y nacional.....	6
4.1.3. Importancia del cultivo de quinua .....	6
4.1.4. Clasificación taxonómica .....	7
4.1.5. Características morfológicas del cultivo de la quinua .....	7
4.1.6. Fenología del cultivo de quinua.....	8
4.2. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de la quinua .....	10
4.2.1. Requerimientos edáficos .....	10
4.2.2. Requerimientos climáticos .....	10
4.3. Siembra del cultivo de quinua.....	11
4.3.1. Métodos de siembra .....	11
4.3.2. Densidad de siembra .....	11
4.4. Antecedentes .....	12
<b>5. Metodología</b> .....	13
5.1. Ubicación del proyecto .....	13
5.2. Metodología general.....	13
5.2.1. Tipo y alcance de la investigación .....	13

5.2.2. <i>Diseño experimental</i> .....	13
5.3. Modelo matemático .....	14
5.4. Establecimiento del ensayo .....	15
5.4.1. <i>Labores culturales</i> .....	15
5.5. Metodología para cada objetivo.....	15
5.5.1. <i>Metodología para el primer objetivo</i> .....	15
5.5.2. <i>Metodología para el segundo objetivo</i> .....	16
5.6. Análisis estadístico .....	17
<b>6. Resultados</b> .....	<b>18</b>
6.1. Fenología .....	18
6.2. Altura de la planta.....	19
6.3. Diámetro del tallo .....	21
6.4. Contenido de clorofila.....	24
6.5. Índice de área foliar .....	24
6.6. Biomasa.....	25
6.7. Peso de la panoja.....	25
6.8. Peso de 1000 granos .....	26
6.9. Número de granos por planta .....	27
6.10. Número de granos por metro cuadrado.....	27
6.11. Rendimiento .....	28
6.12. Biomasa gramos m <sup>-2</sup> .....	29
6.13. Índice de cosecha .....	29
<b>7. Discusión</b> .....	<b>31</b>
<b>8. Conclusiones</b> .....	<b>36</b>
<b>9. Recomendaciones</b> .....	<b>37</b>
<b>10. Referencias bibliográficas</b> .....	<b>38</b>
<b>11. Anexos</b> .....	<b>45</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica de la quinua.....	7
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos para la implementación del ensayo con un DCA con arreglo bifactorial.....	14
<b>Tabla 3.</b> Medias de la altura (cm) de las plantas de quinua en cada momento de evaluación (desde el día 30 a los 120 días dds), en función de la aplicación de los diferentes tratamientos (método de siembra y densidad de siembra).....	20
<b>Tabla 4.</b> Medias del diámetro del tallo de las plantas de quinua en cada momento de evaluación (desde el día 30 a los 120 días dds), en función de la aplicación de los diferentes tratamientos (métodos de siembra y densidades de siembra).....	22
<b>Tabla 5.</b> Contenido de clorofila (unidades SPAD) de las plantas de quinua en el desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano en función de la aplicación del factor densidad de siembra. D1 (80 000 plantas ha <sup>-1</sup> ), D2 (100 000 plantas ha <sup>-1</sup> ), D3 (150 000 plantas ha <sup>-1</sup> ), D4 (200 000 plantas ha <sup>-1</sup> )......	24
<b>Tabla 6.</b> Índice de área foliar de las plantas de quinua en cada momento de evaluación (desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano) en función de la aplicación del factor densidad de siembra. D1 (80 000 plantas ha <sup>-1</sup> ), D2 (100 000 plantas ha <sup>-1</sup> ), D3 (150 000 plantas ha <sup>-1</sup> ), D4 (200 000 plantas ha <sup>-1</sup> )......	25
<b>Tabla 7.</b> Biomasa de las plantas de quinua en cada momento de evaluación (desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano) en función de la aplicación del factor densidad de siembra. D1 (80 000 plantas ha <sup>-1</sup> ), D2 (100 000 plantas ha <sup>-1</sup> ), D3 (150 000 plantas ha <sup>-1</sup> ), D4 (200 000 plantas ha <sup>-1</sup> ). .....	25

## Índice de figuras

- Figura 1.** Ubicación del establecimiento del ensayo “Estación Experimental docente la Argelia” ..... 13
- Figura 2.** Esquema de disposición del ensayo en campo con un diseño completamente al azar y arreglo bifactorial (métodos y densidades de siembra)..... 14
- Figura 3.** Fenología del cultivo de quinua en los diferentes métodos de siembra (chorro continuo y trasplante). Números y triángulos morados muestran la escala BBCH. Los números dentro del rectángulo indican los días después de la siembra. Morado: Emergencia de cotiledones; Naranja: Desarrollo de hojas; Plomo: Emergencia de inflorescencia; Amarillo: Antesis; Azul: Desarrollo del fruto; Verde: Grano lechoso; Rojo: Grano acuoso; Café: Grano seco; Celeste: Senescencia..... 18
- Figura 4.** Medias de la altura de las plantas de quinua obtenidas en la evaluación del día 120: Métodos de siembra: chorro continuo y trasplante. (A) y densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas/ha. (B). Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias..... 21
- Figura 5.** Medias del diámetro de las plantas de quinua obtenidas en la evaluación del día 120: Métodos de siembra: chorro continuo y trasplante. (A) y densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$ . (B). Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. .... 23
- Figura 6.** Peso de la panoja (g) de las plantas de quinua, en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$ . Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. .... 26
- Figura 7.** Peso de mil granos (g) de las plantas de quinua, en función de la aplicación de los diferentes tratamientos de siembra. Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias..... 26
- Figura 8.** Número de granos por planta, en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$ . Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. .... 27

- Figura 9.** Número de granos por metro cuadrado, en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$ . Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. .... 28
- Figura 10.** Rendimiento  $t ha^{-1}$ , en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$ . Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $< 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. .... 28
- Figura 11.** Biomasa  $g/m^2$  en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$ . Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. .... 29
- Figura 12.** Índice de cosecha de las plantas de quinua, en función de la aplicación de los diferentes tratamientos de siembra. Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. .... 30

## **Índice de anexos**

<i>Anexo 1. A) Paso del arado. B) Delimitación de las unidades experimentales. ....</i>	45
<i>Anexo 2. A) Siembra método chorro continuo. B) Siembra método trasplante. ....</i>	45
<i>Anexo 3. A) Control de plantas arvenses. B) Control de plagas y enfermedades. ....</i>	45
<i>Anexo 4. A) Toma de datos de altura. B) Toma de datos del diámetro. C) Determinación del Contenido de clorofila. ....</i>	46
<i>Anexo 5. A) Recolección de las muestras de quinua. B) Determinación del área foliar. C) Pesaje de muestras. ....</i>	46
<i>Anexo 6. Análisis de suelo realizado en el año 2021 .....</i>	47
<i>Anexo 7. Certificado de traducción del resumen.....</i>	49

## **1. Título**

**Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Tunkahuan mediante siembra directa y trasplante con diferentes densidades de siembra en la Estación experimental La Argelia**

## 2. Resumen

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un cultivo andino de gran importancia a nivel mundial, debido a su alto valor nutricional y versatilidad agronómica frente a las consecuencias del cambio climático, por lo que se convierte en una opción para contribuir a la seguridad alimentaria. Ecuador es el tercer país productor de quinua, con un rendimiento anual de 0,85 a 1,5 t ha<sup>-1</sup>. Las densidades de siembra, conjuntamente con un adecuado manejo agronómico, incrementan la producción. El objetivo de la presente investigación consistió en evaluar el crecimiento y rendimiento de quinua var. Tunkahuan mediante siembra directa y trasplante con diferentes densidades de siembra en la estación experimental “La Argelia”. El ensayo se realizó bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo bifactorial con ocho tratamientos y tres repeticiones. Los métodos de siembra evaluados fueron chorro continuo y trasplante y las densidades de siembra fueron 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Durante el ciclo del cultivo se evaluaron las variables: fenología, altura, diámetro, contenido de clorofila, índice de área foliar (IAF), biomasa, mientras que, el peso de la panoja, peso de 1 000 granos, número de granos por planta, número de granos por metro cuadrado, rendimiento, biomasa e índice de cosecha se registraron cuando el cultivo llegó a madurez fisiológica. Los resultados indican que la fenología con el método de chorro continuo llega a madurez fisiológica seis días antes en comparación con las plantas trasplantadas. Los métodos y densidades de siembra influyeron sobre la altura y el diámetro, mientras que, el factor densidad con 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> obtuvo el mayor promedio en el IAF, biomasa, número de granos por metro cuadrado y rendimiento, en cuanto a esta última variable superó al rendimiento nacional con un promedio de 6,05 t ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** arreglo espacial, método de siembra, fenología, producción, madurez fisiológica.

## Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is an Andean crop of great importance worldwide, due to its high nutritional value and agronomic versatility in the face of the consequences of climate change, making it an option for contributing to food security. Ecuador is the third largest producer of quinoa, with an annual yield of 0.85 to 1.5 t ha<sup>-1</sup>. Planting densities, together with adequate agronomic management, increase production. The objective of this research was to evaluate the growth and yield of quinoa var. Tunkahuan by direct seeding and transplanting at different planting densities at the La Argelia Experimental Station. The trial was conducted under a Completely Randomized Design (CRD) with a bifactorial arrangement with eight treatments and three replications. The seeding methods evaluated were continuous jet and transplanting and the planting densities were 80 000, 100 000, 150 000 and 200 000 plants ha<sup>-1</sup>. During the crop cycle, the following variables were evaluated: phenology, height, diameter, chlorophyll content, leaf area index (LAI), biomass, while panicle weight, 1000 kernel weight, number of kernels per plant, number of kernels per square meter, yield, biomass and harvest index were recorded when the crop reached physiological maturity. The results indicate that phenology with the continuous jet method reaches physiological maturity six days earlier compared to transplanted plants. Planting methods and densities influenced height and diameter, while the density factor with 200 000 plants ha<sup>-1</sup> obtained the highest average IAF, biomass, number of grains per square meter and yield, the latter variable surpassing the national yield with an average of 6.05 t ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** spatial arrangement, planting method, phenology, yield, physiological maturity.

### 3. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un pseudocereal andino, con excelentes propiedades nutricionales gracias a la calidad y cantidad de proteínas que fluctúan entre 10,21 a 18,39 % y metabolitos secundarios como las saponinas y ácido oxálico con uso potencial en la industria (Rojas et al., 2016; Morillo et al., 2021). Debido a su valor nutricional y a la versatilidad agronómica que presenta este cultivo a las consecuencias del cambio climático, le convierte en una opción para contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria nacional y mundial, en especial donde existen limitaciones para la producción de alimentos (Gómez y Aguilar, 2016).

A nivel mundial, Perú se encuentra como el primer productor de quinua con 100 115 t seguido de Bolivia con 70 170 t (MEF, 2020) y Ecuador ocupa el tercer lugar con 1 482 t (MAG, 2020). A nivel nacional durante el 2020, Carchi es la principal provincia que refleja una participación en la producción de quinua con un 37,2 %, seguido de Chimborazo con 34,81 %, Pichincha con 15,85 %, Cotopaxi 11,3 %, Imbabura 0,76 % y Azuay con 0,08 %, mientras tanto para la provincia de Loja no se reportan datos estadísticos sobre este cultivo (MAG, 2020).

En el Ecuador los rendimientos del grano de quinua son variables en óptimas condiciones se obtiene un potencial de 11 t ha<sup>-1</sup>, sin embargo, se consiguen rendimientos de 0,85 a 1,5 t ha<sup>-1</sup> (MAG, 2013). Los bajos rendimientos se deben porque un 38 % se pierde por plagas y enfermedades y un 62 % por sequías y heladas (MAG, 2020). Además, existen varios factores que limitan el crecimiento y rendimiento de la quinua, entre ellos se encuentran los métodos y densidades de siembra, debido a que los productores realizan un uso inadecuado de la cantidad de semilla, lo cual influye directamente en la tasa de rendimiento, ya que depende de la intercepción de la luz y el índice de área foliar, puesto que al aglomerarse las plantas dentro de una superficie se establecen interacciones demasiado fuertes como: competencia por luz, demanda evaporativa limitada, además genera un medio propicio para el ataque de plagas y enfermedades (Loomis y Connor, 2002; Núñez et al., 2018). En cambio, una densidad menor conlleva a tener bajos rendimientos y mayores pérdidas económicas (Spehar y Rocha, 2009). Generalmente, la siembra de quinua se realiza a chorro continuo es decir se va esparciendo la semilla guiándose por un surco; sin embargo, los productores no realizan ninguna labor para tener una población óptima de plantas, lo que da lugar a plantas pequeñas con tallos delgados y panojas poco desarrolladas (Núñez et al., 2018).

Los métodos de siembra en diferentes cultivos tienen como objetivo brindarle a la semilla y luego a la planta las mejores condiciones de humedad, aireación, disponibilidad de nutrimentos, entre otros, factores importantes que influyen en el crecimiento y rendimiento de todo cultivo (Aracena, 2015). Actualmente, existen pocos estudios sobre el método y la densidad de siembra óptima del cultivo de quinua que permitan obtener rendimientos potenciales y así reducir gastos e insumos agrícolas orientados a incrementar la productividad de este cultivo.

Por tanto, el presente Trabajo de Integración Curricular se encuentra inmerso dentro del macroproyecto de investigación institucional “Bases fisiológicas del uso de la radiación solar y el nitrógeno en genotipos de quinua ecuatoriana”, el cual forma parte de la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja “Sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria”. Con el propósito de orientar el desarrollo de la investigación se plantearon los siguientes objetivos:

### **Objetivo General**

- Evaluar el crecimiento y rendimiento de la quinua var. Tunkahuan mediante siembra directa y trasplante con diferentes densidades de siembra en la Estación experimental “La Argelia”

### **Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de los métodos y densidades de siembra sobre el crecimiento vegetativo de la quinua.
- Evaluar la respuesta del rendimiento y sus componentes a los métodos y densidades de siembra en quinua.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. Generalidades del cultivo de quinua**

#### ***4.1.1. Origen y distribución geográfica***

La quinua es un pseudocereal originaria de los Andes cerca del lago Titicaca, entre Perú y Bolivia, fue domesticada entre los años 3 000 y 5 000 antes de Cristo a partir de sus parientes silvestres del género *Chenopodium*. Era cultivada y utilizada por civilizaciones prehispánicas, pero fue sustituida por los cereales a la llegada de los españoles, a pesar de ser un alimento básico para la población (Mujica et al., 2001).

Según González y Prado (2013), la quinua es una especie que posee alta distribución altitudinal y latitudinal, lo que indica que tiene alta plasticidad genética a los diferentes ambientes donde se cultiva. Su versatilidad agronómica y la calidad de su proteína permite revalorizarla como un nuevo cultivo alternativo y, sobre todo, extenderse a países como Estados Unidos, Canadá, Europa, Marruecos, India e Italia (Konishi et al., 2004).

#### ***4.1.2. Cultivo de quinua a nivel mundial y nacional***

La quinua es un cultivo andino perteneciente a la familia Amaranthaceae, es cultivada desde tiempos ancestrales en los Andes de Bolivia y Perú, en estos países se ha desarrollado la mayor diversidad de este cultivo y cubren el 80 % de la demanda internacional (Chavez, 2018). Según Quintanilla (2017) en los últimos años el incremento de la producción se debe al mayor uso de factores de producción como: tierra, trabajo, maquinaria y tecnología. En Perú, los incrementos son por el cambio tecnológico, en Bolivia es el resultado de aumentar las unidades de producción agropecuaria (Quintanilla, 2017) y en Ecuador los rendimientos aumentaron al ampliar las áreas de producción y tecnología, lo que mejoró los rendimientos y el nivel de vida de los productores (Becerra, 2021). En 2020, Perú se encontraba como el primer productor de quinua con 100 115 t, seguido de Bolivia con 70 170 toneladas (MEF, 2020) y Ecuador ocupó el tercer lugar con 1 482 toneladas (MAG, 2020).

#### ***4.1.3. Importancia del cultivo de quinua***

Posee características intrínsecas sobresalientes como la calidad nutritiva porque es una fuente rica en proteínas y aminoácidos esenciales. Además, es un vegetal libre de gluten por ello constituye un alimento funcional e ideal para el organismo. Otra de las características es su capacidad de adaptabilidad a diferentes pisos agroecológicos. Las dos características mencionadas anteriormente le atribuyen a la quinua como una alternativa para contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria mundial (Gómez y Aguilar, 2016).

#### 4.1.4. Clasificación taxonómica

El Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS, 2022) clasifica a la quinua como indica la tabla 1.

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

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

Fuente: (ITIS, 2022)

#### 4.1.5. Características morfológicas del cultivo de la quinua

Es una planta anual, dicotiledónea, generalmente herbácea, alcanza una altura de 0,2 a 3,0 m, dependiendo del genotipo y condiciones ambientales.

**Raíz:** Posee una raíz pivotante, consta de una raíz principal de la cual salen un gran número de raíces laterales muy ramificadas; su longitud es muy variable de 0,8 a 1,5 m, cuya profundidad tiene relación con la altura de la planta (Gómez y Aguilar, 2016).

**Tallo:** Es cilíndrico en la unión con el cuello de la raíz y a medida que se aleja del suelo se vuelve angular en donde nacen las hojas y ramas; la corteza es firme y compacta, constituida por tejidos fuertes y lignificados; el color básico del tallo en época de floración es verde, amarillo verdoso, naranja, rosa, rojo y morado (Morillo et al., 2021).

Según Gómez y Aguilar (2016), el hábito de ramificación del tallo puede ser: sencillo, con un solo tallo y una inflorescencia terminal definida; ramificado con las variantes: a) las ramas laterales aproximadamente tienen la misma longitud que el tallo principal y todas terminan en panojas, y b) el tallo principal tiene mayor longitud que los tallos secundarios, lo que le da a la planta una forma cónica con la base bastante amplia.

**Hojas:** Posee hojas dentadas, que son polimórficas, las hojas inferiores son grandes y pueden ser triangulares o romboidales, mientras que las hojas superiores generalmente son lanceoladas (Matus et al., 2015). La lámina de la hoja tiene tres venas principales que se forman del peciolo, las láminas son grandes en el follaje y pequeñas en la inflorescencia; las hojas y las partes jóvenes de la planta están cubiertas con pubescencias granulares blancas, rosadas o

púrpuras, esta pubescencia granular contiene oxalato de calcio capaz de absorber agua del medio ambiente e incrementar la humedad relativa de la atmósfera que rodea las hojas y constituye un mecanismo que disminuye la transpiración (Gómez y Aguilar, 2016).

**Inflorescencia:** Según Gómez y Aguilar (2016), la inflorescencia es una panoja con una longitud entre 0,15 a 0,70 cm; se encuentra en el ápice de la planta y de las ramificaciones, tiene un eje principal, ejes secundarios y ejes terciarios. Considerando la forma y posición de los glomérulos se clasifican en amarantiformes, glomerulatas e intermedias. Las panojas pueden presentar diversos colores verdes, amarillos, anaranjados, rosados, rojos y púrpuras (Cogliatti y Heter, 2016).

**Flores:** Las flores son muy pequeñas, densas e incompletas, dado que carecen de pétalos; se ubican en grupos formando glomérulos; son sésiles, de la misma coloración que los sépalos y pueden ser hermafroditas, pistiladas o androestériles; los estambres son cinco, poseen filamentos cortos que sostienen a las anteras y se encuentran rodeando el ovario cuyo estilo se caracteriza por tener 2 o 3 estigmas plumosos (Bojanic, 2011).

**Fruto:** Es un aquenio de forma lenticular, ovalado, cónico o esférico, recubierto por el perigonio sepaloide o las envolturas florales que rodean el fruto y es fácilmente separable en la madurez, con un diámetro de 1,5 a 3 mm; consta del pericarpio y la semilla (el pericarpio está unido a la cubierta vegetal de la semilla, tiene alveolos en su superficie y compuestos orgánicos como la saponina que le da el sabor amargo al grano) (Gómez y Aguilar, 2016).

**Semilla:** Tiene forma redonda, un poco aplanada, el embrión está formado por dos cotiledones y la radícula, representa aproximadamente el 30 % del volumen total de la semilla (Gómez y Aguilar, 2016).

#### **4.1.6. Fenología del cultivo de quinua**

Sosa et al. (2017) describe los estados fenológicos mediante la escala estandarizada de fenología basada en el sistema de codificación BBCH

**Etapas de crecimiento principal 0 (germinación):** Describe la germinación de la semilla hasta que los cotiledones emergen de la superficie del suelo. Incluye etapas secundarias como el inicio de la imbibición de semillas (etapa 01), la imbibición de la semilla completa (etapa 03) y la emergencia de la radícula de la semilla (etapa 05). A continuación, la planta pasa a la subetapa de emergencia del coleóptilo (08), para llegar finalmente a la última subetapa: emergencia de los cotiledones (09).

**Fase fenológica principal 1 (desarrollo de hojas):** El comienzo de esta etapa está dado por la subetapa de expansión de los dos cotiledones (10), seguido por la subetapa de aparición del primer par de hojas (11), las cuales se consideraron como hojas una vez expandidas o en proceso de expansión.

**Fase fenológica principal 2 (formación de ramas laterales):** En la quinua, la aparición de brotes laterales puede comenzar antes o después de la aparición de la inflorescencia, según el genotipo. Un brote lateral se considera visible cuando indica 1 cm o más de longitud. El primer brote lateral se codifica como etapa 21, seguido por el segundo brote lateral codificado como etapa 22 y en adelante.

**Fase fenológica principal 3 (elongación del tallo principal) (omitida):** Debido a que la elongación continúa hasta incluso después de antesis, considerándose por ello un parámetro que no indica alguna información relevante.

**Fase fenológica principal 4 (desarrollo de órganos de consumo) (omitida):** Debido a que la escala es diseñada para un cultivo en el cual el producto cosechado son los frutos.

**Fase fenológica principal 5 (emergencia de la inflorescencia):** Comienza con la subetapa de inflorescencias rodeadas en hojas (subetapa 50). El final de esta fase está dado por la subetapa de inflorescencia con flores cerradas, pero con las hojas que la rodean expandidas (subetapa 59), permitiendo su visualización con facilidad.

**Fase fenológica principal 6 (floración):** Empieza con la subetapa de comienzo de floración, en la cual ocurre la presencia de las primeras anteras (60) en las flores de la inflorescencia del tallo principal y termina con la subetapa de floración, en la cual se comienzan a observar anteras senescentes en las flores de la inflorescencia principal (69).

**Fase fenológica principal 7 (desarrollo del fruto):** Esta fase empieza con el asentamiento de los granos, caracterizado por un abultamiento del ovario y la aparición de los primeros granos visibles (etapa 70).

**Fase fenológica principal 8 (madurez del fruto):** La madurez del fruto fue medida con el criterio de la dificultad de romper el grano con la presión de una uña y la densidad del contenido de este. Por eso se clasifica como grano lechoso (81), grano pastoso (85) y grano maduro (89).

**Fase Fenológica principal 9 (senescencia):** Empieza con la subetapa de senescencia de las hojas basales (91), continúa con la subetapa de senescencia en las hojas de la primera mitad del tallo (93) y culmina con la subetapa del producto cosechado (99) Las subetapas de esta fase ocurren en forma simultánea con la fase 8.

## **4.2. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de la quinua**

### **4.2.1. Requerimientos edáficos**

**Suelo:** Prefiere suelos francos, con alto contenido de materia orgánica y buen drenaje, pendientes moderadas y un contenido nutricional medio, ya que la planta requiere nitrógeno, calcio, fósforo y potasio; puede adaptarse a suelos franco-arenosos, arenosos o francos arcillosos, siempre que se encuentren provistos de nutrientes y no tengan la posibilidad de encharcamiento, porque es muy sensible al exceso de humedad sobre todo en las primeras etapas fenológicas (Mujica et al., 2001).

**pH:** La quinua se adapta a diferentes condiciones de pH, esto depende de la variedad y genotipo de quinua que se cultive, el rango de pH va desde suelos alcalinos hasta ácidos; sin embargo, investigaciones indican que los valores óptimos para el crecimiento y rendimiento es de 6,5 a 8 (Calla, 2012).

### **4.2.2. Requerimientos climáticos**

**Temperatura:** La quinua, debido a su gran variabilidad y plasticidad genética, se adapta a climas que van desde calurosos y secos como el clima de la costa desértica, a aquellos templados lluviosos o secos de los valles interandinos y aquellos fríos y lluviosos; la temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo depende de las variedades y está en el rango de 15 a 25 °C, puede tolerar heladas y altas temperaturas durante las fases de desarrollo vegetativo y formación de la inflorescencia, mientras tanto la floración y formación del grano lechoso es más susceptible (Gómez y Aguilar, 2016).

**Precipitación:** La quinua se puede cultivar dentro de un rango de precipitación de 300 mm a 1 000 mm, aunque se considera que el rango de precipitación óptima es de 500 a 1 000 mm durante el ciclo de cultivo (Gómez y Aguilar, 2016).

**Humedad Relativa (HR):** La quinua en las primeras etapas de desarrollo fenológico es muy sensible al exceso de humedad. Crece sin inconvenientes desde el 40 hasta el 65 % en los páramos, y hasta 100 % en la costa. Es necesaria una adecuada humedad relativa en los meses de mayor desarrollo de la planta, pues una elevada HR facilita que las enfermedades fungosas se desarrollen (Mujica et al., 2001).

**Radiación:** Soporta radiaciones extremas en las zonas altas de los Andes; a pesar de ello, estas altas radiaciones permiten compensar las horas de calor necesarias para cumplir con su período vegetativo y productivo (Mujica et al., 2001).

**Fotoperiodo:** Presenta genotipos de días cortos y largos e incluso indiferentes al fotoperiodo, adaptándose fácilmente a las condiciones de luminosidad, este cultivo prospera

adecuadamente con tan solo 12 horas diarias en el hemisferio sur, sobre todo en los Andes de Sudamérica y en el hemisferio norte hasta 14 horas de luz (Mujica et al., 2001).

**Altitud:** Debido a su diversidad genética la quinua se puede cultivar en distintos pisos altitudinales que van desde el nivel de mar hasta cerca de los 4 000 m s.n.m. (Mujica et al., 2001).

### **4.3. Siembra del cultivo de quinua**

#### **4.3.1. Métodos de siembra**

Según Aracena (2015), los diferentes sistemas de siembra tienen como objetivo proporcionar a la semilla primero y luego a la planta las mejores condiciones de humedad, aireación, disponibilidad de nutrimentos, etc., factores importantes que afectan en el crecimiento y productividad de todo cultivo. La siembra es una de las actividades más relevantes porque de esta labor depende la emergencia de plántulas que tendrá incidencia en la densidad de plantas por área cultivada y sobre el rendimiento. La siembra en el cultivo de la quinua se realiza en diferentes épocas, dependiendo del lugar a sembrarse, características de la variedad y humedad del suelo (Bojanic, 2011).

**Siembra directa:** La siembra en surcos facilita la realización de una serie de labores culturales como deshierbe y aporques eficientes, puesto que la semilla se dispersa a chorro continuo o a golpe (Peralta et al., 2013). Para realizar los surcos es importante considerar la pendiente para una correcta distribución de agua sin provocar erosión del suelo. La distancia entre surcos puede variar de 40 a 80 cm y con una profundidad de 15 – 20 cm (Gómez y Aguilar, 2016).

**Trasplante:** Se debe sembrar en áreas donde existe agua de riego disponible. El almácigo se debe preparar en un sitio apropiado con las condiciones adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plántulas. Una vez que las plántulas alcancen a formar 4 a 6 hojas verdaderas, se debe iniciar el trasplante en campo separadas a 0,05 m entre ellas; el suelo debe estar húmedo hasta que las plántulas se establezcan (Gómez y Aguilar, 2016). Este método tiene varias ventajas como menor problema con malezas y la eliminación de la labor de desahíje o entresaque (Gómez y Aguilar, 2016).

#### **4.3.2. Densidad de siembra**

Según Calla (2012), la densidad de siembra depende de factores como el tamaño de la semilla y sistemas de siembra. La densidad será mayor con el método de siembra a golpe o chorro continuo, y variedades de tamaño grande; la densidad será baja con semillas pequeñas en surcos. Se debe tener en cuenta el manejo adecuado de densidades porque a altas densidades

habrá mayor cantidad de plantas por área, ocurriendo mayor competencia entre ellas por nutrientes, causando plantas débiles y susceptibles al ataque de plagas y enfermedades como el mildiu, y densidades muy bajas facilitan el establecimiento rápido de plantas arvenses. Para obtener una densidad apropiada se recomienda usar entre 10-12 kg ha<sup>-1</sup>.

#### **4.4. Antecedentes**

Jiménez et al. (2018) realizaron un estudio sobre el rendimiento de tres sistemas de siembra a chorro continuo, por golpe y mediante trasplante con dos variedades de amaranto (*Amaranthus quitensis* L. y *Amaranthus hypochondriacus* L.) en la sierra ecuatoriana. Sus resultados fueron que el tratamiento con el sistema de siembra a chorro continuo y *Amaranthus quitensis* L. fue el mejor tratamiento, debido a que presentó diferencias significativas en las variables altura de la planta, diámetro basal del tallo, número de panojas por planta y rendimiento del grano. Sin embargo, en la variable días a la cosecha no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, pues entre los días mínimos y máximos obtuvieron una diferencia de 7 días.

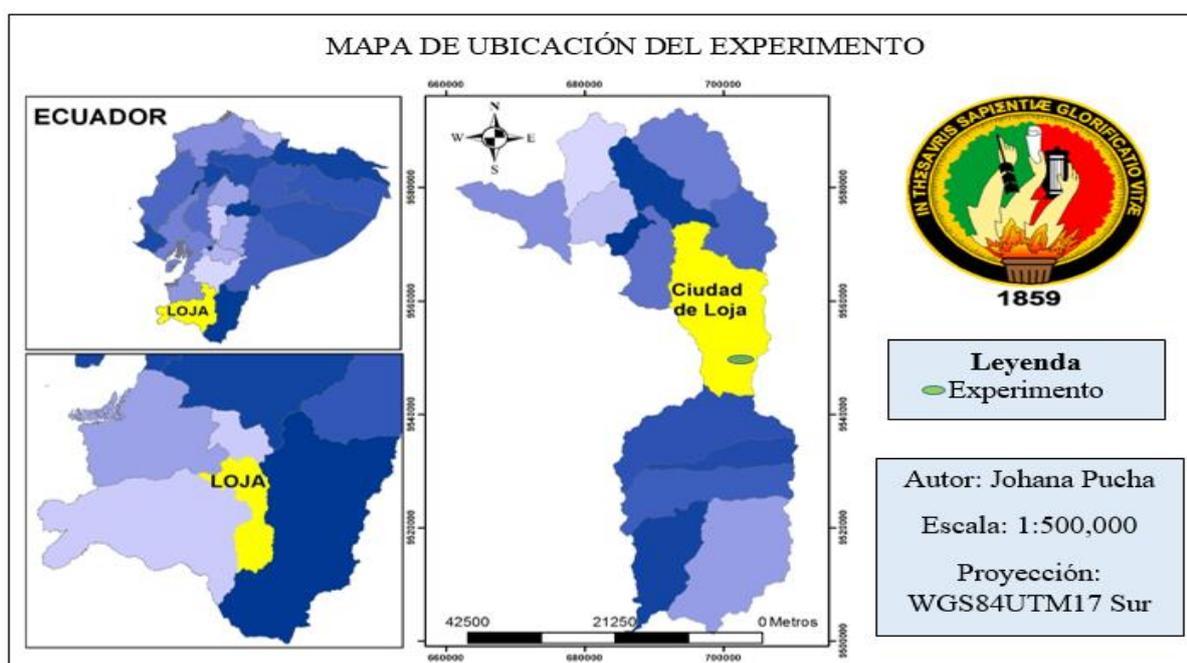
Erazzú et al. (2016) hicieron un estudio sobre el efecto de la densidad de siembra sobre *Chenopodium quinoa* Willd y su incidencia sobre variables morfológicas y rendimiento de grano en la variedad CICA cultivada en Amaicha del Valle en Argentina. Los tratamientos evaluados fueron siembra por golpe y chorro continuo, logrando densidades de plantas de 4,2 y 27,9 plantas por metro lineal respectivamente, donde el tratamiento siembra por golpe tuvo diferencias significativas en las variables altura de la planta, diámetro del tallo, área foliar específica, análisis de área foliar (N-P-K) y rendimiento del grano, obteniendo 44,8 y 5,4 gramos por planta para siembra a golpe y chorro continuo respectivamente.

En Perú realizaron una investigación sobre la influencia del distanciamiento y número de plantas por golpe en el rendimiento de grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), donde estudiaron los efectos de cuatro distanciamientos (0,20 - 0,30 - 0,40 y 0,50 m) entre golpes de siembra y número de plantas (1, 2, 3, y 4) (Núñez et al., 2018). En los resultados encontraron que el factor distanciamiento entre golpe de siembra no tuvo efectos significativos sobre el número de panojas secundarias, peso de panojas secundarias, peso de grano de panojas secundarias, peso de panoja principal y peso de grano de panoja principal; sin embargo, el factor número de plantas por golpe sí afectó las diferentes variables evaluadas. Los mayores rendimientos se obtuvieron en el tratamiento por golpe con tres plantas con un rendimiento de 3 706,80 Kg ha<sup>-1</sup>.

## 5. Metodología

### 5.1. Ubicación del proyecto

El presente trabajo se desarrolló en la Estación Experimental docente “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja (Figura 1). El área de estudio geográficamente se encuentra ubicado a 2 135 m.s.n.m. con una latitud  $4^{\circ}02'17,42''$  y longitud  $79^{\circ}11'59.74''$ , presenta una precipitación media anual de 1 453 mm y una temperatura promedio de  $15^{\circ}\text{C}$ , según González (2019), el suelo es de naturaleza franco limoso, con pH de 5 a 6, densidad aparente de  $1,6\text{ g/cm}^3$  y alto porcentaje de saturación y humedad.



*Figura 1. Ubicación del establecimiento del ensayo “Estación Experimental docente la Argelia”*

### 5.2. Metodología general

#### 5.2.1. Tipo y alcance de la investigación

La investigación es experimental, porque se aplicó un diseño experimental con tratamientos y repeticiones, también es cuantitativa, ya que las medidas tomadas en cada variable proporcionaron datos numéricos que fueron analizados mediante un análisis estadístico. El alcance de la investigación es descriptiva y explicativa – causal.

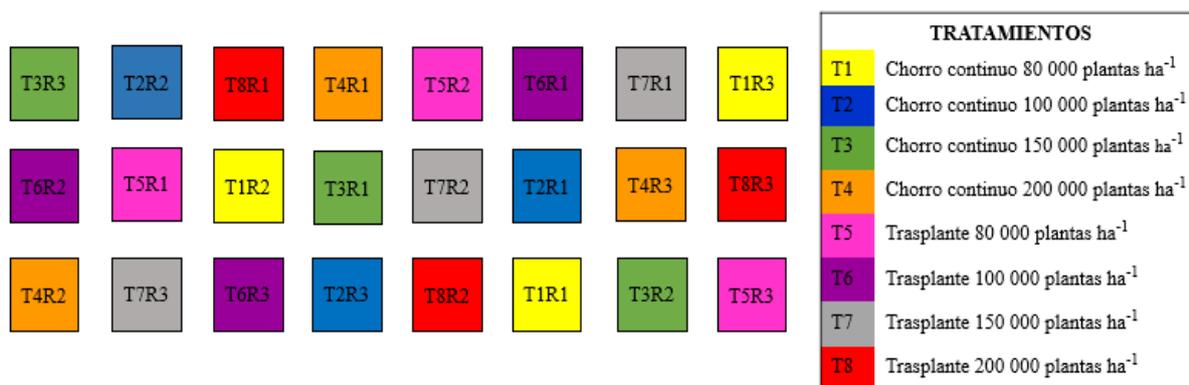
#### 5.2.2. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en la investigación es un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo bifactorial, ya que se evaluaron los efectos de dos métodos y cuatro densidades de siembra, la combinación de estos dos factores da como resultado ocho tratamientos (tabla 2), que se replicaron tres veces dando un total de 24 unidades experimentales

(UE) que miden dos m de largo por dos m de ancho, cada UE está separada con 1 m de distancia, por lo que el área total es de 250 m<sup>2</sup> (figura 2). Cada UE consta de cinco hileras con una distancia de 0,5 m entre hileras, la siembra se realizó mediante siembra directa y trasplante a diferentes densidades: 80 000 plantas/ha (0,25 m entre planta), 100 000 plantas/ha (0,2 m entre planta), 150 000 plantas/ha (0,15 m entre planta) y 200 000 plantas/ha (0,1 m entre planta). Para el establecimiento del ensayo se utilizó la variedad de quinua Tunkahuan del INIAP.

**Tabla 2.** Tratamientos para la implementación del ensayo con un DCA con arreglo bifactorial.

Factores	Tratamientos	Descripción
<b>Factor A: Métodos de siembra</b>	T1: A1D1	Chorro continuo - 80 000 plantas ha <sup>-1</sup>
A1: Chorro continuo	T2: A1D2	Chorro continuo - 100 000 plantas ha <sup>-1</sup>
A2: Trasplante	T3: A1D3	Chorro continuo - 150 000 plantas ha <sup>-1</sup>
<b>Factor D: Densidad de siembra</b>	T4: A1D4	Chorro continuo - 200 000 plantas ha <sup>-1</sup>
D1: 80 000 plantas/ha	T5: A2D1	Trasplante - 80 000 plantas ha <sup>-1</sup>
D2: 100 000 plantas/ha	T6: A2D2	Trasplante - 100 000 plantas ha <sup>-1</sup>
D3: 150 000 plantas/ha	T7: A2D3	Trasplante - 150 000 plantas ha <sup>-1</sup>
D4: 200 000 plantas/ha	T8: A2D4	Trasplante - 200 000 plantas ha <sup>-1</sup>



**Figura 2.** Esquema de disposición del ensayo en campo con un diseño completamente al azar y arreglo bifactorial (métodos y densidades de siembra).

### 5.3. Modelo matemático

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + B_j + (\alpha * B)_{ij} + b_{ij} + E_{ij}$$

- $Y_{ijk}$  = respuesta de las  $k$  repeticiones en los  $i$  niveles del factor método de siembra y  $j$  niveles de densidad de siembra
- $\mu$  = media general de las observaciones
- $\alpha_i$  = efecto de los  $i$ -ésimo niveles del factor método de siembra
- $\beta_j$  = efecto de los  $j$ -ésimo niveles del factor densidad de siembra.
- $(\alpha * \beta)_{ij}$  = efecto de la interacción entre el nivel  $i$  del método de siembra con el nivel  $j$  de la densidad de siembra

- $\epsilon_{ijk}$  = error asociado a la  $ijk$  observación, que se supone normal independientemente distribuida con esperanza 0 y varianza  $\sigma^2$ .

#### **5.4. Establecimiento del ensayo**

Para la preparación del suelo se utilizó el paso del arado y la rastra (Anexo 1. A), a continuación, con ayuda de un flexómetro, piolas y estacas se delimitaron las UE (Anexo 1. B). Para los tratamientos (siembra directa) la semilla fue esparcida a chorro continuo en cada surco (Anexo 2. A) y el raleo se realizó cuando las plantas alcanzaron una altura de 0,10 m; para los tratamientos del método de siembra mediante trasplante, primero se implementó el almácigo en campo y las semillas fueron esparcidas al voleo, y cuando las plántulas del almácigo presentaron 6 hojas verdaderas se realizó el trasplante (Anexo 2. B).

##### **5.4.1. Labores culturales**

Durante el ciclo del cultivo se realizaron 3 deshierbes y 1 aporque de forma manual (Anexo 3. A). Además, se hicieron 3 controles para combatir el ataque de la plaga *Diabrotica* sp enfermedad mildiu *Peronospora* sp, para ello se aplicó un insecticida y un fungicida, con los ingredientes activos Lambdacihalotrina + Tiametoxam y Dicofenazol respectivamente, con una dosis de 25 cm<sup>3</sup> de insecticida y 10 cm<sup>3</sup> de fungicida en una bomba a mochila de 20 litros (Anexo 3. B).

La fertilización se realizó con base en un análisis de suelo realizado en el año 2021 y de acuerdo a los requerimientos nutricionales del cultivo basado en un estudio realizado por MINAGRI (2018) (Anexo 7.). Para cumplir con los requerimientos nutricionales del cultivo se aplicó nitrógeno (0,10 Kg de urea) y potasio (0,05 kg de muriato de potasio) en cada UE (Anexo 4. A). El riego se aplicó de acuerdo a las condiciones climáticas presentes en la zona (Anexo 4. B).

#### **5.5. Metodología para cada objetivo**

##### **5.5.1. Metodología para el primer objetivo**

##### **Determinar el efecto de los métodos y densidades de siembra sobre el crecimiento vegetativo de la quinua**

Para las variables altura y diámetro del tallo basal, se seleccionaron y se etiquetaron al azar 2 plantas de las hileras centrales de cada UE. Mientras tanto, para las variables contenido de clorofila, índice de área foliar y biomasa se seleccionaron otras 2 plantas de las hileras centrales de cada UE, en tres momentos (desarrollo vegetativo, anthesis y llenado de grano).

**Fenología:** Semanalmente, se registró la fenología del cultivo desde la siembra hasta la cosecha usando la escala BBCH (Sosa et al., 2017). El registro de cada estado fenológico se realizó cuando el 50 % de las plantas de cada UE cambiaron de un estado fenológico a otro.

**Altura de planta (cm):** Con ayuda de un flexómetro se midió desde el cuello de la planta hasta el ápice de la inflorescencia del tallo principal (Jiménez et al., 2018); la toma de los datos se llevó a cabo cada 15 días (Anexo 5. A).

**El diámetro de tallo basal (cm):** Se midió a 0,05 m del nivel del suelo, para ello se utilizó un calibrador manual (pie de rey). Las lecturas se llevaron a cabo con una frecuencia de 15 días (Anexo 5. B).

**Contenido de clorofila (valor SPAD):** Las lecturas de clorofila se realizaron por medio del aparato Minolta SPAD-502, para cada momento de muestro se tomaron 5 hojas del tercio superior de la planta y se realizaron tres lecturas en cada hoja y se determinó el promedio (Anexo 5. C).

**Índice de área foliar:** Con ayuda de un escáner se procedió a medir el área foliar, para ello se seleccionó al azar 20 hojas de cada planta (Anexo 6. B), además se consideró el marco de plantación para determinar el área del suelo. El índice de área foliar (IAF) se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IAF} = (\text{Área foliar m}^2) / (\text{Área del suelo m}^2)$$

**Biomasa (g m<sup>-2</sup>):** Las plantas recolectadas se colocaron en bolsas de papel (Anexo 6. A) y se secaron a 70 °C durante 72 horas, luego se pesó la biomasa total en una balanza de precisión (0,01 g) (Anexo 6. C).

### ***5.5.2. Metodología para el segundo objetivo***

#### **Evaluar la respuesta del rendimiento y sus componentes a los métodos y densidades de siembra en quinua**

Para las variables del rendimiento y sus componentes se seleccionaron y se etiquetaron 3 plantas de las hileras centrales de cada UE. Además, la toma de datos para todas las variables se realizó cuando las plantas alcanzaron su madurez fisiológica.

**Peso de la panoja principal y panojas secundarias (g):** Se cortó la panoja principal y secundaria, posteriormente se colocaron en bolsas de papel y se secaron a 70 °C durante 72 horas y se pesó en una balanza de precisión (0,01 g).

**Peso de 1 000 granos (g):** En una balanza de precisión (0,0001 g) se procedió a pesar una muestra de 1 000 granos por UE

**Número de granos por planta:** Se realizó un conteo manual del número de granos por planta.

**Número de granos por m<sup>2</sup>:** Después de determinar el número de granos por planta, se extrapoló al número de plantas por m<sup>2</sup> de cada unidad experimental. Para el cálculo de este indicador se utilizó la siguiente ecuación:

$$NGm^2 = NGP * NPM^2$$

Donde:

$NGm^2$  = Número de granos por m<sup>2</sup>

$NGP$  = Número de granos por planta

$NPM^2$  = Número de plantas por m<sup>2</sup>

**Rendimiento total (Kg ha<sup>-1</sup>):** Se determinó, utilizando la siguiente fórmula (Rodríguez, 2005):

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

Donde:

$R$  = rendimiento

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

$PG$  = peso promedio de granos

**Biomasa (g m<sup>-2</sup>):** Las plantas recolectadas se colocaron en bolsas de papel y se secaron a 70 °C durante 72 horas, luego se pesó la biomasa total en una balanza de precisión (0,01 g).

**Índice de cosecha (%):** Se estableció mediante la relación del peso de grano limpio respecto al peso de la biomasa seca aérea total. Se determinó aplicando la siguiente fórmula

$$IC = \frac{\text{Peso del grano}}{\text{Biomasa seca aérea total}}$$

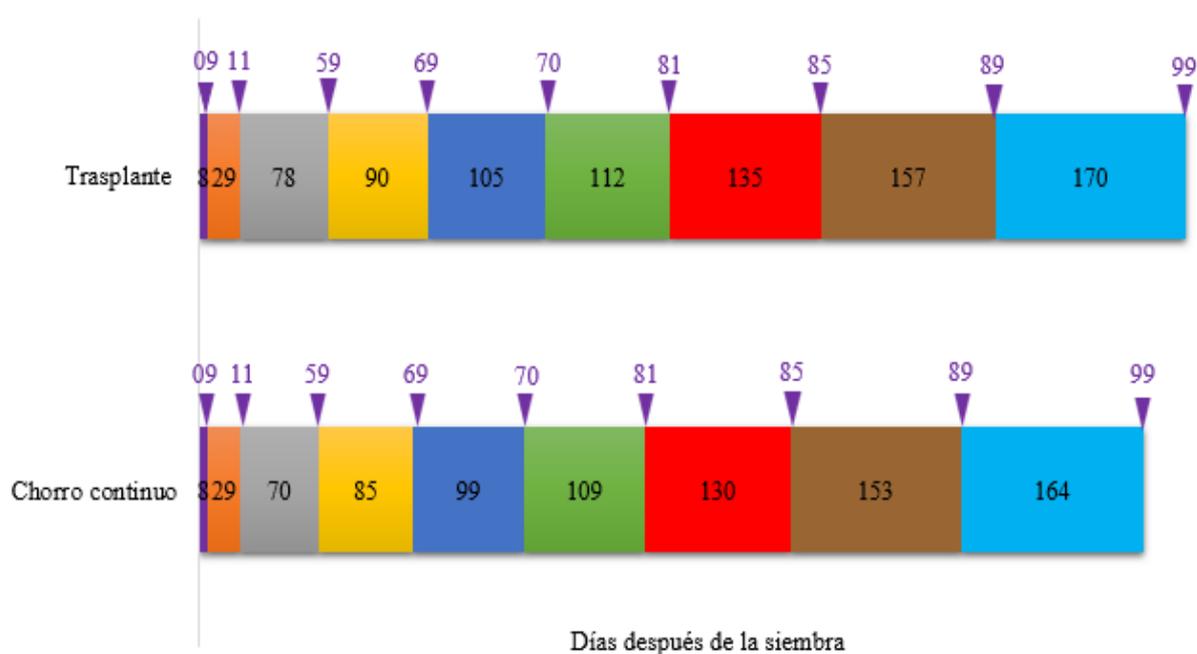
## 5.6. Análisis estadístico

Se verificaron los supuestos de homogeneidad y normalidad de las varianzas de los datos mediante los Tests de Shapiro Wilks y de Levene, respectivamente, los mismos que indicaron que sí se cumplen los supuestos en todas las variables evaluadas. A continuación, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) bifactorial con un nivel de significancia 5 % mediante el software estadístico (InfoStat versión libre, 2021) y finalmente se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey (95 %).

## 6. Resultados

### 6.1. Fenología

La figura 3 indica las diferentes etapas fenológicas del cultivo de quinua variedad Tunkahuan en los diferentes métodos de siembra (trasplante y chorro continuo). La emergencia de los cotiledones (BBCH 09), se produjo a los 8 dds, el desarrollo de las hojas (BBCH 11) se produjo a los 29 dds, la emergencia de la inflorescencia (BBCH 59) para el método por chorro continuo fue a los 70 dds, mientras que para el método por trasplante se produjo a los 78 dds. La etapa de antesis (BBCH 69) se presentó alrededor de los 85 y 90 dds para el método por chorro continuo y trasplante respectivamente. El desarrollo de los frutos o semillas (BBCH 70) para el método por chorro continuo fue a los 99 dds y para el método por trasplante a los 105 dds. En la fase fenológica madurez del fruto los subestadios: grano lechoso (BBCH 81), grano pastoso (BBCH 85) y grano seco (BBCH 89) iniciaron a los 109, 130 y 153 dds para el método por chorro continuo y 112, 135 y 157 dds para trasplante, respectivamente. El cultivo llegó a madurez fisiológica (BBCH 99) a los 164 dds para chorro continuo y 170 dds para trasplante.



**Figura 3.** Fenología del cultivo de quinua en los diferentes métodos de siembra (chorro continuo y trasplante). Números y triángulos en color púrpura muestran la escala BBCH. Los números dentro del rectángulo indican los días después de la siembra. Púrpura: Emergencia de cotiledones; Naranja: Desarrollo de hojas; Gris: Emergencia de inflorescencia; Amarillo: Antesis; Azul: Desarrollo del fruto; Verde: Grano lechoso; Rojo: Grano acuoso; Café: Grano seco; Celeste: Senescencia.

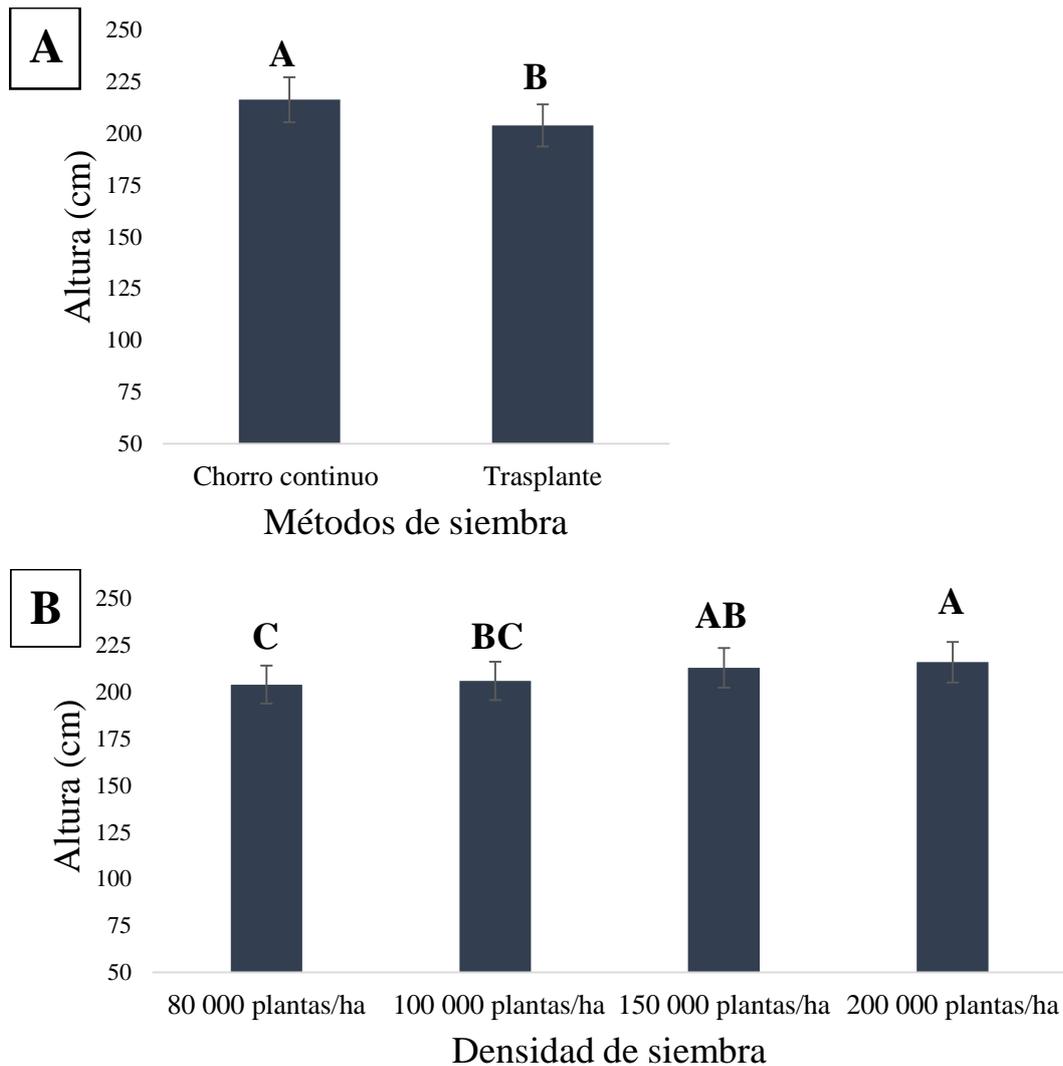
## 6.2. Altura de la planta

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, en los días 30 (p-valor = 0,0018; p-valor < 0,01); y 45 (p-valor = 0,013; p-valor < 0,05), mientras que, en los demás días de evaluación no hubo interacción entre los tratamientos. Sin embargo, hubo un efecto independiente de los factores método de siembra y densidad de siembra (tabla 3). En la (figura 4 A) se observa que existe diferencia significativa (p-valor = < 0,0001; p-valor p < 0,001) para el factor método de siembra, donde chorro continuo tuvo la mejor media con 216,34 cm mientras que trasplante obtuvo la menor altura con 203,89 cm. Con respecto a la densidad de siembra se encontraron diferencias significativas (p-valor = < 0,0005; p-valor < 0,001), siendo la densidad de siembra 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> la que alcanzó mayor altura de 216, 74 cm y la densidad de siembra de 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> tuvo la altura más baja con 204,23 cm (figura 4 B), datos que corresponden al día 120 de evaluación.

**Tabla 3.** Medias de la altura (cm) de las plantas de quinua en cada momento de evaluación (desde el día 30 a los 120 días dds), en función de la aplicación de los diferentes tratamientos (método de siembra y densidad de siembra).

Método de siembra	Densidad de siembra	Día30	Día 45	Día 60	Día 75	Día 90	Día 105	Día 120						
<b>Chorro continuo</b>	80 000 plantas ha <sup>-1</sup>	21,92	BC	44,63	BC	66,03	88,47	162,47	192,17	209,70				
	100 000 plantas ha <sup>-1</sup>	24,03	A	50,43	B	72,23	93,68	165,82	195,5	210,18				
	150 000 plantas ha <sup>-1</sup>	23,68	AB	71,77	A	86,00	102,55	172,73	202,33	220,02				
	200 000 plantas ha <sup>-1</sup>	24,28	A	68,80	A	91,07	105,57	178,67	210,50	225,50				
<b>Trasplante</b>	80 000 plantas ha <sup>-1</sup>	20,32	C	34,92	C	44,63	51,32	123,5	153,12	198,82				
	100 000 plantas ha <sup>-1</sup>	20,73	C	37,12	BC	51,55	61,75	127,52	160,40	202,23				
	150 000 plantas ha <sup>-1</sup>	23,57	AB	46,05	BC	56,52	70,45	146,58	176,65	206,52				
	200 000 plantas ha <sup>-1</sup>	21,2	C	42,27	BC	61,33	73,45	150,57	181,37	207,98				
<b>EE</b>		0,37		2,75		2,42		1,98		5,1		3,24		2,59

Las letras en sentido vertical representan diferencias estadísticamente significativas Tukey (p <0,05). Los valores son medias de tres repeticiones.



**Figura 4.** Medias de la altura de las plantas de quinua obtenidas en la evaluación del día 120: Métodos de siembra: chorro continuo y trasplante (A) y densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> (B). Las letras indican diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

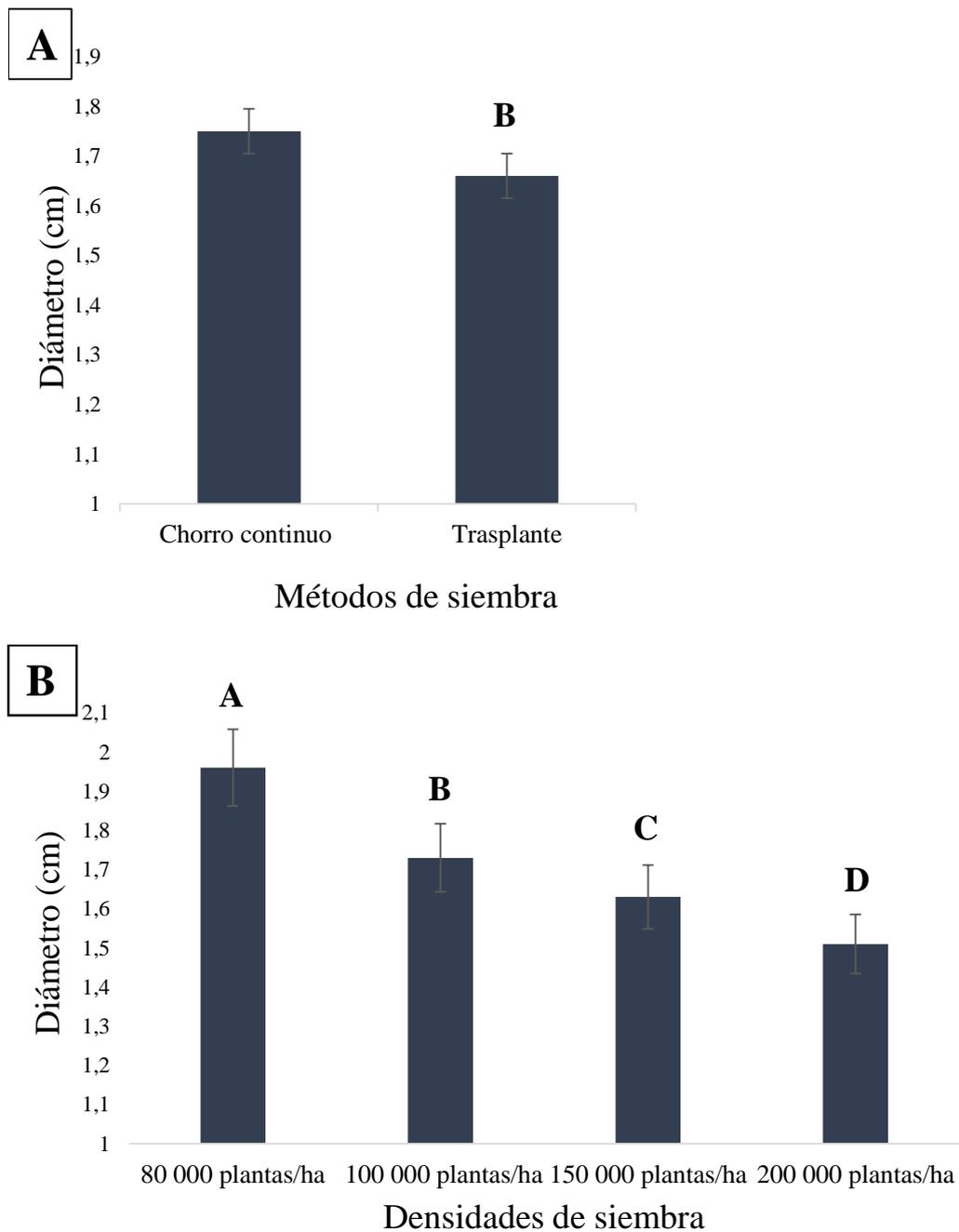
### 6.3. Diámetro del tallo

Al realizar el análisis estadístico de los tratamientos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, de forma independiente se encontraron diferencias significativas para el método y densidad de siembra en el día 75 hasta el día 120 y desde el día 45 hasta el día 120, respectivamente (tabla 4). En el día 120 el método de siembra influyó significativamente sobre la variable diámetro del tallo ( $p$ -valor =  $< 0,0001$ ;  $p$ -valor  $p < 0,001$ ), chorro continuo superó a trasplante con una media de 1,75 y 1,66 cm respectivamente (figura 5 A). El factor densidad de siembra presentó valores entre 1,96 y 1,51 cm correspondiente a 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> respectivamente, existiendo diferencias significativas ( $p$ -valor =  $< 0,0001$ ;  $p$ -valor  $p < 0,001$ ) (figura 5 B).

**Tabla 4.** Medias del diámetro del tallo de las plantas de quinua en cada momento de evaluación (desde el día 30 a los 120 días dds), en función de la aplicación de los diferentes tratamientos (métodos de siembra y densidades de siembra).

Método de siembra	Densidad de siembra	Día 30	Día 45	Día 60	Día 75	Día 90	Día 105	Día 120
<b>Chorro continuo</b>	80 000 plantas ha <sup>-1</sup>	0,48	0,65	0,88	1,35	1,5	1,7	2,03
	100 000 plantas ha <sup>-1</sup>	0,47	0,63	0,85	1,07	1,35	1,52	1,77
	150 000 plantas ha <sup>-1</sup>	0,45	0,62	0,83	1,03	1,28	1,48	1,67
	200 000 plantas ha <sup>-1</sup>	0,42	0,6	0,77	0,93	1,15	1,32	1,53
<b>Trasplante</b>	80 000 plantas ha <sup>-1</sup>	0,47	0,63	0,87	1,17	1,45	1,58	1,88
	100 000 plantas ha <sup>-1</sup>	0,45	0,62	0,78	1,03	1,25	1,42	1,68
	150 000 plantas ha <sup>-1</sup>	0,43	0,6	0,8	0,97	1,17	1,33	1,58
	200 000 plantas ha <sup>-1</sup>	0,42	0,58	0,77	0,9	1,05	1,18	1,48
<b>EE</b>		0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02

Las letras en sentido vertical representan diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Los valores son medias de tres repeticiones



**Figura 5.** Medias del diámetro de las plantas de quinua obtenidas en la evaluación del día 120: Métodos de siembra: chorro continuo y trasplante (A) y densidades de siembra 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$  (B). Las letras indican diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

#### 6.4. Contenido de clorofila

En el análisis estadístico no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos, durante el desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano. El factor densidad de siembra sí influyó significativamente ( $p$ -valor =  $< 0,0001$ ;  $p$ -valor  $p < 0,001$ ) en los tres momentos de evaluación: desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano (tabla 5), donde la densidad de siembra de 80 000 plantas  $ha^{-1}$  presentó el mayor contenido de clorofila con 47,2, 65,88 y 36,82 unidades SPAD correspondiente a los tres momentos, respectivamente.

**Tabla 5.** Contenido de clorofila (unidades SPAD) de las plantas de quinua en el desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano en función de la aplicación del factor densidad de siembra. D1 (80 000 plantas  $ha^{-1}$ ), D2 (100 000 plantas  $ha^{-1}$ ), D3 (150 000 plantas  $ha^{-1}$ ), D4 (200 000 plantas  $ha^{-1}$ ).

Factor densidad de siembra	Desarrollo vegetativo	Antesis	Llenado de grano
D1	47,2 A	65,88 A	36,82 A
D2	45,28 B	64,53 AB	34,98 B
D3	43,59 C	63,9 B	33,83 B
D4	42,41 D	62,36 C	32,4 C
EE	0,26	0,37	0,32

Las letras en sentido vertical representan diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 6.5. Índice de área foliar

En los tres momentos de evaluación no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, mientras que el factor densidad de siembra influyó significativamente en los tres momentos de evaluación con un ( $p$ -valor =  $< 0,0001$ ;  $p$ -valor  $p < 0,001$ ). La densidad de siembra con 200 000 plantas  $ha^{-1}$ , presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto a las demás densidades obteniendo medias superiores de 0,70, 1,30 y 1,15 correspondiente a desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano, respectivamente (Tabla 6).

**Tabla 6.** Índice de área foliar de las plantas de quinua en cada momento de evaluación (desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano) en función de la aplicación del factor densidad de siembra. D1 (80 000 plantas ha<sup>-1</sup>), D2 (100 000 plantas ha<sup>-1</sup>), D3 (150 000 plantas ha<sup>-1</sup>), D4 (200 000 plantas ha<sup>-1</sup>).

Factor densidad de siembra	Desarrollo vegetativo		Antesis		Llenado de grano	
<b>D1</b>	0,29	C	0,38	D	0,33	D
<b>D2</b>	0,51	B	0,77	C	0,68	C
<b>D3</b>	0,56	B	0,98	B	0,85	B
<b>D4</b>	0,70	A	1,30	A	1,15	A
<b>EE</b>	0,01		0,02		0,02	

Las letras en sentido vertical representan diferencias estadísticamente significativas Tukey (p < 0,05). Los valores son medias de tres repeticiones

## 6.6. Biomasa

No existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El factor densidad de siembra si influyó significativamente (p-valor < 0,05) para los tres momentos de evaluación, la densidad de siembra de 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> presentó la mayor cantidad de biomasa 51,15, 786,72 y 1 542,90 g m<sup>-2</sup> correspondientes a desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano, respectivamente (Tabla 7).

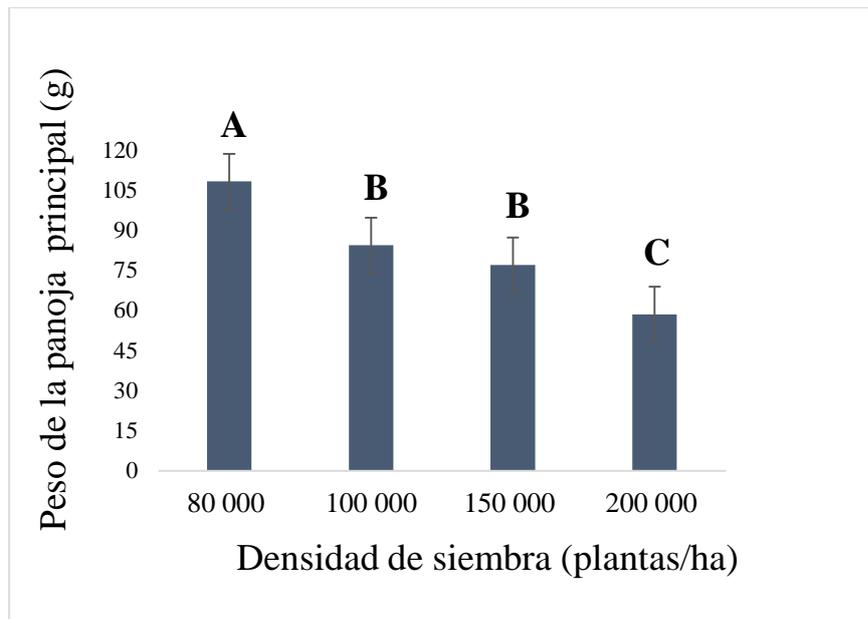
**Tabla 7.** Biomasa de las plantas de quinua en cada momento de evaluación (desarrollo vegetativo, antesis y llenado de grano) en función de la aplicación del factor densidad de siembra. D1 (80 000 plantas ha<sup>-1</sup>), D2 (100 000 plantas ha<sup>-1</sup>), D3 (150 000 plantas ha<sup>-1</sup>), D4 (200 000 plantas ha<sup>-1</sup>).

Factor densidad de siembra	Desarrollo vegetativo		Antesis		Llenado de grano	
<b>D1</b>	37,44	B	482,03	C	1175,38	B
<b>D2</b>	38,83	B	493,25	C	1194,10	B
<b>D3</b>	43,11	A	582,59	B	1337,30	AB
<b>D4</b>	51,15	A	786,72	A	1542,90	A
<b>EE</b>	2,73		11,51		54,13	

Las letras en sentido vertical representan diferencias estadísticamente significativas Tukey (p < 0,05). Los valores son medias de tres repeticiones.

## 6.7. Peso de la panoja

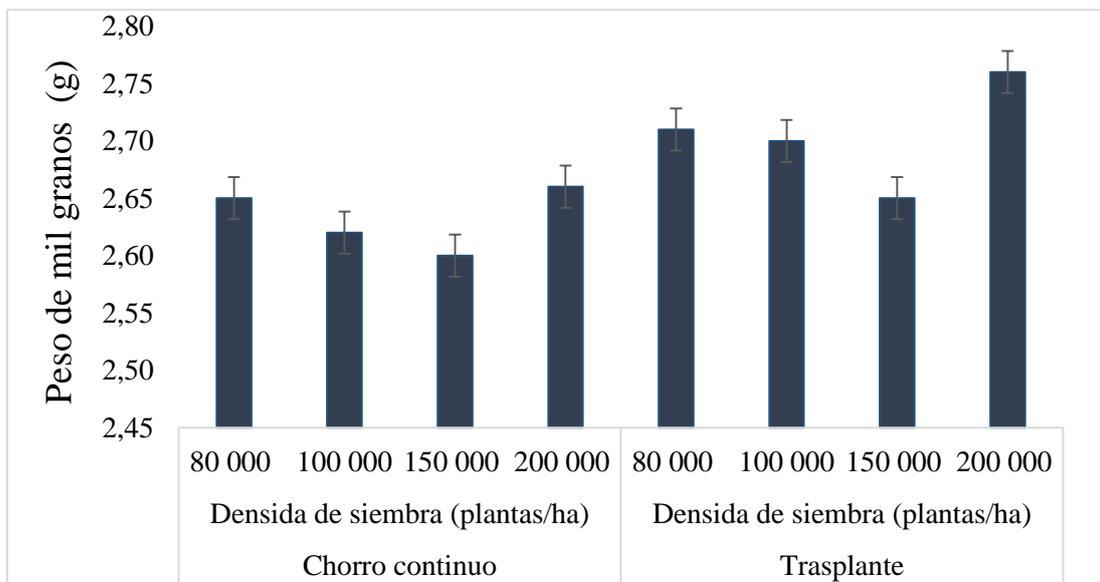
En el análisis estadístico no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Sin embargo, el factor densidad de siembra influyó significativamente (p-valor = < 0,0001; p-valor < 0,001), sobre la variable peso de la panoja presentando valores entre 108,26 y 58,50 g correspondiente a 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> respectivamente (figura 6).



**Figura 6.** Peso de la panoja (g) de las plantas de quinua, en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

### 6.8. Peso de 1000 granos

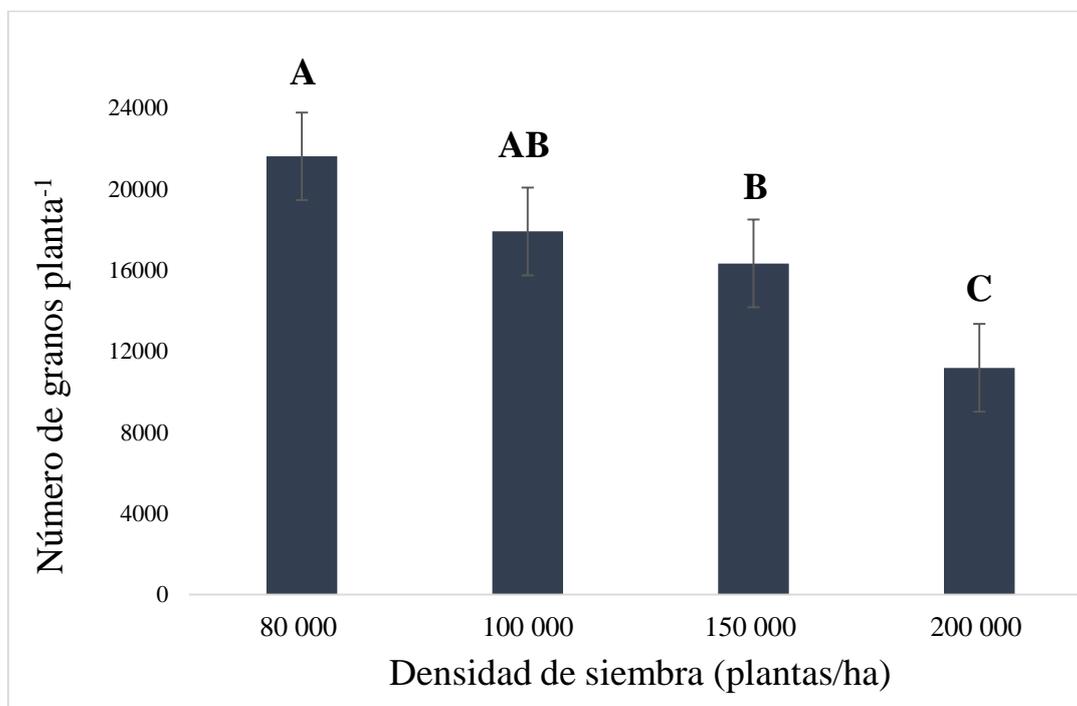
De acuerdo al análisis estadístico, no existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, sin embargo, los valores alcanzados están en un rango de 2,76 y 2,60 para trasplante + 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> y chorro continuo + 150 000 plantas ha<sup>-1</sup> respectivamente (figura 7).



**Figura 7.** Peso de mil granos (g) de las plantas de quinua, en función de la aplicación de los diferentes tratamientos de siembra. Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

### 6.9. Número de granos por planta

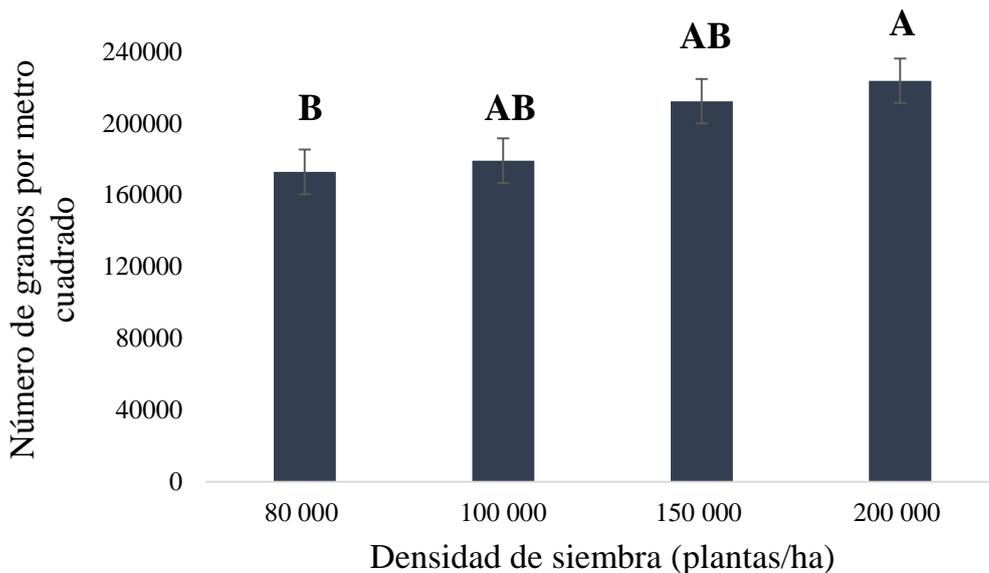
No se encontraron diferencias estadísticamente entre los tratamientos. El factor densidad de siembra sí influyó significativamente ( $p$ -valor = 0,0001;  $p$ -valor  $p < 0,001$ ) en el número de granos por planta, donde la densidad de siembra de 80 000 plantas  $ha^{-1}$  presentó el mayor número de granos por planta con 21 625,21 g, mientras que la densidad de 200 000 plantas  $ha^{-1}$  obtuvo la menor cantidad con 11 818,10 g (figura 8).



**Figura 8.** Número de granos planta<sup>-1</sup>, en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$ . Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

### 6.10. Número de granos por metro cuadrado

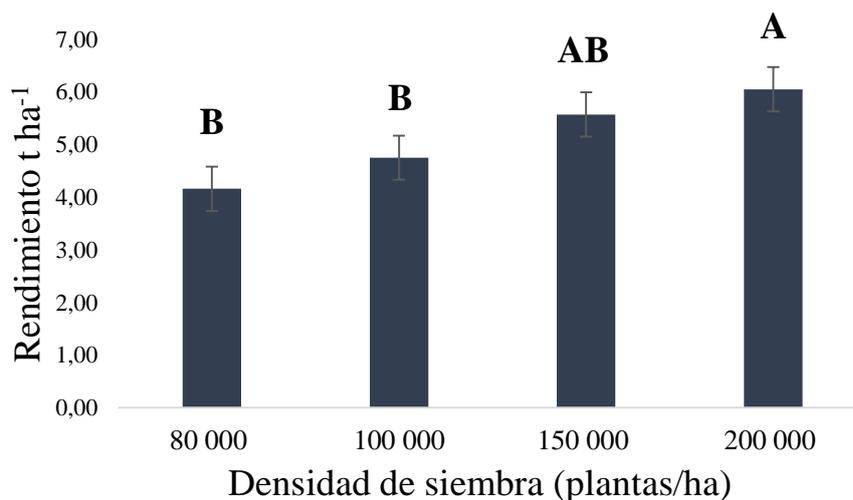
No existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se observó un efecto significativo en la densidad de siembra sobre la variable número de granos por metro cuadrado ( $p$ -valor = 0,0141;  $p$ -valor =  $< 0,05$ ). La densidad de siembra de 200 000 plantas  $ha^{-1}$  presentó la mayor cantidad de número de granos por metro cuadrado con 223 821,23 y la densidad de 80 000 plantas  $ha^{-1}$  obtuvo la menor cantidad con 173 001,71 (figura 9).



**Figura 9.** Número de granos por metro cuadrado, en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$ . Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

### 6.11. Rendimiento

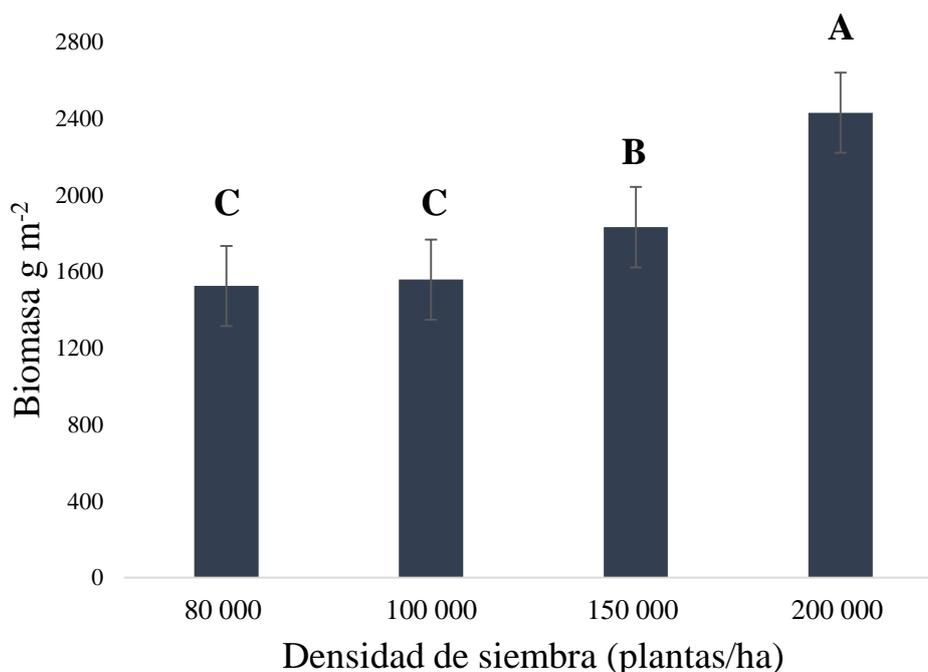
En el análisis estadístico no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El factor densidad de siembra sí influyó significativamente ( $p$ -valor = 0,0152;  $p$ -valor  $< 0,05$ ) sobre la variable de estudio, el mejor rendimiento obtuvo la densidad de 200 000 plantas  $ha^{-1}$  con 6,05  $t ha^{-1}$  mientras que la densidad de siembra de 80 000 plantas  $ha^{-1}$  presentó 4,16  $t ha^{-1}$  (figura 10).



**Figura 10.** Rendimiento  $t ha^{-1}$ , en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas  $ha^{-1}$ . Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

### 6.12. Biomasa gramos m<sup>-2</sup>

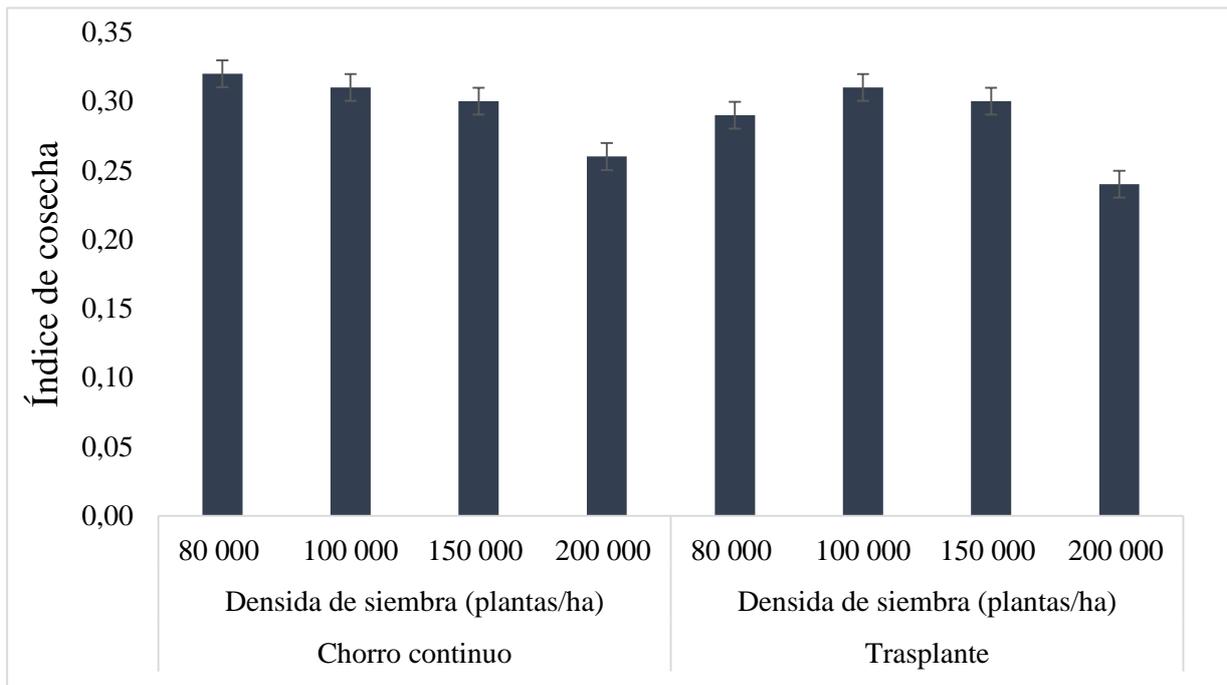
No existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Sin embargo, el factor densidad de siembra si influyó sobre la variable biomasa (p-valor < 0,0001; p-valor < 0,001). La densidad de siembra de 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> presentó la mayor cantidad de biomasa con 2 431,44 g y la densidad de 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> obtuvo la menor cantidad con 1 525,58 g (figura 11).



**Figura 11.** Biomasa g m<sup>-2</sup> en función de la aplicación de las diferentes densidades de siembra: 80 000, 100 000, 150 000 y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Las letras indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

### 6.13. Índice de cosecha

No se identificaron diferencias entre los tratamientos, los valores alcanzados se encuentran en un rango de 0,32 y 0,24 correspondientes a los tratamientos chorro continuo + 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> y trasplante + 2000 000 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente (figura 12).



**Figura 12.** Índice de cosecha de las plantas de quinua, en función de la aplicación de los diferentes tratamientos de siembra. Las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

## 7. Discusión

El ciclo del cultivo de la quinua varía con los diferentes métodos de siembra. Al realizar una siembra directa la quinua llega a madurez fisiológica a los 164 dds mientras al realizar siembra por trasplante necesita 170 días para completar su ciclo fenológico, información que concuerda con Peralta (2010), que el ciclo de cultivo de la quinua var. Tunkahuan se encuentra en un rango de 150 a 210 días después de la siembra, además indica que la quinua se adapta a diferentes condiciones edafoclimáticas, por lo que la provincia de Loja posee áreas con suelo y clima apto para el desarrollo del cultivo (Peralta, 2010). Según Dao et al., (2020) las plantas sembradas con diferentes métodos de plantación se comportan de manera diferente, la técnica de trasplante es perjudicial para las plantas, debido a que se producen lesiones mecánicas en el sistema radicular, lo que resulta una lenta regeneración y adaptación a las nuevas condiciones de suelo, además existe un retraso en tiempo especialmente en las etapas fenológicas de floración y madurez fisiológica.

La altura de la planta de quinua fue mayor con chorro continuo que con trasplante, obteniendo 216,34 cm y 203,89 cm respectivamente. Según estudios realizados por Jiménez et al., (2018) en el cultivo de amaranto, aplicar distintos sistemas de siembra puede influir significativamente en el crecimiento, pues al realizar la siembra a chorro continuo se obtiene promedio de altura mucho mayor con relación a realizar siembra por golpe o trasplante, difiere de los resultados encontrados por Aracena (2015) quienes señalan que la técnica de trasplante permite obtener plantas más altas con un promedio de 235,22 cm, indica que luego del trasplante las plantas muestran poco crecimiento durante la primera semana, debido al cambio de condiciones ambientales y de suelo. Esto se debe porque Aracena (2015) para utilizar el método de trasplante, realizó los almácigos en bandejas comerciales por ende el sistema radical se encuentra sano y vigoroso, por ello difiere con los resultados de este estudio porque el almácigo se realizó directamente en el suelo, por lo tanto, el sistema radicular sufre lesiones mecánicas lo cual la incapacita para extraer del suelo el agua y minerales y así lograr establecerse adecuadamente (Rivera, 2018).

Para el caso de la densidad de siembra se encontró que la altura de la planta aumenta al incrementar la densidad de siembra obteniendo la máxima altura con la densidad de siembra de 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Estos resultados concuerdan con Jbawi et al. (2022) en que la altura de la planta es significativamente mayor al utilizar una densidad de siembra de 333 333 plantas ha<sup>-1</sup> que una densidad de 100 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Minh et al. (2021) indican que al incrementar la densidad de siembra existe competencia por luz solar, lo que conduce a plantas de mayor

tamaño, sin embargo, señala que, de no existir un adecuado suministro de nutrientes y agua, puede darse una competencia intraespecífica entre plantas lo que conduciría a reducir la altura de la planta y otros parámetros de crecimiento. Por lo que, en nuestro estudio al tener una mayor altura al incrementar la densidad de siembra se podría inferir que hay un adecuado suministro de nutrientes. Según Cortés et al. (2013) al tener una mayor densidad de siembra, se activan fotorreceptores (fitocromos) que por medio de un proceso hormonal (giberelinas y auxinas), promueven la elongación de tallos como respuesta adaptativa dirigida a incrementar la cantidad de luz interceptada. Este factor podría ser no deseable en el cultivo, ya que tal y como Deng et al. (2021) señalan, el crecimiento vertical de la planta reduce la resistencia del tallo y aumenta la tasa de acame.

Referente al diámetro del tallo, el método de siembra chorro continuo superó significativamente a trasplante, con un promedio de 1,75 y 1,66 cm respectivamente lo que concuerda con Jiménez et al. (2018) quien en plantaciones de amaranto obtiene un diámetro de 1,49 cm para la siembra con chorro continuo y de 1,10 cm para el trasplante. Para los cultivos en general no se encuentra información sobre el efecto de los métodos de siembra en la fisiología de las plantas por ello se debe realizar investigación a nivel fisiológico sobre la influencia de las diferentes técnicas de siembra. Para el factor densidad de siembra se obtuvieron medias que al incrementar la densidad de plantas  $\text{ha}^{-1}$  disminuye el diámetro del tallo, existe una relación directa entre el diámetro del tallo con la distancia de siembra, a medida que las plantas dispongan de mayor espacio vital, desarrollan tallos más robustos, incluso una menor densidad favorece al cultivo debido a que reduce la tasa de acame (Viloria et al., 1998; Khan et al., 2017).

En nuestro estudio el contenido de clorofila presentó diferencias estadísticamente significativas para el factor densidad de siembra en cada etapa de evaluación, además se puede evidenciar que existe un incremento de clorofila (unidades SPAD) en las primeras etapas fenológicas del cultivo y a medida que el cultivo se desarrolla y llega a la etapa de senescencia el contenido de clorofila tiende a disminuir. (Castillo y Ligarreto, 2010; García-Parra et al., 2017) mencionan que el contenido de clorofila en las plantas está directamente relacionado con la concentración de nitrógeno y tiende a incrementar cuando los contenidos de nitrógeno disponible aumentan, además Erazzú et al. (2016) indican que las plantas cuyas hojas se hallan más expuestas a la radiación solar presentan una mayor asimilación fotosintética. Zarate (2010) señala que la senescencia foliar, está caracterizada por una serie de cambios fisiológicos, bioquímicos y estructurales, las hojas pierden gradualmente clorofila, el mecanismo de la

fotosíntesis se altera y se reciclan los productos de degradación de las macromoléculas hacia otras partes del crecimiento de la planta.

Además, en la investigación el contenido de clorofila probablemente disminuyó debido al ataque de mildiu (*Peronospora* sp), esta situación es similar a la planteada por Danielsen y Ames (2000), que la enfermedad mildiu afecta principalmente al follaje de la planta, la cual se observa como puntos cloróticos en las hojas y como consecuencia tiende a disminuir la actividad fotosintética.

El índice del área foliar en el estudio fue mayor ante un aumento de la densidad de siembra, con un incremento en las primeras etapas fenológicas, luego hubo una tendencia a disminuir. Mena et al. (2018) indica que existe una correlación positiva del IAF con la densidad de población. El área foliar por planta disminuye al aumentar la densidad, en tanto que el índice de área foliar aumenta, lo cual es consecuencia del mayor número de hojas por  $m^{-2}$  tendiendo a su estabilización a las mayores densidades (Aguilar-García et al., 2005; Cardinali et al., 1985). El IAF se incrementa desde la emergencia hasta la ramificación de las plantas, luego disminuye su crecimiento, pero sin detenerse hasta el inicio de panojamiento, después el área foliar e índice de área foliar disminuyen pronunciadamente hasta la madurez fisiológica; esto se debe al asocio con una fuerte translocación de fotoasimilados hacia otros sitios de mayor demanda (Núñez, 2018; Valles et al., 2009).

Al incrementar la densidad de siembra aumenta la biomasa ( $g\ m^{-2}$ ), obteniendo mayor cantidad de biomasa en 200 000 plantas  $ha^{-1}$  y también se observa que la biomasa aumenta conforme avanzan las etapas fenológicas. Núñez et al. (2018) indican que la acumulación de biomasa se modifica notoriamente por efectos de la densidad de siembra, debido a que existe un incremento de biomasa cuando aumenta la población de plantas por unidad de área. Según Borrego et al. (2000) el IAF permite determinar la capacidad de fotosíntesis de una planta en un área determinada del suelo, además la producción de masa seca está directamente relacionada con el IAF, por esta razón cuando el IAF es alto existe una mayor acumulación de masa seca. También el incremento de la biomasa aumenta con los diferentes estadios del cultivo debido a que existe un aumento de la altura y mayor área foliar, además existe mayor cantidad de biomasa en el llenado de grano, ya que los fotoasimilados se concentran en mayor cantidad en las estructuras reproductivas (granos) y en menor proporción en las estructuras vegetativas (Sher et al., 2013; Andriolo y Falcão, 2000), además para asegurarnos que la biomasa aumenta en cada etapa fenológica del cultivo sería necesario hacer una evaluación en la etapa de senescencia.

El peso de la panoja fue influenciado por la densidad de siembra, observándose un incremento del peso de la panoja cuando la densidad disminuye siendo corroborado por (Dao et al., 2020) las plantas de quinua cultivadas a una menor densidad de siembra pueden compensar los espacios restantes modificando la arquitectura del sistema de ramificación. Blanco-Valdés (2019) señala la importancia de la proporción entre el rojo y el rojo lejano (R: RL), como componente fundamental de la sombra entre plantas vecinas. La captación temprana de esta señal por los entrenudos y su relación con la densidad del dosel modula la cantidad de radiación lo que demuestra que las plantas pueden detectar la presencia de plantas vecinas, mucho antes de que reciban sombra.

Los tratamientos evaluados no afectaron sobre la variable del peso de 1000 granos. Resultados similares encontraron (Spehar y Rocha, 2009), que las diferentes densidades de siembra no influyeron sobre la variable de estudio, esto se debe porque el peso de las semillas se encuentra en relación a la gran diversidad entre los genotipos de quinua, sin embargo puede verse afectado por las condiciones edafoclimáticas, además indican que el peso de 1 000 granos se encuentra entre 2,0 g y 3,5 g datos que concuerdan con nuestra investigación donde se obtuvo promedios en un rango de 2,60 y 2,76 g.

El número de granos es uno de los componentes que influye en el rendimiento de la quinua, al analizar el número de granos planta<sup>-1</sup> la densidad de siembra de 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> obtiene la mayor cantidad de granos, sin embargo, al analizar el número de granos por metro cuadrado se obtiene mayor número de granos en la densidad de siembra de 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Eisa et al. (2018) indican que el aumento en el rendimiento de semillas por área se atribuye principalmente a la reducción de la ramificación a mayor densidad de plantas, por lo tanto, se ha obtenido una mayor proporción del rendimiento de semillas producido a partir de la panícula principal, mientras que una menor densidad de plantas conduce a un aumento de la ramificación y, en consecuencia, alrededor del 50 – 60 % del rendimiento de la semilla es producida por las panículas secundarias.

Peralta (2010) señala que el rendimiento de la quinua variedad Tunkahuan varía entre 1,5 a 3 t ha<sup>-1</sup>, sin embargo, en la investigación se obtuvieron rendimientos que fluctúan desde 4,61 a 6,05 t ha<sup>-1</sup> correspondiente a la densidad de siembra de 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> respectivamente el cual indica que una densidad alta permite tener la mayor cantidad de granos por unidad de superficie. Sief et al. (2015) informaron que el rendimiento de grano presenta una tendencia positiva al aumentar la densidad de plantas en hileras con un espaciamiento de 20 cm. Del mismo modo Minh et al. (2021) indican que el rendimiento

aumenta de 7,8 a 36,9 % cuando la densidad de plantas incrementa de 130 000 a 200 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Sin embargo, Erazzú et al. (2016) reportaron que al incrementar la densidad de siembra de 70 000 a 460 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , el rendimiento del grano de quinua variedad CICA tiende a disminuir de 5,38 t  $\text{ha}^{-1}$  a 3,04 t  $\text{ha}^{-1}$  respectivamente.

Con respecto a la biomasa medida al final del cultivo la densidad de 200 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  presentó la mayor cantidad con 2 431,44 g  $\text{m}^2$ . Dao et al. (2020) indican que al tener una alta densidad de siembra tiene diferentes ventajas como un efecto adverso sobre las malas hierbas e impactos positivos sobre la biomasa de los cultivos. Un rendimiento de grano requiere una acumulación óptima de biomasa, una mejor partición y una translocación adecuada de los fotosintatos.

Finalmente, el índice de cosecha es la capacidad de traslocar al grano todos los nutrientes acumulados en los órganos vegetativos de la planta, en esta variable no se encontró diferencias estadísticamente significativas, valores que difieren con aquellos reportados por Garrido et al. (2013) quienes registraron un promedio en la variable índice de cosecha de 0,39 al evaluar el rendimiento de nueve genotipos con diferentes disponibilidades hídricas y con una densidad de siembra de 250 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , Gómez y Aguilar, (2016) mencionan que el índice de cosecha promedio en quinua es 0,3 con una variación de 0,21 a 0,45 dependiendo de las variedades.

## 8. Conclusiones

Fenológicamente al aplicar el método de chorro continuo, la quinua llega a madurez fisiológica más temprano, mientras que al utilizar el método de trasplante necesita 6 días más para completar su ciclo fenológico.

Los métodos y densidad de siembra de forma independiente afectaron a las variables altura de la planta y diámetro del tallo, al utilizar densidad de 200 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  y siembra por chorro continuo alcanzan las mayores alturas; sin embargo, al incrementar la densidad de siembra disminuye el diámetro del tallo, además el factor densidad de siembra influyó significativamente sobre las variables clorofila, índice de área foliar y biomasa.

Para las variables peso de 1 000 granos e índice de cosecha los tratamientos no tuvieron efectos significativos. Sin embargo, la densidad de siembra tuvo efecto sobre las variables peso de la panoja, número de granos por planta, número de granos por metro cuadrado, rendimiento y biomasa evaluada al final del cultivo. Con respecto al rendimiento este fue mayor con una densidad de siembra de 200 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  con lo cual se obtuvo un promedio de 6,05  $\text{t ha}^{-1}$ , valores que superan al rendimiento nacional que va desde 1,5 a 3  $\text{t ha}^{-1}$ ,

## **9. Recomendaciones**

Realizar estudios posteriores sobre la influencia de la aplicación de los distintos métodos de siembra en la fisiología y morfología de las plantas de quinua.

Ejecutar trabajos de investigación sobre densidades de siembra superiores a 200 000 plantas ha<sup>-1</sup> para obtener información sobre si el rendimiento se incrementa con un mayor número de plantas por unidad de superficie.

Manipular con cuidado las plántulas de quinua al momento del trasplante, con la finalidad de evitar lesiones en el sistema radicular lo que puede causar muerte o lenta regeneración y estrés al momento de adaptarse al campo.

## 10. Referencias bibliográficas

- Aguilar-García, L., Escalante-Estrada, J., Fucikovskyy-Zak, L., Tijerina-Chávez, L., & Engleman, E. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana*, 23(3), 303-310.
- Aracena, G. (2015). Comparación de tres técnicas de siembra y desarrollo del cultivo de quinua en la quebrada de Humahuaca – Jujuy. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado el 11 de noviembre de 2022 de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_comparacin\\_de\\_tres\\_tcnicas\\_de\\_siembra\\_y\\_desarr.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_comparacin_de_tres_tcnicas_de_siembra_y_desarr.pdf)
- Blanco-Valdés, Y. (2019). Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses-cultivo. *Cultivos Tropicales*, 40(4).
- Becerra, J. (2021). Observatorio de las siembras y perspectivas de la producción-Quinua. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego MIDAGRI. Recuperado el 19 de julio de 2022 de <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/835>
- Bojanic, A. (2011). La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación. Recuperado el 18 de julio de 2022 de <https://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- Calla, J. (2012). Guía Técnica «Manejo Agronómico del cultivo de quinua». Oficina académica de extensión y proyección social. Recuperado el 18 de julio de 2022 de <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-b-quinua.pdf>
- Cardinali, F., Orioli, G., y Pereyra, V. (1985). Comportamiento de dos híbridos de girasol a bajas densidades de siembra. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 6(3), 131-139.
- Castillo, Á. R., y Ligarreto, G. A. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 122-128.
- Chavez, J. (2018). Dosis de nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento de la quinua en Acopalca – Huari [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional José Faustino

Sánchez Carrión] Repositorio institucional-Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

- Cogliatti, M., y Heter, D. (2016). Perspectivas de producción de quinua en la región agrícola del centro de la provincia de Buenos Aires. Centro de Investigaciones Integradas sobre Sistemas agronómicos Sustentables (CIISAS). Recuperado el 18 de julio de 2022 de <http://www.faa.unicen.edu.ar/archivos/Quinua.pdf>
- Cortés, M., Cañón, F., Rodríguez, D., y Pérez, M. (2013). Efecto de la densidad de siembra y el ambiente de cultivo sobre el rendimiento y la calidad de tallos de los cultivares de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) crespo e israelí. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9(2), 186-199.
- Danielsen, S., y Ames, T. (2000). El Mildiu de la Quinua en la Zona Andina. Centro Internacional de la Papa (CIP). Recuperado el 14 de febrero de 2023 de <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1962.9686>
- Dao, A., Alvar-Beltrán, J., Gnanda, A., Guira, A., Nebie, L., y Sanou, J. (2020). Effect of different planting techniques and sowing density rates on the development of quinoa. *African journal of agricultural research*, 16(9), 1325-1333.
- Deng, Y., Wang, J.-L., Sumera, A., Wang, C.-Y., Zhao, L., Zhang, L.-G., Guo, H.-X., Quin, L.-X., y Wang, M.-X. (2021). Phenology, lodging and yield traits of *Chenopodium quinoa* under the effect of planting density and row spacings. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(11), 11757-11767.
- Eisa, S., El-Samad, E. H., Hussin, S., Ali, E., Ebrahim, M., González Sánchez, J., Ordano, M., Erazzú, L., El-Bordeny, N., & Abdel-Ati, A. (2018). Quinoa in Egypt—Plant Density Effects on Seed Yield and Nutritional Quality in Marginal Regions. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 8, 515-522.

- Erazzú, L. E., González, J., Buedo, S., y Prado, F. (2016). Efectos de la densidad de siembra sobre *Chenopodium quinoa* (quinoa). Incidencia sobre variables morfológicas y rendimiento de grano en la variedad CICA cultivada en Amaicha del Valle (Tucumán, Argentina). *Lilloa*, 53(1), 12-22.
- García-Parra, M., García, J., Melo, D., y Deaquiz, Y. (2017). Respuesta agronómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* willd) variedad dulce de Soracá a la fertilización en Ventaquemada-Boyacá. *Cultura científica*, 15, 66-77.
- Garrido, M., Silva, P., Silva, H., Muñoz, R., Baginsky, C., & Acevedo, E. (2013). Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. *Idesia (Arica)*, 31(2), 69-76.
- Gómez, L., y Aguilar, E. (2016). *Guía del cultivo de quinua*. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado el 18 de julio de 2022 de <https://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf>
- González, J. (2019). Evaluación y calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato bajo condiciones andinas [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Loja] Repositorio institucional-Universidad Nacional de Loja <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/22452>
- González, J., y Prado, F. (2013). Quinoa: Aspectos biológicos, propiedades nutricionales y otras consideraciones para su mejor aprovechamiento. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales*, 34(5), 5-15.
- ITIS. (2022). *Sistema Integrado de Información Taxonómica*. Recuperado el 19 de julio de 2022 de <https://www.itis.gov/>

- Jbawi, E. A., Othman, M., Hunnish, T. A., y Abbas, F. (2022). The effect of plant density on growth and seed yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the middle region of Syria. *International Journal of Phytology Research*, 2(1), 19-24.
- Jiménez, L., González, M., Bastidas, M., y Decker, F. (2018). Evaluación del rendimiento de tres sistemas de siembra y dos variedades de amaranto (*Amaranthus quitensis*) y (*Amaranthus hypochondriacus*). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 6(2), 65-75.
- Khan, S., Anwar, S., Kuai, J., Ullah, S., Fahad, S., y Zhou, G. (2017). Optimization of Nitrogen Rate and Planting Density for Improving Yield, Nitrogen Use Efficiency, and Lodging Resistance in Oilseed Rape. *Frontiers in Plant Science*, 8, 532.
- Konishi, Y., Hirano, S., Tsuboi, H., y Wada, M. (2004). Distribution of Minerals in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 68(1), 231-234.
- Loomis, R., y Connor, D. (2002). *Ecología de cultivos: Productividad y manejo en sistemas agrarios*. 1º edición. España: MundiPrensa. 591 pp.
- MAG. (2013). Ministerio de Agricultura de Ecuador: La quinua por su potencial nutritivo es considerada para erradicar el hambre en el mundo. Recuperado el 10 de noviembre de 2022 de <http://bitly.ws/cJL9>
- MAG. (2020). Boletín Situacional Quinoa. Recuperado el 10 de noviembre de 2022 de <https://online.fliphtml5.com/ijia/mmzm/>
- Matus, I., León-Lobos, P., y Zurita-Silva, A. (2015). El cultivo de la quínoa en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado el 11 de noviembre de 2022 de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/31539>
- MEF. (2020). *Seguimiento de la Ejecución Presupuestal*. Recuperado el 10 de noviembre De 2022 de [https://www.mef.gob.pe/es/?option=com\\_content&language=es-ES&Itemid=100944&lang=es-ES&view=article&id=504](https://www.mef.gob.pe/es/?option=com_content&language=es-ES&Itemid=100944&lang=es-ES&view=article&id=504)

- Mena, J., Díaz, A., y Aguilar, R. (2018). Efecto de la densidad de población en el desarrollo y distribución de la biomasa del girasol, variedad Caburé – 15. *Revista de Ciencias Agrarias*, 41(1), 23-35.
- MINAGRI. (2018). Manual de abonamiento con guano de las islas. Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural. Recuperado el 12 de diciembre 2020 de <https://dokumen.tips/documents/manual-de-abonamiento-con-guano-de-las-islas-2019-06-11-cada-cultivo-tiene-sus.html?page=6>
- Minh, N., Dinh, H., Loc, N., y Long, N. (2021). Effects of plant density on growth, yield and seed quality of quinoa genotypes under rain-fed conditions on red basalt soil regions. *Australian Journal of Crop Science*, 14(12), 1970-1976.
- Morillo, A., Manjarres, E., Morillo, Y., y González, L. (2021). *Una mirada al cultivo de la quinua en el departamento de Boyacá*. 1° edición. Colombia: Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 131 pp.
- Mujica, Á., Jacobsen, S.-E., Izquierdo, J., y Marathe, J. (2001). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Recuperado el 11 de noviembre de 2022 de <https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/produccion-sostenible/en/>
- Núñez, N., Robles, M., y Alvarez, M. (2018). Influencia del distanciamiento y número de plantas por golpe en el rendimiento de grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Ciencia y Desarrollo*, 17,22(1), 58-65.
- Núñez, W. (2018). Fenología de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en dos épocas de siembra. Canaán – INIA a 2735 msnm – Ayacucho [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga] Repositorio institucional-Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

- Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Villacrés, E., y Rivera, M. (2013). Catálogo de variedades mejoradas de granos andinos: Chocho, quinua y amaranto, para la sierra de Ecuador. Recuperado el 19 de julio de 2022 de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2713>
- Quintanilla, L. (2017). Retornos económicos de la investigación científica en quinua. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Recuperado el 6 de julio de 2022 de [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/1045/5/Quintanilla\\_2017\\_Quinua\\_Econom%c3%ada.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/1045/5/Quintanilla_2017_Quinua_Econom%c3%ada.pdf)
- Rivera, J. (2018). Raíces saludables significan larga vida productiva para cacao, café y otros perennes leñosos. Fundación hondureña de investigación agrícola. Recuperado el 16 de febrero de 2023 de [http://sicacao.info/wp-content/uploads/2019/08/Gu%C3%ADa-Ra%C3%ADces-Saludables.-Marzo-2018\\_.pdf](http://sicacao.info/wp-content/uploads/2019/08/Gu%C3%ADa-Ra%C3%ADces-Saludables.-Marzo-2018_.pdf)
- Rojas, W., Vargas, A., y Pinto, M. (2016). La diversidad genética de la quinua: Potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(2), 114-124.
- Sief, A., El-Deepah, H., Kamel, A., & Ibrahim, J. (2015). Effect of various inter and intra spaces on the yield and quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Plant Production*, 6(3), 371-383.
- Sosa, V., Brito, V., Fuentes, F., y Steinfort, U. (2017). Escala estandarizada de fenología para quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) basada en el sistema de codificación de la BBCH. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado el 19 de julio de 2022 de [file:///D:/Dell%20Datos/Downloads/Fenologaquinua\\_PUC%20\(7\).pdf](file:///D:/Dell%20Datos/Downloads/Fenologaquinua_PUC%20(7).pdf)
- Spehar, C., y Rocha, J. (2009). Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5, in the Brazilian Savannah Highlands. *Bioscience Journal*, 25(4), 53-58.

- Valles, G., Lugo, J., Rodríguez, Z., y Díaz, L. (2009). Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(2), 159-178.
- Viloria, A., Arteaga, L., y Rodríguez, H. (1998). Efecto de la distancia de siembra en las estructuras de la planta del pimentón. *Agronomía Tropical*, 48(4), 413-423.
- Zarate, J. (2010). Senescencia foliar, componentes del rendimiento y degradación nuclear en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Lupita y Tollocan [Tesis Maestro en Ciencias, Colegio de Posgraduados Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas] Repositorio institucional-Colegio de Posgraduados Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.

## 11. Anexos

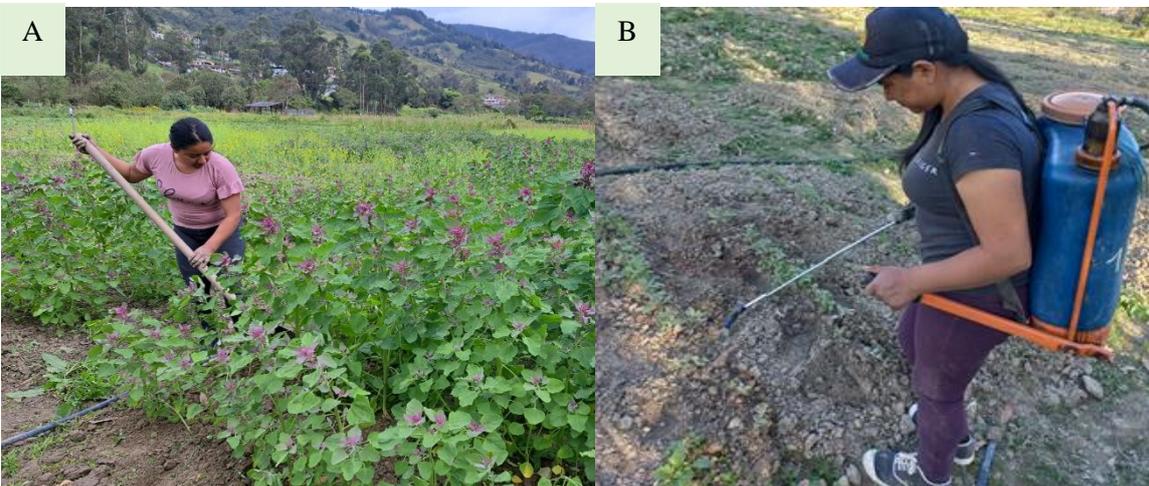
*Anexo 1. A) Paso del arado. B) Delimitación de las unidades experimentales.*



*Anexo 2. A) Siembra método chorro continuo. B) Siembra método trasplante.*



*Anexo 3. A) Control de plantas arvenses. B) Control de plagas y enfermedades.*



**Anexo 4.** A) Toma de datos de altura. B) Toma de datos del diámetro. C) Determinación del Contenido de clorofila.



**Anexo 5.** A) Recolección de las muestras de quinua. B) Determinación del área foliar. C) Pesaje de muestras.



Anexo 6. Análisis de suelo realizado en el año 2021

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

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

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

**DATOS DEL CLIENTE**

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

**DATOS DE LA MUESTRA:**

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

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

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

**Analizado por:** Katty Pastás, Pablo Atapuma

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

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

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

**Observaciones:**

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

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

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

FUENTE: INIAP. 2002



FORMADO A PARTIR DEL CÓDIGO QR  
**PABLO XAVIER ATAPUMA ACUNA**

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

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

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

*Anexo 7. Certificado de traducción del resumen*

Mgs. Mónica Jimbo Galarza

**C E R T I F I C O:**

Haber realizado la traducción de Español – Inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma titulado **“Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Tunkahuan mediante siembra directa y trasplante con diferentes densidades de siembra en la Estación experimental La Argelia.”** de autoría de Johana Mercedes Pucha Caraguay con CI: 1150410429.

Se autoriza a la interesada hacer uso de la misma para los trámites que crea conveniente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Emitida en Loja, a los 27 días del mes de noviembre 2023.



Mgs. Mónica Jimbo Galarza

**MAGÍSTER EN ENSEÑANZA DE INGLÉS COMO LENGUA EXTRANJERA**

**REGISTRO EN LA SENECYT N° 1021-2018-1999861**