



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Agronomía

### EFECTO DEL PACLOBUTRAZOL SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.), EN LAS CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ARGELIA, LOJA.

Trabajo de Integración Curricular  
previo a la obtención del título de  
Ingeniero Agrónomo

#### AUTOR:

Jimmy Armando Torres Jiménez

#### DIRECTOR:

Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 26 de agosto de 2022

Ing. Johnny Fernando Granja. Mg.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

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

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **EFFECTO DEL PACLOBUTRAZOL SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.), EN LAS CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ARGELIA, LOJA**, de la autoría de la estudiante **Jimmy Armando Torres Jiménez**, con cédula de identidad Nro. **1105605495**, 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:  
**JOHNNY FERNANDO  
GRANJA TRAVEZ**

Ing. Johnny Fernando Granja. Mg.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Jimmy Armando Torres Jiménez**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1105605495

**Fecha:** 02 de junio del 2023

**Correo electrónico:** [jimmy.torres@unl.edu.ec](mailto:jimmy.torres@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0967981518

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

Yo **Jimmy Armando Torres Jiménez**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **EFFECTO DEL PACLOBUTRAZOL SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.), EN LAS CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ARGELIA, LOJA**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrónomo** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

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

**Firma:**



**Autor:** Jimmy Armando Torres Jiménez

**Cédula:** 1105605495

**Dirección:** Avenida Reinaldo Espinoza y calle Pedro Vicente Maldonado, Cantón Loja – Loja

**Correo electrónico:** [jimmy.torres@unl.edu.ec](mailto:jimmy.torres@unl.edu.ec)

**Celular:** 0967981518

## **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Integración Curricular**

Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios y la Virgen del Cisne, por cada día prestado, fuerza, empeño y salud durante todo el transcurso no sólo del trabajo de investigación curricular si no por el tiempo de duración de la carrera y haber llegado a la etapa de culminación.

Dedico con todo el cariño a la señora María Tacuri, quien ha sido como una madre que me enseñado a trabajar que las cosas no vienen de gratis hay que caminar hacia ellas hasta conseguirlas con esfuerzo, disciplina y dedicación, gracias madrecita tú has sido la pieza fundamental y sin ti no lo hubiera logrado este logro es para ti yo solo fui el mendigo de pan y chocolate.

A mi padre Abel Torres, madre Natalia Jiménez y mis hermanos, familiares y amigos que son bastantes y no me alcanzaría las páginas para nombrarles y agradecerles por todo lo brindado gracias, que Dios les pague y les llene de bendiciones.

**Jimmy Armando Torres Jiménez**

## **Agradecimiento**

A la Universidad Nacional de Loja por permitirme preparar me en ella a todos los docentes de mi carrera por el conocimiento compartido, estoy eternamente agradecido por acompañarme en esta etapa de mi vida.

Agradezco al Mg. Sc. Johnny Granja por su paciencia y dedicación desde los primeros inicios de la elaboración de este proyecto, ha sido de suma importancia toda la ayuda que me ha brindado.

Un gran agradecimiento a la Dra. Marina Mazón quien tuvo comprensión, paciencia y liderazgo en el tiempo destinado para el presente trabajo agradezco los conocimientos compartidos que fueron de mucha ayuda

Agradezco a mis compañeros y amigos Elvis Sarango, Danny Puchaicela, Wilson Camacho y a todos que terminamos la carrera y a los que empezamos en primer ciclo quienes han sido un pilar en este camino el apoyo que he recibido de ellos es infinito gracias de todo corazón por esa ayuda desinteresada que los hace cada vez mejor.

**Jimmy Armando Torres Jiménez**

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de Anexos</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Origen del cultivo de quinua.....	6
4.2. Clasificación taxonómica y características morfológicas del cultivo de quinua.....	6
4.2.1. <i>Raíz</i> .....	7
4.2.2. <i>Tallo</i> .....	7
4.2.3. <i>Hojas</i> .....	7
4.2.4. <i>Inflorescencia</i> .....	8
4.2.5. <i>Flores</i> .....	8
4.2.6. <i>Fruto</i> .....	8
4.2.7. <i>Semillas</i> .....	9
4.3. Requerimientos edafoclimáticos para la quinua .....	9
4.4. Importancias nutricionales de la quinua.....	10
4.5. Variedad INIAP Tunkahuan .....	11
4.6. Fenología de la quinua .....	11
4.7. Paclobutrazol.....	13
4.7.1. <i>Crecimiento de radícula</i> .....	13
4.7.2. <i>Crecimiento del tallo</i> .....	13
4.7.3. <i>Crecimiento de los brotes</i> .....	14
4.7.4. <i>Crecimiento de las hojas</i> .....	14
4.7.5. <i>Mejora de las flores</i> .....	14
4.7.6. <i>Rendimiento del fruto</i> .....	14

4.7.7.	<i>Modo de acción</i> .....	14
4.7.8.	<i>Métodos de aplicación</i> .....	15
<b>5.</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>16</b>
5.1.	Ubicación geográfica del estudio .....	16
5.2.	Metodología General .....	16
5.2.1.	Tipo de Investigación.....	16
5.2.2.	Alcance de la investigación.....	16
5.3.	Manejo del cultivo .....	17
5.3.1.	<i>Preparación del terreno</i> .....	17
5.4.	Diseño experimental .....	17
5.4.1.	<i>Esquema de campo</i> .....	18
5.4.2.	<i>Modelo matemático</i> .....	18
5.4.4.1.	<i>Análisis estadístico</i> .....	20
<b>6.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>21</b>
<b>7.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>30</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>33</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>34</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>35</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>38</b>



## Índice de Figuras

- Figura 1.** Ubicación donde se desarrolló el proyecto de investigación. Fuente: Qgis, (2022); Google earth, (2022). ..... 16
- Figura 2.** Esquema experimental del diseño en campo. Cada color representa un tratamiento con sus 4 repeticiones, las aplicaciones de Paclobutrazol por tratamiento se indican en la Tabla 2. .... 18
- Figura 3.** Dinámica de crecimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en cada evaluación (desde el día 1 hasta el día 36 después de la aplicación del paclobutrazol). T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. .... 21
- Figura 4.** Incremento de la altura de la planta desde el día 1 hasta el día 36 después de la aplicación del paclobutrazol. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Barras verticales representan el error estándar. .... 22
- Figura 5.** Tasa de crecimiento absoluto de la altura de la planta de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan el error estándar. .... 23
- Figura 6.** Dinámica del proceso de crecimiento del diámetro del tallo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desde los 5 hasta los 33 días después de la aplicación de Paclobutrazol. .... 24
- Figura 7.** Incremento del diámetro del tallo en función a las dosis de paclobutrazol. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan el error estándar. .... 25
- Figura 8.** Incremento del diámetro del tallo en función de momento de aplicación. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan el error estándar. .... 25
- Figura 9.** Tasa de crecimiento absoluto (TCA) del diámetro del tallo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), bajo diferentes dosis de paclobutrazol en dos

etapas fenológicas del cultivo. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan error estándar. ....26

**Figura 10.** Biomasa fresca y seca de la parte aérea de la panta de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Bajo diferentes dosis de paclobutrazol en dos etapas fenológicas del cultivo. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Barras verticales representan error estándar. ....27

**Figura 11.** Biomasa fresca y seca de la raíz de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Bajo diferentes dosis de paclobutrazol en dos etapas fenológicas del cultivo. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Barras verticales representan el error estándar. ....28

**Figura 12.** Cuantificación del contenido de clorofila en las hojas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Bajo diferentes dosis de paclobutrazol en dos etapas fenológicas del cultivo. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Barras verticales representan el error estándar. ....28

**Figura 13.** Cobertura vegetal de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en función de momento de aplicación. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan error estándar. ....29

## Índice de Tablas

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la quinua. ....6

**Tabla 2.** Tratamientos aplicados en el cultivo de quinua en la quinta experimental la Argelia. ....18

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Preparación de parcelas y siembra. <b>A)</b> terreno de la quinta experimental docente “La Argelia”. <b>B)</b> finalización de las parcelas.	
<b>Anexo 2.</b> <b>A)</b> Siembra de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), variedad Tunkahuan. <b>B)</b> germinación total de la semilla. ....	38
<b>Anexo 3.</b> <b>A)</b> Regulador de crecimiento de plantas (Paclobutrazol a 250 g*L). <b>B)</b> Aplicación de PBZ por fumigación. ....	39
<b>Anexo 4.</b> <b>A)</b> Medición de altura de la planta de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). <b>B)</b> Diámetro del tallo de la planta de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). ....	39
<b>Anexo 5.</b> <b>A)</b> Medición de cobertura vegetal por medio de fotografía en las parcelas de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). <b>B)</b> Medición de clorofila con ESPAD en plantas de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). ....	40
<b>Anexo 6.</b> <b>A)</b> selección de plantas de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). para el laboratorio <b>B)</b> plantas de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). Seleccionadas. ....	40
<b>Anexo 7.</b> <b>A)</b> Medición de materia seca de la parte foliar de la quinua quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). <b>B)</b> Medición de materia seca de la parte radical de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). ....	41
<b>Anexo 8.</b> Etapa final del trabajo de integración curricular de aplicación de paclobutrazol en quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). ....	41
<b>Anexo 9.</b> Certificación traducción del Abstract. ....	43

## **1. Título**

**EFFECTO DEL PACLOBUTRAZOL SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.), EN LAS CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ARGELIA, LOJA.**

## 2. Resumen

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), es el cereal con mayor valor nutricional, con una cantidad considerable de proteína, originaria de la región andina de los países sudamericanos. Últimamente se ha visto una preferencia por su consumo por los nutrientes que requiere el cuerpo humano para un estado saludable. El cultivo del cereal se ha visto afectado por cambios climáticos en los últimos tiempos, las variaciones en la estacionalidad, precipitaciones, fuertes corrientes de aire que ocasionan el encamado en el cultivo. Es por esto que se buscan alternativas para obtener plantas más resistentes a este fenómeno, utilizando paclobutrazol, un triazol que inhibe el crecimiento vegetativo debido a que interfiere bloqueando la síntesis de giberelinas. La presente investigación evaluó el efecto del paclobutrazol sobre el crecimiento de la quinua, en las condiciones agroecológicas de la estación experimental La Argelia en la Universidad Nacional de Loja, se aplicaron dosis de 200, 400 y 600 ppm en dos estadios fenológicos del cultivo: inicio de brotes laterales (BBCH 20) y emergencia de la inflorescencia (BBCH 50), se evaluó la respuesta del cultivo durante la fase vegetativa, el paclobutrazol redujo el crecimiento en las dosis de 400 y 600 ppm en el estadio BBCH20, desde el día uno al 36 de evaluación T3: 21,63 cm y T4: 14,82 cm tuvieron menor crecimiento que el control que alcanzó 34,35 cm, el paclobutrazol también aumentó el contenido de clorofila en las hojas, siendo las dosificaciones 400 y 600 ppm las más elevadas, el paclobutrazol produjo plantas con menor tamaño, más robustas y con un color verde intenso en las hojas, a diferencia de las no tratadas.

**Palabras clave:** Paclobutrazol, regulador de crecimiento, escala BBCH, quinua.

## 2.1. Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), is the cereal with the highest nutritional value, with a considerable amount of protein, native to the Andean region of South American countries. Lately there has been a preference for its consumption due to the nutrients that the human body requires for a healthy state. Cereal cultivation has been affected by climatic changes in recent times, seasonal variations, rainfall, strong air currents that cause lodging in the crop. That is why alternatives are sought to obtain plants more resistant to this phenomenon, using paclobutrazol, a triazole that inhibits vegetative growth because it interferes by blocking the synthesis of gibberellins. The current research evaluated the effect of paclobutrazol on the growth of quinoa, in the agroecological conditions of the “La Argelia” experimental station at the “Universidad Nacional de Loja”, doses of 200, 400 and 600 ppm were applied in two phenological stages of the crop: beginning of lateral shoots (BBCH 20) and inflorescence emergence (BBCH 50), the response of the crop was evaluated during the vegetative phase, paclobutrazol reduced growth in the doses of 400 and 600 ppm in the BBCH20 stage, from day one to day 36 of evaluation T3: 21,63 cm and T4: 14,82 cm had lower growth than the control that reached 34,35 cm, paclobutrazol also increased the chlorophyll content in the leaves, with dosages of 400 and 600 ppm being the higher, paclobutrazol produced smaller, more robust plants and with an intense green color in the leaves, unlike the untreated ones.

**Key words:** Paclobutrazol, growth regulator, BBCH scale, quinoa.

### 3. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo cuyo origen proviene de la región Andina, conocida como la madre de todos los granos, nutricionalmente denso y con una cantidad considerable de proteína (Pereira et al., 2019). En la época precolombina estaba extendida desde Ecuador hasta el noreste de Argentina, y durante varios siglos fue alimento de subsistencia humana y animal, pero su consumo disminuyó con la llegada de los españoles, quienes establecieron nuevas costumbres. En cambio ahora por la preferencia de alimentos nutritivos y orgánicos para una buena alimentación, se regresa al cultivo de este grano (Gómez y Aguilar, 2016).

El rendimiento en los cereales se ha visto afectado por la crisis del cambio climático, como principal consecuencia el aumento de la temperatura y de las precipitaciones ocasionando efectos en cultivos como arroz y cereales (López, 2015). En Sudamérica la principal afectación del cambio climático es a la cuenca del Amazonas, que ocasiona variación en la estacionalidad de las precipitaciones que pueden afectar en el cultivo de la quinua (Sánchez & Olave, 2019).

En Ecuador el rendimiento de la quinua es bajo por varios factores, de acuerdo al INEC-ESPAC (2018) ese año se sembraron 2 215 ha de quinua y se obtuvo 1,05 t ha, una disminución 28 % inferior a lo reportado el año anterior debido a pérdidas por efecto de inundaciones. En el país, del total de producción Chimborazo e Imbabura aportan el 60 %, mientras que el 40 % restante se distribuye entre las provincias de Pichincha, Carchi y Cotopaxi. Las principales variedades cultivadas corresponden a Tunkahuan, Pata de venado y Chimborazo.

Las variedades que se siembran en la región interandina de nuestro país son de porte alto, y además suelen presentar una elevada plasticidad fenotípica, pudiendo llegar en un rango de 90 cm hasta superar los 200 cm de altura. Las plantas con un gran tamaño suelen tener dificultades como el acame o volteo de plantas, así como menor eficiencia en la partición de fotoasimilados, debido a que parte importante de los recursos de la planta no serán trasladados a los destinos (granos) (INEC-ESPAC, 2018).

La producción mundial de quinua ha incrementado en la última década despertando un gran interés tecnológico y comercial para proveer la soberanía alimentaria de la humanidad, debido a su alto contenido de proteína y un espectro equilibrado de aminoácidos esenciales como la lisina y la metionina (de suma importancia en la dieta humana para el desarrollo del cerebro), además carece de gluten siendo un alimento esencial para personas celíacas (personas alérgicas al gluten) (Vega et al., 2010).

Una de las tecnologías utilizadas para encontrar la solución al problema del acame es la utilización de reguladores de crecimiento. Existen varias evidencias de que cultivares de arroz con una menor altura mejoraron el rendimiento, esto se consiguió utilizando inhibidores de giberelinas, las cuales asignaron menos fotosintetizadores para el crecimiento vegetativo, asignando más fotosintetizados para el desarrollo de semillas en comparación con plántulas con mayor crecimiento que son tratadas con giberelinas (Bizuyehu y Getachew, 2021).

El Paclobutrazol es un triazol que actúa bloqueando la síntesis de giberelinas, aunque afecta también a otras hormonas por ejemplo reduce el nivel de ácido abscísico y ácido indolacético, y aumenta el de citoquininas. Además, actúa como fungicida sistémico altamente activo y se utiliza contra varias enfermedades fúngicas económicamente importantes. Se puede utilizar para mejorar la calidad de los cultivos, crecimiento y rendimiento obteniendo plantas con menor tamaño y robustas con un mayor anclaje evitando que se volteen por condiciones climatológicas. Al igual buscan examinar el papel que cumple el Paclobutrazol para mitigar los efectos nocivos de las tensiones ambientales en los cultivos (Kumari et al., 2018).

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis y momentos de Paclobutrazol sobre el crecimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en las condiciones agroecológicas de la Estación experimental La Argelia, Loja.

### **Objetivo específico**

- Evaluar el efecto de diferentes dosis de Paclobutrazol durante la fase vegetativa de la quinua.
- Evaluar el efecto del Paclobutrazol aplicado en dos fases fenológicas del cultivo de la quinua.



## 4. Marco teórico

### 4.1. Origen del cultivo de quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), es un grano andino, que es originario de la región en países como Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú, fue cultivada y utilizada por civilizaciones prehispánicas, aunque se estima que fue cultivada 3000 a 4000 años atrás para el consumo humano (Mujica *et al.*, 2013).

La quinua fue expandida desde América del Sur a varios países en los últimos tiempos. La mayor parte de la expansión se debe a base de prueba y error, (Bazile *et al.*, 2016; Gardner *et al.*, 2019), donde existen algunas pautas para las decisiones de selección de genotipos. Una se refiere a la variabilidad de la quinua organizándose en grupos genéticos bastante definidos sobre la base de los datos moleculares, que son reflejados en el rendimiento del cultivo expresando el genotipo x patrones ambientales, los estudios identificaron cuatro grupos genéticos, tres de ellos en los Andes y uno de Chile Central. Los otros tres grupos son originarios en los valles Interandinos desde Colombia hasta Perú a los alrededores del lago Titicaca en la frontera entre Perú y Bolivia, y el altiplano Sur desde el centro hasta el sur de Bolivia de acuerdo con su origen geográfico, la mayoría de los programas de mejoramiento y producción en ambientes templados se ha tomado como base la quinua chilena (Bertero, 2021).

### 4.2. Clasificación taxonómica y características morfológicas del cultivo de quinua

De acuerdo al Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS), el cultivo de quinua es clasificado taxonómicamente tal como se indica en 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.
Nombre común	Quinoa, Quinoa, Quínoa

Fuente: (ITIS, 2011)

La quinua es una especie anual, dicotiledónea, perteneciente a la familia Chenopodiaceae. Según las variedades tiene un periodo vegetativo de 4 a 9 meses y su altura va desde los 0,30 m hasta los 2,20 m. Su tallo puede o no ser ramificado, las hojas se transforman gradualmente en brácteas y las ramas laterales en inflorescencias terminales, en contraste con especies como el girasol o los cereales (Bertero, 2021).

#### **4.2.1. Raíz**

La raíz de la quinua es pivotante, se origina desde la radícula del embrión, consta de una raíz principal de la que salen las raíces laterales muy ramificadas, la longitud es variable que puede ir de 0,8 a 1,4 m, el desarrollo y crecimiento es dependiente por el genotipo, tipo de suelo, nutrición, y factores ambientales entre otros factores (FAO, 2016).

#### **4.2.2. Tallo**

El tallo cuando empieza en la unión con la raíz es cilíndrico y a medida que se acerca a las ramificaciones se vuelve anguloso, posee una corteza firme y compacta con membrana celulósicas, en el interior contiene una médula (UNALM, 2012), la médula es suave, cuando los tallos maduran la médula es esponjosa y seca y en la cosecha se cae y el tallo queda hueco. El color del tallo en la época de floración, puede ser verde, verde-amarillo, naranja, rosado, rojo y púrpura entre otros de acuerdo a las variedades. (FAO, 2016).

El diámetro puede ser desde 1 a 8 cm y la altura de la planta, desde la base del tallo al ápice de la inflorescencia, varía de 0,5 m a más de 3 m; depende de las características genéticas y ambientales. Generalmente las variedades de los ecotipos de valle son más altas que las del Altiplano (FAO, 2016).

#### **4.2.3. Hojas**

Las hojas del cultivo se diferencian por dos partes, el pecíolo y la lámina foliar. El pecíolo es largo y acanalado, la longitud va depender de donde se originan: los que salen del tallo son más largos a diferencia de los que salen de las ramas que son más cortos, (FAO, 2016). La coloración es variada desde verde al rojo, también suelen ser consumidas como hortalizas por su alto valor nutritivo (UNALM, 2012).

Las láminas de la planta o el follaje pueden ser triangulares o romboidales y las de la inflorescencia pueden ser triangulares o lanceoladas. Las hojas pueden tener márgenes enteros, dentados o aserrados. El número de dientes es variable, puede variar de 3 a 20. Las hojas y las partes tiernas de la planta están generalmente cubiertas con una pubescencia vesicular–granular blanca, rosada o púrpura. 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, influenciando el comportamiento de las células guardadoras de los estomas, por lo tanto en la transpiración. El color de la lámina predominantemente es verde, en algunas variedades pueden observarse hojas de color verde-púrpura. A la madurez las láminas se tornan amarillas, naranjas, rosadas, rojas o púrpuras (FAO, 2016).

#### **4.2.4. Inflorescencia**

Es una inflorescencia con una longitud de 15 a 70 cm denominada panoja, está formada por un eje central, ejes secundarios y terciarios que sostienen a los glomérulos (grupos de flores). Se puede evidenciar tres tipos de panojas, en la glomerulada los glomérulos nacen del eje secundario, en la amarantiforme los glomérulos nacen en los ejes terciarios, la panoja es laxa cuando los ejes son largos (UNALM, 2012).

#### **4.2.5. Flores**

Las flores son sésiles o pediceladas se encuentran agrupadas en glomérulos. La posición del glomérulo en la inflorescencia y la posición de las flores dentro del glomérulo, determinan el tamaño y el número de los granos o frutos. Es una planta ginomonoica (FAO, 2016), pueden alcanzar un diámetro de 3mm, se puede encontrar hasta tres tipos de flores; hermafroditas (pistilo y estambres) ubicadas en la parte superior del glomérulo, las pistiladas (femeninas) se encuentran en la parte inferior del glomérulo y androestériles (pistilo y estambres estériles) (UNALM, 2012).

Las flores hermafroditas son más grandes que las pistiladas, con un diámetro de 3 a 5 mm; tienen cinco tépalos, cinco anteras y un ovario súpero con dos o tres ramificaciones estigmáticas. Las flores pistiladas están formadas de cinco tépalos, un ovario súpero y dos o tres ramificaciones estigmáticas y tienen un diámetro de 2 a 3 mm. La proporción de flores hermafroditas y pistiladas es variable; el rango encontrado varía de 2 a 98%; esta proporción es importante si el cultivo se siembra en forma aislada, ya que influye en la cantidad de frutos formados (FAO, 2016).

#### **4.2.6. Fruto**

El fruto de la quinua es un aquenio de forma lenticular, elipsoidal, cónico o esferoidal, en forma de estrella, cubierto por el perigonio sepaloide o las envolturas florales que rodean el fruto (UNALM, 2012). El fruto está formado por pericarpio (capa del fruto) y la semilla. El pericarpio está adherido a la capa de las semillas y el nivel de adherencia es variable, tiene

alvéolos en su superficie y la saponina que le da el sabor amargo al grano. El diámetro del fruto puede ser de 1,5 a 3 mm (FAO, 2016).

#### 4.2.7. *Semillas*

En la semilla se encuentran tres partes bien definidas que son: epispermo, embrión y perisperma, es la capa que envuelve a la semilla y está adherida al pericarpio. El embrión se forma por dos cotiledones y la radícula y constituye, aproximadamente, el 30% del volumen total de la semilla y envuelve al perispermo como un anillo, con una curvatura de 320 grados. La radícula, muestra un color castaño oscuro. El perispermo es el tejido de almacenamiento, reemplazando al endospermo y se forma por granos de almidón con un color blanquecino y representa el 60% de la semilla (FAO, 2016).

### 4.3. Requerimientos edafoclimáticos para la quinua

**Altitud:** En Ecuador se encuentra cultivos de quinua dentro de un amplio rango altitudinal, con una altitud óptima de alrededor de los 2,400 a los 3,200 msnm (Bolívar, 2022; INIAP, 2022), también es cultivada en diferentes altitudes desde el nivel del mar hasta altitudes casi de 4,000 msnm, alargando y disminuyendo su periodo vegetativo por las condiciones atmosféricas la producción promedio es de 6000 kg/Ha.

**Temperatura:** La temperatura es fundamental en diferentes etapas del cultivo: por ejemplo, en la germinación se requiere un mínimo de -4 °C al igual en la floración ya que es causa de baja producción de polen en consecuencia esterilidad de la planta, en cambio en la etapa de ramificación la planta no se ve afectada en descensos de temperaturas hasta menores de 4 °C (UNALM, 2012). Se puede adaptar a diferentes tipos de climas desde el desértico, caluroso y seco hasta el frío y seco, pero prefiere los climas templados y fríos, ya que es donde alcanza sus mayores rendimientos, con una temperatura óptima entre los 8 a 15 °C (Bolívar, 2022; INIAP, 2022).

**Precipitación:** El cultivo durante el ciclo vegetativo requiere una precipitación media entre 400 a 1,000 mm (Bolívar, 2022), considerando una óptima de 500 a 800 mm (INIAP, 2022).

**Fotoperiodo:** La quinua también se da en zonas con fotoperiodos de rangos diferentes (días largos, días cortos), por la variabilidad genética de la planta (UNALM, 2012).

**Suelo:** La planta es resistente a la sequía y a la salinidad, se adapta mejor en los suelos Franco limoso o franco arenoso, profundos, con buen drenaje, moderadamente fértiles, que

cuenten con una buena presencia de materia orgánica y con un pH de 5,5 a 8.0 (Bolívar, 2022; INIAP, 2022; UNALM, 2012).

#### **4.4. Importancias nutricionales de la quinua**

El valor nutricional de la quinua le hace tener bondades peculiares, el contenido de proteína en quinua varía dependiendo de la variedad utilizada en un rango de 13,81 y 21,9%. Debido a su gran contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, provee todos los aminoácidos esenciales considerándose el único alimento del reino vegetal que los contiene, encontrándose cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la FAO. Además, el gran balance de los aminoácidos esenciales de la proteína de la quinua es superior a la de otros cereales tales como el trigo, cebada y soya, comparándose favorablemente con la proteína de la leche (FAO, 2011).

**Proteína:** Según Bo (1991) y Morón (1999), la calidad nutricional de un producto depende tanto de la calidad como de la cantidad de sus nutrientes en la quinua presenta en un rango de 11,6 a 14,96% de proteína, en un estudio realizado se observó que un grupo de 52 accesiones de quinua en el germoplasma el contenido de proteína fluctuó de 17,1 a 18,5%. (Rojas *et al.*, 2016).

**Grasa:** En el estudio de Rojas *et al.* (2016), el contenido de grasa en el germoplasma fluctuó de 2,05 a 10,88% con un promedio de 6,39%, teniendo un rango mayor a los contenidos de grasa de 1,8 a 9,3% que reporta Morón (1999), la quinua contiene ácidos grasos como el Omega 6 (ácido linoleico) en un 50.24% , el Omega 9 (ácido oleico) 26.04% entre otros, indicando que el contenido de grasa de la quinua tiene un alto valor nutritivo debido a su alto porcentaje de ácidos grasos no saturados, por lo que se espera que los valores encontrados en la quinua sean útiles para la obtención de aceites vegetales finos, con el objetivo de hacer uso culinarios y para el cosméticos, a su vez se encontró otros ácidos grasos en pequeña proporción, como el ácido esteárico y el eicosapentaenoico, esta composición de ácidos grasos es muy similar al aceite de germen de maíz (FAO, 2011).

**Carbohidratos:** El contenido de hidratos de carbono en la quinua está entre 58 y 68% de almidón y un 5% de azúcar, siendo una fuente óptima de energía (FAO, 2011). En un estudio realizado por Ponce y Valdez (2021), los contenidos de carbohidratos se presentaron en el rango de 64,19% a 78,37% con un promedio 70,81%. Dichos valores se encuentran dentro del rango reportado por Nowak *et al.* (2016) y Valdez *et al.* (2019) con valores entre 48,5% y 72,84%.

**Minerales:** en comparación con otros cereales como trigo, maíz, arroz, cebada, avena y centeno, la quinua supera con su alto contenido de calcio, magnesio y zinc. El promedio del contenido de Calcio es de 46 a 340 mg/100 g de materia seca. En cuanto al Hierro y Potasio supera dos veces el contenido del trigo y arroz, de Magnesio la quinua contiene 270 a 230 mg/100 g de materia seca (FAO, 2011).

**Vitaminas:** La quinua contiene valores significativos de vitaminas como tiamina (0,52 mg/100 g) niacina (1, 6 mg/100 g) y riboflavina (0,31 mg/100 g), también contiene vitamina E con un rango de 4,60 a 5,90 mg/100 de materia seca; B1 entre otros (FAO, 2011).

#### **4.5. Variedad INIAP Tunkahuan**

De acuerdo al INIAP (2013), en Ecuador existen variedades mejoradas de quinua que se encuentran vigentes, entre ellas está la variedad INIAP Tunkahuan. INIAP Tunkahuan en 1985, se colecta en la provincia del Carchi y para el 1992 fue liberada como variedad, posee bajo contenido de saponina debido a lo cual se la considera dulce, la duración de su ciclo vegetativo es de 150 a 210 días considerándola semiprecoz, se adapta bastante bien a localidades que se encuentran en la sierra ecuatoriana entre 2 200 a 3 200 msnm.

#### **4.6. Fenología de la quinua**

Se describen las etapas de crecimiento fenológicas con una escala estandarizada para la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), basada en el sistema de codificación de la BBCH descrita por Sosa *et al.*, (2017).

##### **Estado fenológico principal 0: Germinación**

El estadio de crecimiento principal 0 describe la germinación de las semillas hasta que los cotiledones emergen de la superficie del suelo. En esta etapa se incluyen etapas secundarias como el inicio de la imbibición de la semilla (estadio 01), la imbibición de la semilla completada (estadio 03) y la emergencia de la radícula de la semilla (estadio 05). La germinación es epigráfica, seguida de la aparición del hipocótilo (estadio 07) y del hipocótilo con los cotiledones que crecen hasta la superficie (estadio 08). La etapa de germinación termina con la aparición de los cotiledones a través de la superficie del suelo (estadio 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 – Tallos secundarios**

El estadio de crecimiento principal 2 describe la formación de los brotes laterales. En la quinua, la aparición de brotes laterales puede comenzar antes o después de la emergencia de la inflorescencia, dependiendo del genotipo. Un brote lateral se considera visible cuando muestra 1 cm o más de longitud. El primer brote lateral se codifica como estadio 21, seguido del segundo brote lateral codificado como estadio 22 y así sucesivamente.

### **Fase fenológica principal 3: Elongación del tallo, tallo principal (omitida)**

### **Fase fenológica principal 4: Desarrollo de órganos de consumo (omitida)**

### **Fase fenológica principal 5: Emergencia de la inflorescencia**

Esta fase comienza con la subetapa de inflorescencias envueltas 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. La inflorescencia de CH cambió a color púrpura después de que las hojas que la rodean se expandieran.

### **Fase fenológica principal 6: Floración, tallo principal**

Esta fase empieza con la subetapa de comienzo de floración, en la cual ocurre la aparición de las primeras anteras (60) en las flores de la inflorescencia del tallo principal y termina con la subetapa de término 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, tallo principal**

Esta fase empieza con el asentamiento de los granos, caracterizado por un abultamiento del ovario y la aparición de los primeros granos visibles.

### **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 esta razón, se optó por la clasificación de grano lechoso (81), grano pastoso (85) y grano maduro (89). Los granos

lechosos se caracterizan por ser fáciles de romper, poseer un contenido líquido y ser de color verde. Los granos pastosos son fáciles de romper, tienen un contenido similar a una pasta blanca y densa, y su color puede variar de verde a beige. Finalmente, los granos maduros son muy difíciles o imposibles de romper con la uña, su contenido es seco y son de color beige. Cuando el grano se encuentra en esta fase está listo para ser cosechado.

### **Fase fenológica principal 9: Senescencia**

Esta fase comienza con la subetapa de senescencia de las hojas basales (91), continúa con la subetapa de senescencia de las hojas de la primera mitad del tallo (93) y culmina con la subetapa de producto cosechado (99). Las subetapas de esta fase ocurren en forma simultánea con la fase 8.

## **4.7. Paclobutrazol**

Bonzi, Clipper, Cultar y Perejil, son algunos de los nombres comerciales del paclobutrazol ((2R, 3R + 2S, 3S)-1-(4-cloro-fenil) 4,4-dimetil-2-(1,2,4-triazol-1-il)-pentano-3-ol) que se ha desarrollado como reguladores del crecimiento de las plantas, perteneciente a los compuestos de triazol que se caracteriza químicamente por una estructura de anillo que contiene tres átomos de nitrógeno, cloro fenilo y cadenas laterales de carbono (Fletcher *et al.*, 1986).

Según Gopi *et al.*, (2009), las actividades reguladoras del crecimiento de las plantas no se comprenden bien, parece estar relacionada con la disposición estereoquímica de los sustituyentes en la cadena de carbono. Hay indicios de que los enantiómeros que tienen configuración S en el carbono quiral que lleva el grupo hidroxilo son inhibidores de la biosíntesis de GA.

### **4.7.1. Crecimiento de radícula**

Según Kamran *et al.*, (2018), en su estudio obtuvieron que la aplicación de paclobutrazol tenía un efecto significativo en el crecimiento de la raíz en el cultivo de maíz, las plantas tratadas con paclobutrazol tienen significativamente una mayor actividad de TTC radicular y en el diámetro de la raíz durante las sucesivas etapas de crecimiento, en comparación con las plantas de control no tratadas.

### **4.7.2. Crecimiento del tallo**

La supresión de la altura de la planta por Paclobutrazol (PBZ), ocurre porque el compuesto bloquea tres pasos separados en la vía terpenoide para la producción de giberelinas (GA). GA mejora el alargamiento del entrenudo de los tallos intactos. La GA promueve la



división celular al estimular las células en el G1 fase para entrar en la fase S y acortando la duración de la fase S. Concluyeron que el aumento del número de células conduce a un crecimiento más rápido del tallo. Pero el tratamiento de plantas con PBZ resultó en tallos con el mismo número de hojas y entrenudos comprimidos en una longitud más corta (Taiz y Zeiger, 2006).

#### **4.7.3. Crecimiento de los brotes**

En un estudio se ha identificado que los tratamientos tratados con triazoles normalmente disminuyen la longitud del brote y aumentan el grosor del tallo de la planta joven, así como la formación acelerada de raíces. En el trigo los tratamientos con triazol tienen un efecto en reducción de la altura, especies tratadas con Paclobutrazol muestran reducción en el crecimiento de los brotes, esta podría atribuirse principalmente a la reducción de la longitud del entrenudo (Hajihashemi *et al.*, 2007).

#### **4.7.4. Crecimiento de las hojas**

El grupo de los triazoles redujeron significativamente el área de la hoja y la reducción podría deberse a la reducción en el tamaño de la hoja. En un estudio por Gomathinayagam *et al.*, (2007), se observó que los tratamientos con triazol redujeron el área foliar en *Manihot esculenta*.

#### **4.7.5. Mejora de las flores**

PBZ es eficaz no solo en la inducción de flores, sino también en la inducción de flores tempranas y fuera de temporada en mango. PBZ, reduce el nivel de promotor vegetativo y, por lo tanto, aumenta la relación promotora florígeno, promotor vegetativo que estimula los brotes de floración en brotes débilmente inductivos de cultivos frutales (Adil *et al.*, 2011).

#### **4.7.6. Rendimiento del fruto**

La aplicación foliar de PBZ (200 ppm) fue efectiva para aumentar el rendimiento y minimizar la caída de la fruta y el agrietamiento de la fruta en ber. La efectividad de PBZ dependía de la etapa de desarrollo, ya que la aplicación de PBZ en el estallido de brotes y 2 semanas antes de la antesis de la uva aumentó significativamente el rendimiento (Singh y effect, 2000).

#### **4.7.7. Modo de acción**

PBZ se utiliza principalmente como retardante del crecimiento y protector del estrés, en un estudio realizado por Sumit *et al.*, (2012), informó que la aplicación de PBZ disminuyó significativamente la altura de la planta de *Camelina sativa* en comparación con el control y el efecto de enano inducido y con la mayor concentración de PBZ en la que se obtuvo la máxima

reducción (disminución del 47,5%), el retraso del crecimiento se debe a la interferencia del paclobutrazol con la biosíntesis de giberelinas al inhibir la oxidación de ent-kaurene a ácido ent-kauroico a través de la inactivación de la oxigenasa dependiente del citocromo P450. (Rady y Gaballah, 2012).

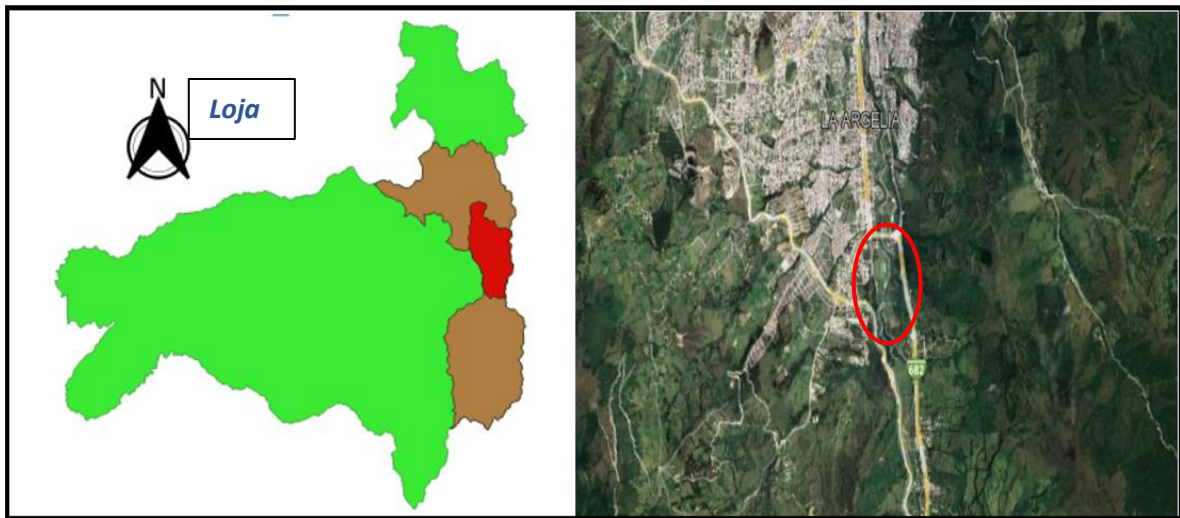
#### **4.7.8. Métodos de aplicación**

Para la aplicación de PBZ, existen dos más utilizados son los aerosoles foliares y el empapamiento de medios. PBZ muestra buenos resultados para ambos métodos, sin embargo, los empapamientos actúan por más tiempo y proporcionan un control uniforme de la altura de la planta con dosis más bajas. Cuando PBZ se aplica por pulverización foliar, el compuesto es poco soluble en agua y, en consecuencia, poco translocado en el floema. Por lo tanto, cuando se aplica por pulverización al dosel de la planta, su acción se restringe al área de contacto húmedo, en cambio el empapamiento es uniforme y aumenta la eficiencia del producto en concentraciones más bajas en comparación con la pulverización foliar (Bizuyehu y Getachew, 2021).

## 5. Metodología

### 5.1. Ubicación geográfica del estudio

El presente estudio se desarrolló en La Quinta Experimental Docente La Argelia (QEDA) de la Universidad Nacional de Loja (Figura 1). Geográficamente se localiza a  $4^{\circ}02'19,2''\text{S}$   $79^{\circ}12'00,6''\text{W}$ , esta zona se encuentra a una altitud de 2150 msnm, con una temperatura promedio de  $18^{\circ}\text{C}$ . la precipitación promedio anual es de 1058 mm y con un suelo franco limoso con un pH de 5 a 6.



**Figura 1.** Ubicación donde se desarrolló el proyecto de investigación. Fuente: Qgis, (2022); Google earth, (2022).

### 5.2. Metodología General

#### 5.2.1. Tipo de Investigación

Se realizó una investigación de tipo experimental cuantitativa donde se podrá determinar la respuesta de la quinua variedad INIAP Tunkahuan, a la aplicación de diferentes dosis de Paclobutrazol.

#### 5.2.2. Alcance de la investigación

El presente estudio tendrá un alcance de investigación descriptivo y explicativo, siendo el propósito evaluar el efecto de tres dosis de Paclobutrazol en dos momentos del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), bajo las condiciones de La Argelia, Loja.

### **5.3. Manejo del cultivo**

#### **5.3.1. Preparación del terreno**

Se llevó a cabo una preparación convencional, mecanizada con el paso del arado y la rastra, luego de esto se aplicó un herbicida preemergente (Glyphocor), para proceder a realizar las parcelas con ayuda de una piola, estacas y cinta métrica. (Anexo 1, figura 1A).

Esta actividad tiene una importancia fundamental para que exista un ordenamiento en el establecimiento del ensayo, se realizó con la ayuda de una cinta métrica y piola formando parcelas de 2,5 m al cuadrado y los caminos de 0,5 m, con un total de 32 parcelas. (Anexo 1, figura 1B)

La siembra se realizó a chorro continuo en hileras a 0,5 m de distancia entre hileras con un total de 5 hileras por parcelas dejando a los bordes 25 cm, una vez germinadas las plántulas (Anexo 1, figura 2A y 2B), se realizó un respectivo raleo dejando 1 planta cada 10 cm. La fertilización se realizó de acuerdo al previo análisis de suelo que se llevó a cabo en el lugar de estudio. Por la constancia de las lluvias, pocas veces se tuvo que regar las parcelas, y cuando fue necesario se realizó de manera manual. El control de maleza se realizó de manera manual para mantener las parcelas limpias y que no hubiera una competencia con el cultivo.

En el ensayo se realizaron dos controles fitosanitarios para *Diabrotica* con insecticida convencional Jamet, cuando la incidencia del insecto superó el 20% en el cultivo, después de 6 días de la primera aplicación se realizó la segunda.

### **5.4. Diseño experimental**

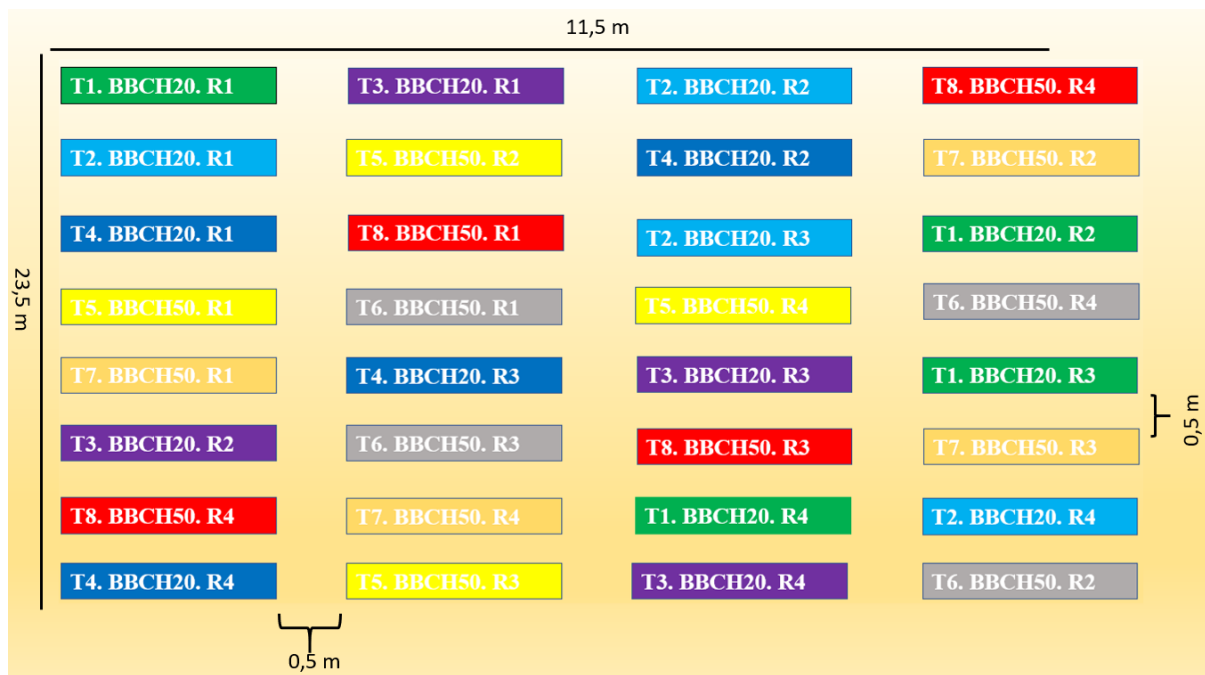
El presente ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo bifactorial (Factor A, momentos de aplicación: Inicio de brotes laterales (BBCH20) y emergencia de la inflorescencia (BBCH50) y Factor B, dosis de Paclobutrazol: 0; 200; 400 y 600, ppm), la variedad que se usó fue Tunkahuan, se utilizaron 8 tratamientos con 4 repeticiones, con un total de 32 unidades experimentales, con una dimensión por unidad experimental (UE) de 2,5 x 2,5 m se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Tratamientos aplicados en el cultivo de quinua en la quinta experimental La Argelia.

<i>Tratamiento</i>	<i>Momento de aplicación</i>	<i>Paclobutrazol (ppm)</i>
T1	BBCH20	0
T2	BBCH20	200
T3	BBCH20	400
T4	BBCH20	600
T5	BBCH50	0
T6	BBCH50	200
T7	BBCH50	400
T8	BBCH50	600

**5.4.1. Esquema de campo**

El esquema de campo se realizó como se indica en la Figura 2.



**Figura 2.** Esquema experimental del diseño en campo. Cada color representa un tratamiento con sus 4 repeticiones, las aplicaciones de Paclobutrazol por tratamiento se indican en la Tabla 2.

**5.4.2. Modelo matemático**

Considerando que se usó un DCA con arreglo bifactorial, se resalta el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha * \beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = respuesta de las  $k$  repeticiones en los  $i$  niveles del factor momento de aplicación y  $j$  nivel del factor dosis de Paclobutrazol.

$\mu$  = media general de las observaciones

$\alpha_i$  = efecto de los  $i$ -ésimo niveles del factor momento de aplicación

$\beta_j$  = efecto de los  $j$ -ésimo niveles del factor dosis de Paclobutrazol.

$(\alpha * \beta)_{ij}$  = efecto de la interacción entre el nivel  $i$  de momento de aplicación con el nivel  $j$  de dosis de Paclobutrazol

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

#### **5.4.3. *Evaluar el efecto de diferentes dosis de Paclobutrazol durante la fase vegetativa de la quinua***

**Aplicación del Paclobutrazol:** Una vez establecido el cultivo en campo, el Paclobutrazol se aplicó mediante aspersión foliar en las diferentes dosis en una sola aplicación en cada estado fenológico BBCH20 y BBCH50 (Anexo 1, figura 3B). Para la consecución del primer objetivo se evaluaron las siguientes variables:

##### **5.4.3.1. *Altura de la planta***

Se etiquetó tres plantas de las hileras centrales en cada unidad experimental (UE), y se registró esta variable, utilizando una cinta métrica, midiendo desde el cuello de la planta hasta el ápice de la misma (cm). Las lecturas se efectuaron cada semana, posterior a la aplicación de los tratamientos. De esta variable se procedió a sacar dinámica de crecimiento, incremento del crecimiento y tasa de crecimiento absoluta (TCA) (Anexo 1, figura 4A).

##### **5.4.3.2. *Diámetro de tallo***

Se midieron tres plantas tomadas al azar, utilizando un calibrador Vernier, a 5 cm del nivel del suelo. Las lecturas se efectuaron cada semana desde la aplicación de los tratamientos. Al igual de la variable altura de la planta se procedió hacer dinámica de crecimiento incremento del crecimiento y tasa de crecimiento absoluta (TCA) (Anexo 1, figura 4B).

##### **5.4.3.3. *Biomasa de la planta***

Se realizaron muestreos destructivos, cortando 2 plantas por cada UE, se lo hizo al final del ensayo, las plantas fueron secadas en estufa a 70 °C durante 48 h y posterior a ellos se pesó con la ayuda de una balanza granataria, la unidad que se utilizó fue en gramos (g) (Anexo 1, figura 7A).

#### **5.4.3.4. Biomasa radical**

Esta variable se evaluó al final del experimento tomando 5 plantas de quinua por unidad experimental, lo cual se realizaron muestreos destructivos cortando las plantas desde la base de la raíz. Las muestras fueron secadas en estufa a 70 °C durante 48 h y posterior a ellos se pesó con la ayuda de una balanza granataria representando en gramos (g) (Anexo 1, figura 7B).

#### **5.4.3.5. Cobertura vegetal**

Cada 15 días se estimó el porcentaje (%) de cobertura del área foliar del cultivo mediante fotografías usando un teléfono inteligente con la aplicación Canopeo, como lo informa Patrignani et al. (2015) (Anexo 1, figura 5A).

#### **5.4.3.6. Cuantificación de clorofila**

Para la cuantificación de la clorofila fue realizada mediante el dispositivo SPAD, donde se etiquetó una planta por unidad experimental que siempre será evaluada la misma y se tomó los datos de tres hojas a las cuales se les sacó un promedio y ese valor se lo tomó como referencia, esto se realizó en cada unidad experimental tomando los datos cada dos semanas al medio día (Anexo 1, figura 5B).

### **5.4.4. Evaluar el efecto del Paclobutrazol aplicados en las etapas fenológicas principal 2 Formación de ramas laterales y la etapa 5 Emergencia de la inflorescencia del cultivo de la quinua**

#### **5.4.4.1. Análisis estadístico**

Los datos que se obtuvieron en el ensayo se tabularon en el software Excel, luego posteriormente se realizó el análisis estadístico mediante el programa Infostat versión libre. Donde se someterán a análisis de varianza (ANOVA), con la comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad y prueba de tukey.

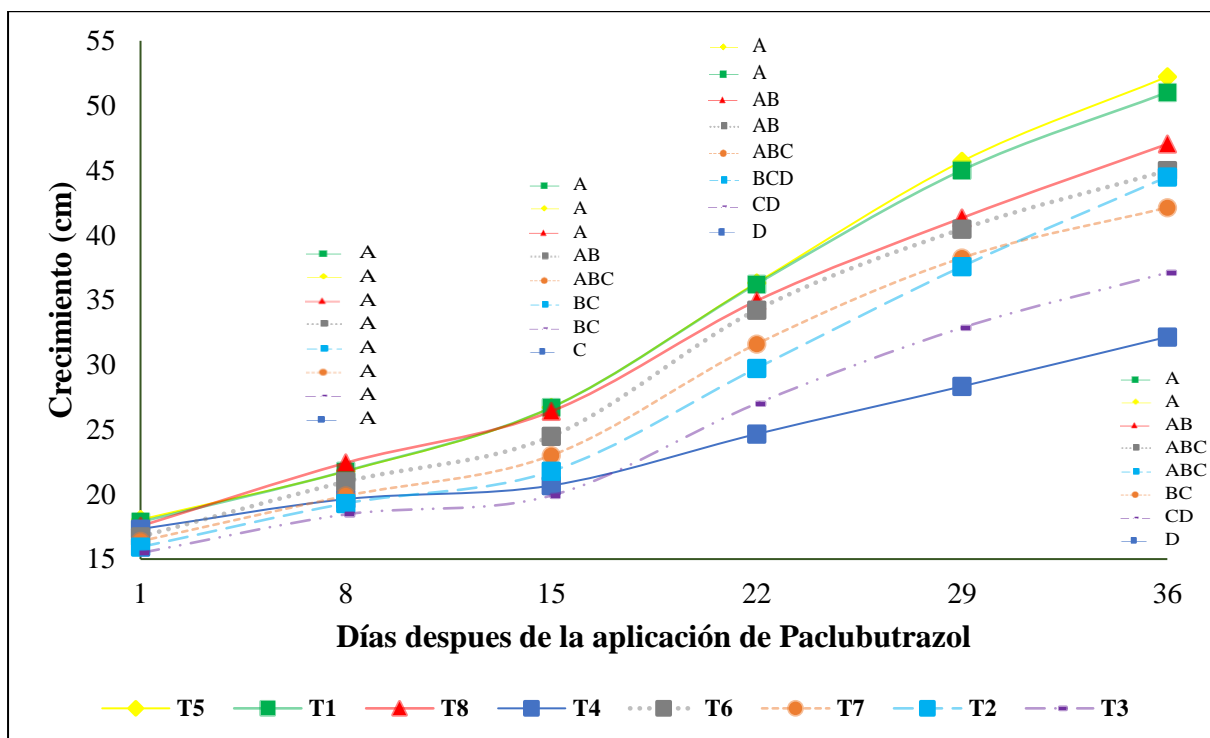
## 6. Resultados

### 6.1. Altura de la Planta de quinua

#### Dinámica de crecimiento en la altura de la planta

Las mediciones de la altura de la planta se iniciaron desde el segundo día de la aplicación del Paclobutrazol, hasta el día 36, el tratamiento que alcanzó mayor altura en la última medición fue el T1: BBCH20: 0 ppm, que corresponde al control, incrementó su altura significativamente a diferencia del resto de tratamientos presentados en la figura 3.

Al realizar el análisis estadístico se encontró diferencias significativas para la interacción entre los factores momentos de aplicación por dosis de paclobutrazol en tres fechas (Anexo 1.). En la figura 3 se observa tales diferencias, para el día 15 el T3 presentó una media inferior en crecimiento siendo estadísticamente significativo a los T6, T8, T5 y T1. Para el 29 y 36 el T4 fue estadísticamente inferior a los demás tratamientos a excepción de T3.

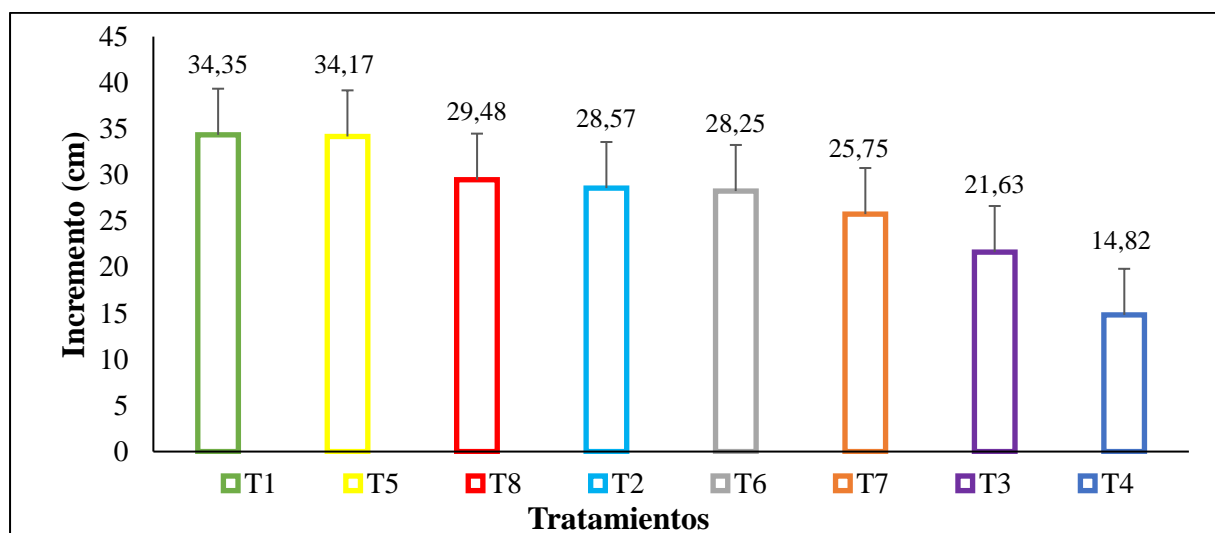


**Figura 3.** Dinámica de crecimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en cada evaluación (desde el día 1 hasta el día 36 después de la aplicación del paclobutrazol). T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan el error estándar.



### Incremento del crecimiento de la planta

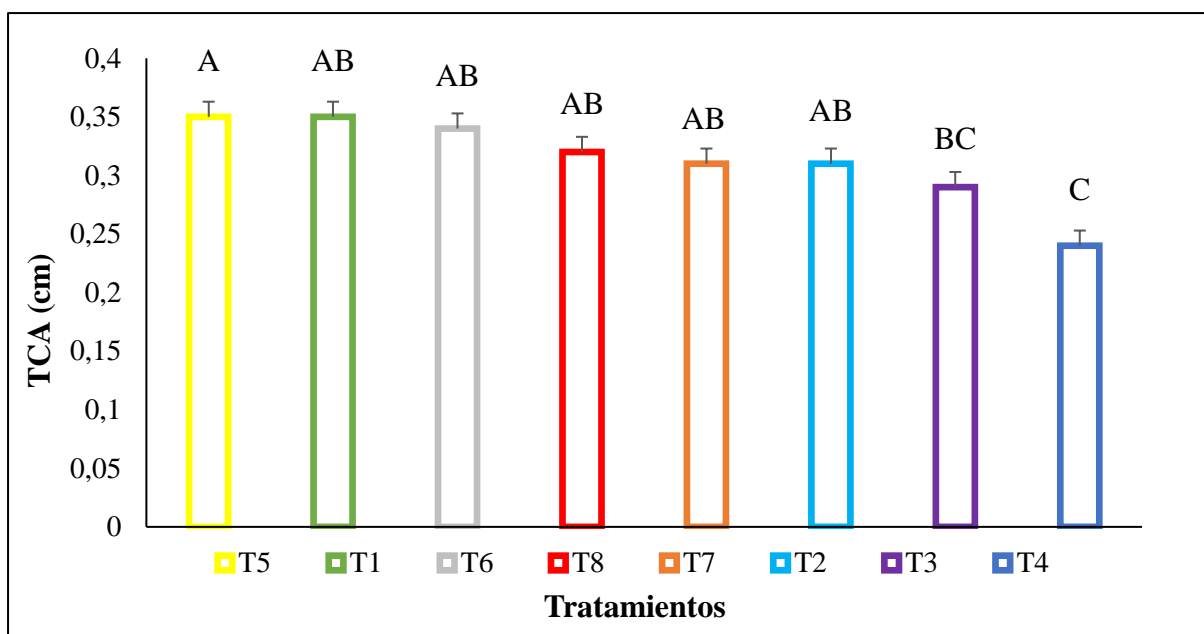
En el incremento del crecimiento del tallo de la planta no presentó una diferencia estadísticamente significativa, pero se obtuvo un menor incremento de la altura en el tratamiento T4 y T3 (14.82 y 21.63 cm, respectivamente) presentando medias inferiores en comparación con los demás tratamientos.



**Figura 4.** Incremento de la altura de la planta desde el día 1 hasta el día 36 después de la aplicación del paclobutrazol. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Barras verticales representan el error estándar.

### Tasa de crecimiento absoluta de la altura de la planta

Los valores de la tasa de crecimiento Absoluto (TCA) de la altura de la planta evaluada desde el día 1 al 36 después de la aplicación de paclobutrazol, presentó diferencias estadísticas significativas donde el tratamiento T4 es diferente a los demás tratamientos a excepción del tratamiento T3.

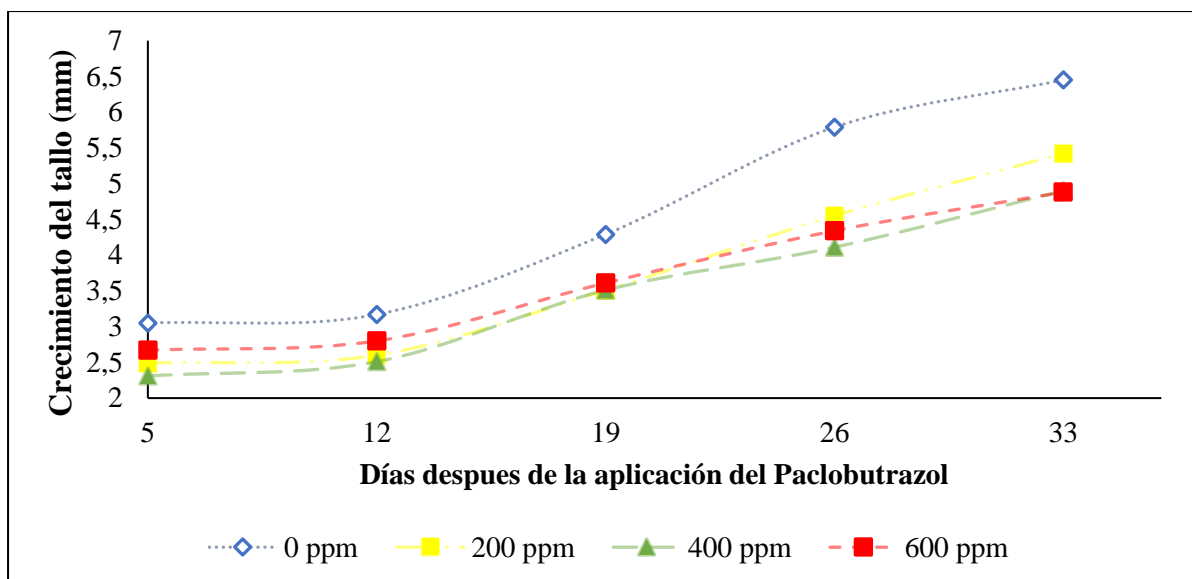


**Figura 5.** Tasa de crecimiento absoluto de la altura de la planta de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*). T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan el error estándar.

## 6.2. Diámetro del tallo

### Dinámica de crecimiento del tallo de la planta

Al efectuar el análisis estadístico no se presentó diferencia significativa para la interacción entre los factores momentos de aplicación x dosis de paclobutrazol. Sin embargo, el crecimiento del tallo mostró diferencia significativa con Dosis de paclobutrazol de manera independiente. En la figura 5 se observa el crecimiento del tallo en cada evaluación desde el día 5 hasta el día 33 después de la aplicación del paclobutrazol, la dosis 0 ppm mantuvo una diferencia significativa superior al resto de tratamientos, dicha diferencia se hizo presente desde el día 5 hasta el día 36.

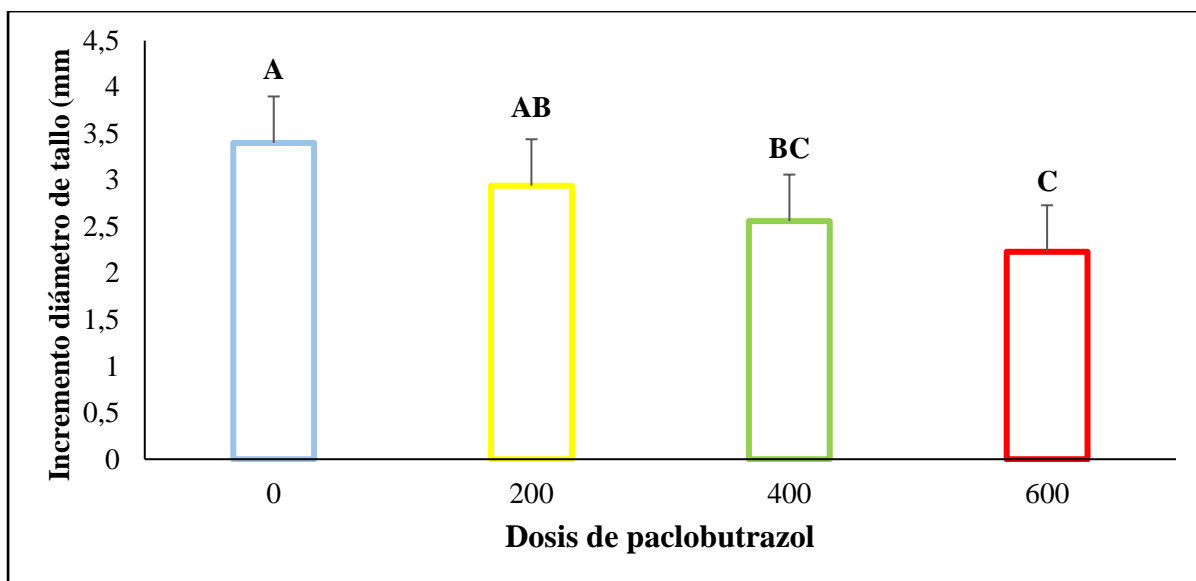


**Figura 6.** Dinámica del proceso de crecimiento del diámetro del tallo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desde los 5 hasta los 33 días después de la aplicación de Paclobutrazol.

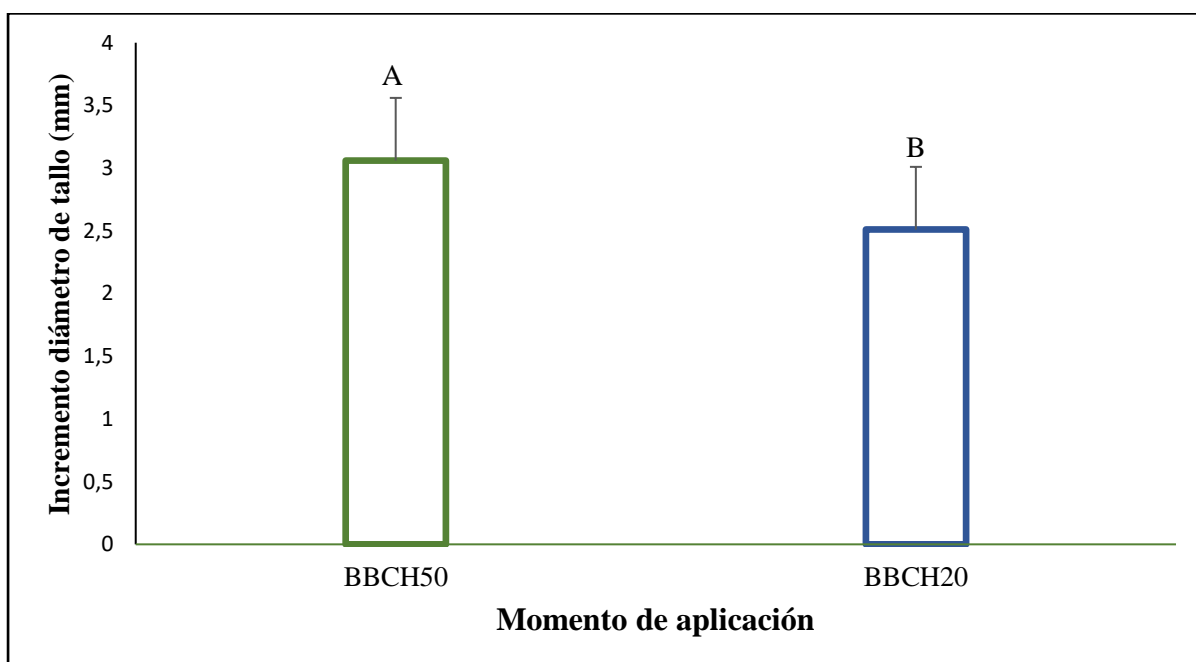
### Incremento del diámetro del tallo

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: momento de aplicación y dosis de paclobutrazol. El incremento del diámetro del tallo respondió significativamente al momento de aplicación y dosis de aplicación de manera independiente. En la Figura 7 se evidencia el incremento del diámetro del tallo con relación a las dosis aplicadas, presentando diferencias significativas para la dosis de 600 ppm siendo diferentes a 200 ppm y 0 ppm presentando un menor incremento en el tallo de la planta.

En cuanto al momento de aplicación también mostró una diferencia estadística muy significativa donde en el estado fenológico BBCH20 presentó un menor incremento del diámetro del tallo en relación con el estado BBCH50 fue mayor (Figura 8).



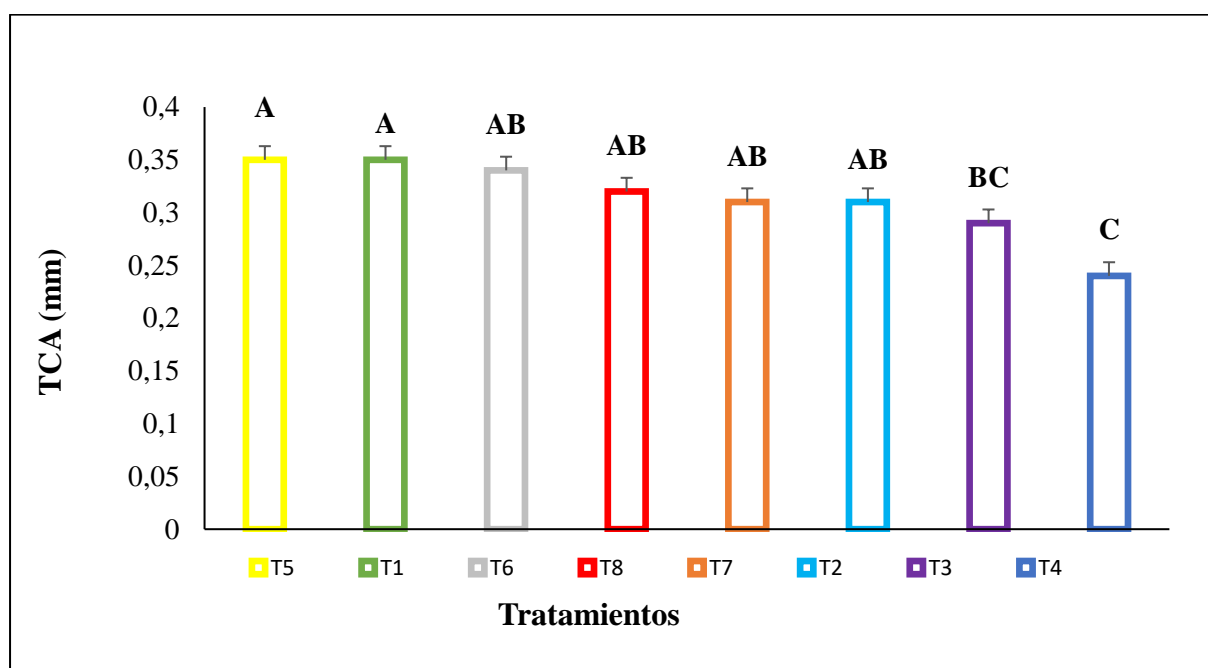
**Figura 7.** Incremento del diámetro del tallo en función a las dosis de paclobutrazol. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan el error estándar.



**Figura 8.** Incremento del diámetro del tallo en función de momento de aplicación. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan el error estándar.

### Tasa de crecimiento del diámetro del tallo

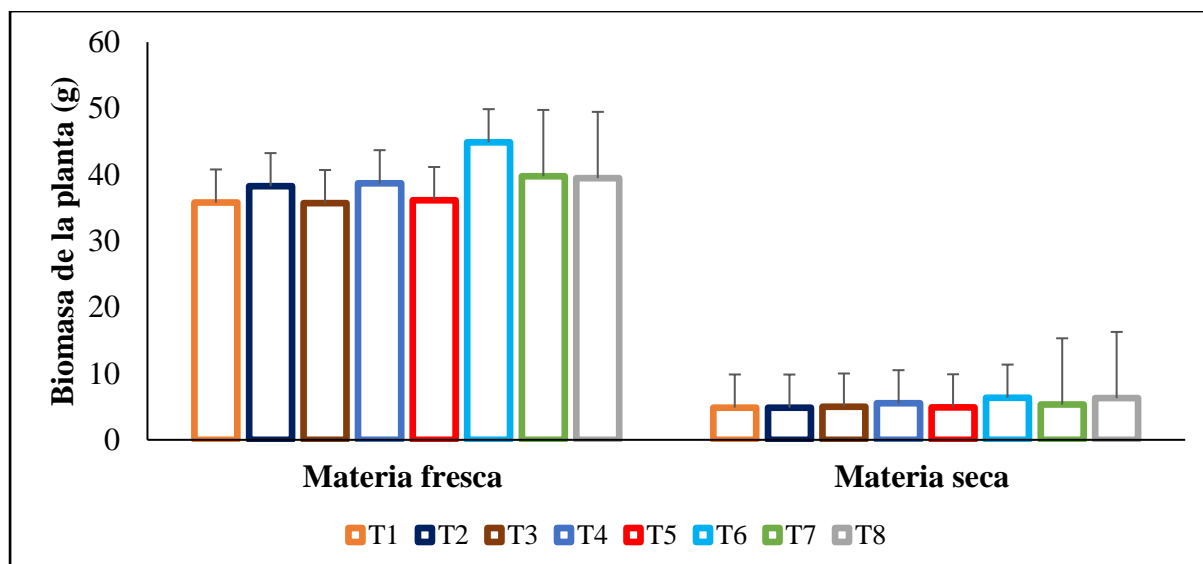
Previo al análisis estadístico de la TCA del diámetro del tallo si hubo una interacción entre Momentos de aplicación x Dosis de Paclobutrazol (ppm), mostrando una diferencia estadísticamente significativa, T4 con menor TCA, fue diferente que los demás tratamientos en excepción del T3.



**Figura 9.** Tasa de crecimiento absoluto (TCA) del diámetro del tallo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), bajo diferentes dosis de paclobutrazol en dos etapas fenológicas del cultivo. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan error estándar.

### Biomasa de la planta

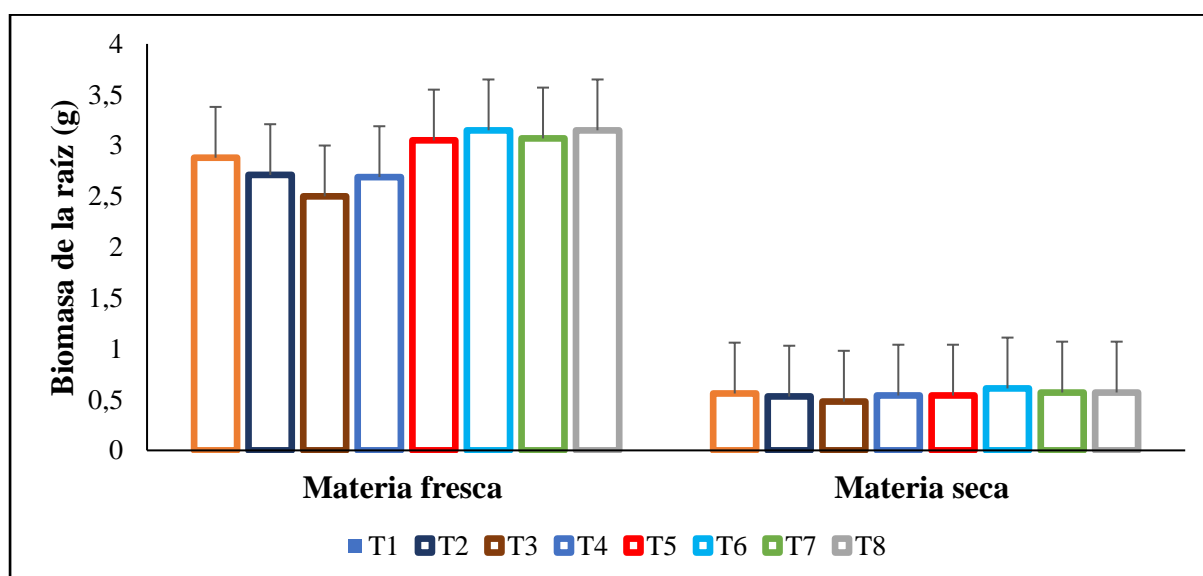
En el contenido de biomasa de la planta no presentó una diferencia estadística significativa para ningún factor momentos de aplicación y Dosis de Paclobutrazol, el T6: BBCH50: 200 ppm y T2: BBCH20: 200 ppm con medias de 6,35; 4,85 presentaron la mayor y menor medida de biomasa seca.



**Figura 10.** Biomasa fresca y seca de la parte aérea de la planta de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Bajo diferentes dosis de paclobutrazol en dos etapas fenológicas del cultivo. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Barras verticales representan error estándar.

### Biomasa de la raíz

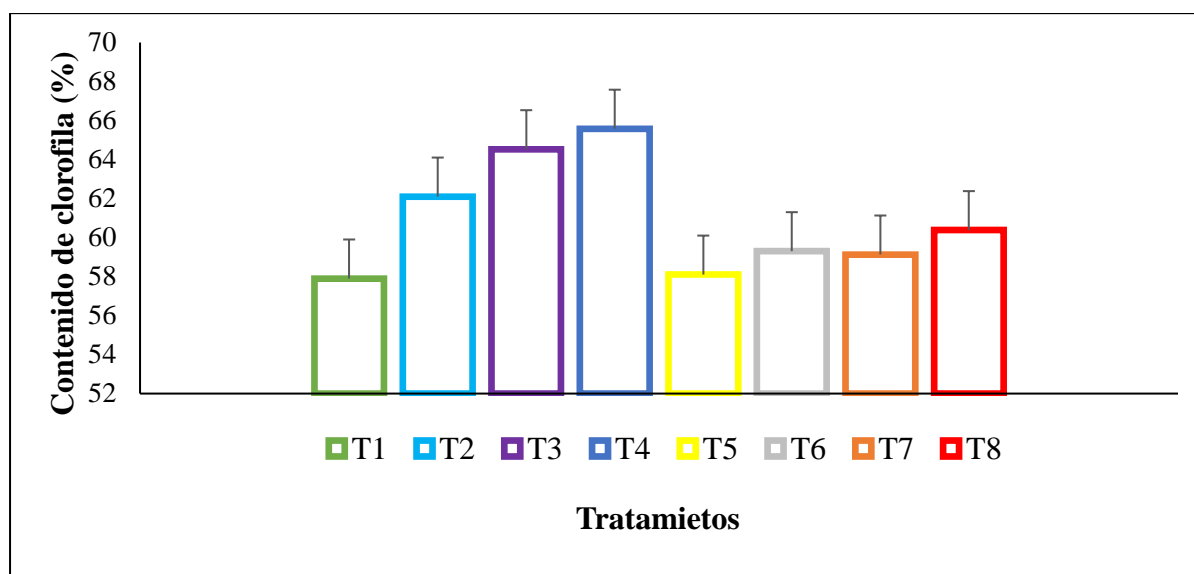
De igual manera que la variable anterior no presentó diferencia estadística significativa para ningún factor momentos de aplicación y Dosis de Paclobutrazol en la biomasa de la raíz T6: BBCH50: 200 ppm y T2: BBCH20: 400 ppm con medias de 0,61 y 0,48 fueron las medias con mayor y menor peso de biomasa seca en la raíz.



**Figura 11.** Biomasa fresca y seca de la raíz de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Bajo diferentes dosis de paclobutrazol en dos etapas fenológicas del cultivo. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Barras verticales representan el error estándar.

### Cuantificación de clorofila

En el contenido de clorofila en las hojas de la quinua no presentó una diferencia estadísticamente significativa para ningún factor momentos de aplicación y Dosis de Paclobutrazol. T1: BBCH20: 0 ppm y T4: BBCH20: 600 ppm con medias 57,9; 65,58 presentaron la menor y mayor cantidad de clorofila en las hojas de quinua.

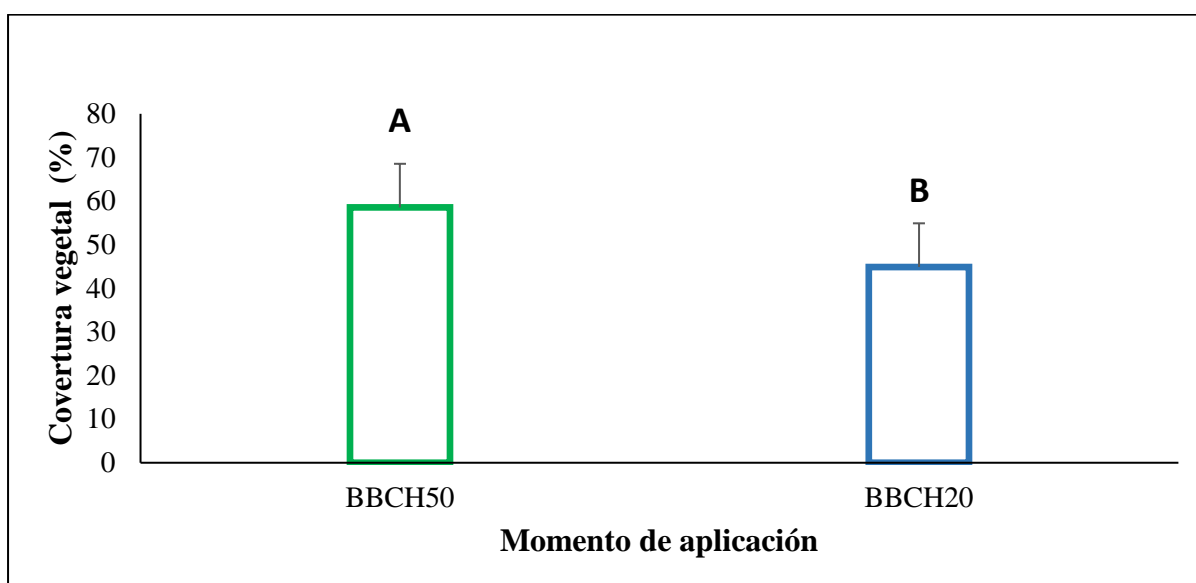


**Figura 12.** Cuantificación del contenido de clorofila en las hojas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Bajo diferentes dosis de paclobutrazol en dos etapas fenológicas del cultivo. T1: BBCH20: 0 ppm; T2: BBCH20: 200 ppm; T3: BBCH20: 400 ppm; T4: BBCH20: 600 ppm; T5: BBCH50: 0 ppm; T6: BBCH50: 200 ppm; T7: BBCH50: 400 ppm y T8: BBCH50: 600 ppm. Barras verticales representan el error estándar.

## Cobertura vegetal

El porcentaje de cobertura vegetal de la quinua no hubo diferencias para dosis de paclobutrazol y tampoco para la interacción de momentos de aplicación x Dosis de paclobutrazol solo se encontró diferencias para momentos de aplicación.

En la figura 9, se puede observar la diferencia entre los dos momentos de aplicación mostrando menor cobertura vegetal en el fenológico BBCH20, teniendo mayor cobertura vegetal en el estado fenológico BBCH50.



**Figura 13.** Cobertura vegetal de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en función de momento de aplicación. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, tukey ( $p < 0.05$ ). Barras verticales representan error estándar.



## 7. Discusión

En el presente estudio, se utilizaron diferentes dosis de Paclobutrazol como tratamientos durante la fase vegetativa del cultivo de quinua, en dos etapas fenológicas 2; Formación de ramas laterales (BBCH20) y 5; Emergencia de la inflorescencia (BBCH50), para evaluar el efecto del regulador de crecimiento en diferentes estadios en el cultivo. Los resultados del estudio revelan que las parcelas con los tratamientos 400 ppm y 600 ppm en la etapa fenológica BBCH20 claramente presentaron los mejores resultados reduciendo la altura de la planta de quinua con respecto a los demás tratamientos mostrando diferencias en los parámetros de crecimiento.

En cuanto a la altura de la planta las mediciones se realizaron desde el día de la aplicación del PBZ hasta el día 36, los tratamientos T3 (400 ppm) y T4 (600 ppm) en la etapa fenológica BBCH20 que corresponde a inicio de los brotes laterales, mostraron menor altura con diferencia a los demás tratamientos, para el día 15 el T3 presentó una media 19,9 cm que obtuvo en la altura de la planta teniendo una diferencia estadísticamente significativa a los T6, T8, T5 y T1, para el día 29 y 36 el T4 fue estadísticamente inferior llegando a una altura máxima de 32,15 cm, a excepción de T3: 37,1 cm siendo diferente a los demás tratamientos con un control de T1: 51,2 cm, estos resultados concuerdan con Dewi *et al.*, (2017) que concluyó que la aplicación de PBZ de 12,5 ppm aplicados en semilla de arroz negro (*Oryza sativa* L. “Cempo Ireng”), reduce la altura de la planta, a mayor concentración de PBZ aplicada una mayor reducción en la altura de la planta con respecto al control.

El incremento del tallo de la planta de quinua que obtuvo desde el día 1 al 36 de muestreo no presentó una diferencia estadística significativa, sin embargo, se presentó un menor incremento de la altura de la planta en T3 y T4, siendo inferiores al control T1. el PBZ es utilizado en el manejo de cultivos de alto consumo para reducir el tallo de las plantas, lo que reduce el riesgo de acame, hay varios informes que indican los efectos del PBZ en la morfología vegetal de los cultivos. Sumit *et al.*, (2012) informa en un estudio que la aplicación de PBZ disminuyó significativamente la altura de la planta de *camelina sativa* en comparación con el control y el efecto de enanismo inducido y con la mayor concentración de PBZ fue la que se obtuvo la mayor reducción del 47,5 % en la altura de la planta.

La tasa de crecimiento Absoluto (TCA) de la altura de la planta desde el día 1 al 36 después de la aplicación del PBZ presentaron diferencia estadística significativa donde el tratamiento T4: 0,24 cm y T3: 0,29 cm fueron las medias diarias siendo menores del resto de

los tratamientos, el control presentó una media diaria de T1: 0,35 cm. En el estudio Kamran *et al.*, (2018), examinó los efectos de la aplicación de PBZ en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) empaparon semillas a tres concentraciones: 0 , 200, 300 y 400 mg L<sup>-1</sup> los resultados mostraron una reducción en la altura de la planta con respecto al control. Las concentraciones de PBZ disminuyen el contenido de giberelinas en comparación con el control en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) durante la etapa fenológica de la preantesis que disminuye la división celular de las plantas (Syahputra *et al.*, 2013).

Referente al diámetro del tallo el control: 0 ppm fue superior al resto de las dosis de PBZ, desde el día 5 al 33 de la evaluación, en un trabajo con dosis similares en el cultivo de maíz (*Zea mays*) los resultados mostraron que PBZ mejoró la resistencia física del culmo al aumentar la resistencia a la penetración de la corteza la resistencia a la ruptura del tallo, el diámetro del culmo, el grosor de la pared de los entrenudos en comparación con las plantas del control (Kamran *et al.*, 2017; Pal *et al.*, 2016). Lo que resulta a una mayor resistencia a la ruptura del tallo y al índice de resistencia al acame (Kamran *et al.*, 2018).

El incremento del diámetro del tallo se vio disminuido en la dosificación de 600 ppm 2,23 mm en comparación con el control 0 ppm que alcanzo 3,40 mm, la etapa fenológica que mostró menor incremento fue BBCH20 2,51 mm a diferencia de la BBCH50 3,06 mm. La reducción en la proporción de masa del tallo ocurre debido a la inhibición de la biosíntesis del ácido giberélico por parte de PBZ, lo que provocó una reducción en la división celular y resultó en plantas compactas (Parladores *et al.*, 2019).

Referente a la biomasa de la planta y la raíz de la planta de quinua que no se encontró diferencias estadísticas significativas en los tratamientos, en un estudio realizado por Santos *et al.*, (2022), en albahaca (*Ocimum basilicum* var.) evidencio que el número de hojas, la masa seca de hojas, la masa seca de tallos y la masa seca total se redujeron al aumentar la dosis de PBZ, el menor número de hojas (129), menor masa seca foliar (3,05 g) y masa seca total (5,16 g) se observaron en la dosis 9,93 y 10 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente, y la menor masa seca tallo (1,70 g ) se observó a una dosis de 9,32 mg L<sup>-1</sup> de PBZ. La reducción en la proporción de masa del tallo ocurre debido a la inhibición de la síntesis del ácido giberelico por parte de PBZ lo que causa una reducción en la división celular y resultó en plantas más compactas (Parladore *et al.*, 2019). Los resultados obtenidos en soja (*Glycine max*), donde la aplicación de PBZ resultó en plantas con menor masa fresca y masa seca siete días después de la aplicación (Cruciol *et al.*, 2014). En Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), la aplicación de diferentes dosis

de PBZ vía sustrato resultó en plántulas con menor producción de masa seca del sistema radicular, independientemente de las dosis aplicadas (Blank *et al.*, 2009).

En el contenido de clorofila el estudio se asemeja al trabajo de Nivedithadevi *et al.*, (2015) revela que existe un mayor contenido de clorofila en las plantas tratadas con PBZ que el control, también mostró que las plantas tratadas con PBZ sintetizaron más citoquinina, lo que a su vez mejoró la diferenciación de los cloroplastos y la biosíntesis de la clorofila, y previno la degradación de la clorofila. ), los tratamientos T4 (BBCH20 600 ppm) presentó 65,58 % de clorofila a comparación del tratamiento que llegó a 57,9 % de clorofila en las hojas. El PBZ parece haber retrasado el inicio de la senescencia, representada por la tasa de degradación de la clorofila en las hojas adheridas de frijol mungo (*Vigna radiata*). La aplicación de PBZ en *Camelina sativa* L, también aumentó el contenido de clorofila, lo que condujo a una mayor tasa de fotosíntesis y un mayor rendimiento (Fletcher *et al.*, 2000).

Plantas de arroz negro que fueron tratadas con dosis de 25, 0 y 50 ppm de PBZ tienen hojas más verdes en comparación con el testigo, en las hojas se notó senescencia tardía. Esto podría deberse al aumento de la actividad enzimática oxidativa que impiden la maduración celular (Dewi *et al.*, 2016). El aumento de los índices de clorofila con la aplicación de PBZ se debe a la capacidad de este regulador de crecimiento para aumentar los niveles de citoquinina y hace que aumente la diferenciación de cloroplastos, la biosíntesis de clorofila y evita su degradación (Carvalho-zanao *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2019).

La cobertura vegetal fue menor en la etapa fenológica BBCH20 44,89% que fue la etapa con mayor respuesta al PBZ, a comparación con la BBCH50 con 58,54% de cobertura vegetal, estas diferencias pueden ser respondidas por Parladores *et al.*, (2019) donde explica que las plantas que reciben PBZ tienen cocientes de robustez más bajos, lo que indica el equilibrio entre altura y diámetro del tallo, donde cuanto menor es el valor del coeficiente, más robustas son las plantas.

## 8. Conclusiones

- El paclobutrazol a mayor concentración la reducción del tamaño de la planta va ser mayor que puede ocasionar un enanismo severo en los cultivos, otro factor a tomar en cuenta es el momento de aplicación, en el trabajo investigativo se evidencio que 600 ppm de PBZ aplicados en la etapa fenológica BBCH20 obtuvo menor altura de la planta de quinua a diferencia de los demás tratamientos. He aquí la importancia de encontrar la dosificación adecuada y el momento oportuno de aplicación de PBZ para obtener plantas con un tamaño promedio que nos ayude evitar el acame y no afectar en su rendimiento.
- Los momentos de aplicación que se utilizaron en la investigación BBCH20 y BBCH50, se concluye que la escala fenológica BBCH20 mostró tener mayor respuesta a la aplicación de paclobutrazol reduciendo un 45% menos que la escala BBCH50, sin embargo, al aplicar el tratamiento en una etapa muy temprana del cultivo podemos tener enanismo excesivo en las plantas, evidentemente el tiempo de evaluación no determina el efecto en el ciclo completo de la quinua, donde nos permita evidenciar la respuesta en producción.

## **9. Recomendaciones**

- Es importante realizar más estudios con estados fenológicos diferentes y rangos de dosificaciones de paclobutrazol más amplios para obtener una variedad de respuestas del cultivo hacia la aplicación del paclobutrazol.
- Este estudio es parte de una investigación base, por ende, se debe hacer estudios donde podamos medir la respuesta de la quinua al paclobutrazol en rendimiento y la calidad nutricional, hay que tener en cuenta que el estudio se realiza con la finalidad de evitar pérdidas por acame en el cultivo y no queremos que se viera afectada la capacidad nutricional de este grano.

## 10. Bibliografía

- Bertero, D. (2021). Quinoa. En V. Sadras, & D. Calderini, *Historias de casos de fisiología de cultivos para cultivos principales* (págs. 250-281).
- Bizuayehu, D., & Getachew, A. (2021). Paclobutrazol como regulador del crecimiento de las plantas. *Tecnologías químicas y biológicas en la agricultura*. doi: <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z>
- Blank, A., Paula, J., Arrigoni, M., & Moreira, M. (2009). Utilización de paclobutrazol en vetiver en producción de mudas de ganado en mudas de campo . *Horticultura Brasileira* , 425-430.
- Bolívar, M. (2022). *El cultivo de la quinua y el clima en el Ecuador*. Quito-Ecuador .
- Carvalho-zanao, M., Zanao, L., Grossi, J., & Pereira, N. (2018). Cultivares de rosas en macetas con aplicaciones de paclobutrazol. *Ciencia rural*. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20161002>
- Christensen, S., Pratt, D., Pratt, C., Stevens, S., Jellen, E., Coleman, C., . . . Maughan, P. (2007). Evaluación de la diversidad genética en las colecciones de viveros internacionales de quinua de USDA y el CIP-FAO (*Chenopodium quinua* Willd). *Recursos fitogenéticos*, 82-95. doi: <https://doi.org/10.1017/S1479262107672293>
- Cruciol, G., Koyanagui, M., Batista, T., Binotti, F., & Costa, M. (2014). Aplicación de ácido giberélico e paclobutrazol en el cultivo de soja . *Agricultura Neotropical* , 72-79.
- Dewi, K., Agustina, R., & Nurmalika, F. (2017). EFECTOS DE LA LUZ AZUL Y PACLOBUTRAZOL EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS, CRECIMIENTO VEGETATIVO Y RENDIMIENTO DE ARROZ NEGRO (*Oryza sativa* L. 'Cempo Ireng'). *BIOTROPIA*, 85-96. doi: <https://doi.org/10.11598/btb.2016.23.2.478>
- FAO. (2011). *La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. <https://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- FAO. (2016). *Guía del cultivo de quinua* . Obtenido de <https://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf>
- Fletcher, F., Gilley, A., & Sankhla, N. (2000). Triazoles como reguladores del crecimiento vegetal y protectores contra el estrés . *Reseñas hortícolas*, 55 - 138.
- Gardner, M., Maliro, M., Goldberger, J., & Murphy, K. (2019). Evaluación de la posible adopción de la quinua par el consumo humano en el centro de Malawi. *Fronteras en los sistemas alimentarios sostenibles*. doi: [10.3389/fsufs.2019.00052](https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00052)
- Gómez , L., & Aguilar , E. (2016). Guía del cultivo de la quinua. In *FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina*. doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gopi, R., Jaleel, C., Azooz, M., & Panneerselva, R. (2009). Alteraciones fotosintéticas en *Amorphophallus campanulatus* con empapamiento de triazoles. *Ciencias Moleculares*, 15-18. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.603.4190&rep=rep1&type=pdf>
- Huang, S., Luo, H., Ashraf, U., Abrar, M., He, E., Zheng, A., . . . Tang, X. (2019). Tratamiento de semillas con paclobutrazol afecta el crecimiento temprano, la fotosíntesis, la fluorescencia de la clorofila y la fisiología del arroz. *Ecología Aplicada e Investigación Ambiental*, 999-1012. doi: [http://dx.doi.org/10.15666/aer/1701\\_9991012](http://dx.doi.org/10.15666/aer/1701_9991012)

- INEC-ESPAC. (2018). Boletín Situacional Quinua. Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/granos/quinua>
- INIAP. (2022). Quinua. Obtenido de <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mgranos/rquinua>
- ITIS. (2011). *ITIS Standard Report Page*. Obtenido de *Chenopodium quinoa* Willd: <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt#null>
- Jacobsen, S., & Sherwood, S. (2002). *Cultivos de granos andinos en Ecuador*. FAO. Obtenido de <https://silo.tips/download/cultivo-de-granos-andinos-en-ecuador>
- Kamran, M., Ahmad, I., Wu, X., Liu, T., Ding, R., & Han, Q. (2018). Aplicación de paclobutrazol: una estrategia para inducir la resistencia al acame del trigo mediante la mediación de la altura de la planta, la fuerza física del tallo y la biosíntesis de lignina. *Investigación internacional de ciencias ambientales y contaminación*, 25(29), 29366–29378. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2965-3>
- Kamran, M., Cui, W., Ahmad, I., Meng, X., Zhang, X., Su, W., . . . Liu, T. (2017). Efecto del paclobutrazol, un potencial regulador del crecimiento, sobre la resistencia mecánica del tallo, la acumulación de lignina y su relación con la resistencia al acame del maíz. *Regulación del crecimiento vegetal* 84, 317–332. doi: <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0342-8>
- Kim, J., Wilson, R., Case, J., & Binder, B. (2012). Un estudio comparativo de la cinética de respuesta del crecimiento del etileno en eudicots y monocotiledóneas revela un papel de la giberelina en la inhibición y recuperación del crecimiento. *Fisiología vegetal*, 1567- 1580. doi: [10.1104/pp.112.205799](https://doi.org/10.1104/pp.112.205799)
- Kumari, S., Bakshi, P., Sharma, A., Wali, V., Jasrotia, A., & Kour, S. (2018). Uso de reguladores de crecimiento de plantas para mejorar la producción de frutas en el cultivo subtropical. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.077>
- López, O. (2015). *Efectos del cambio climático en el rendimiento del trigo, el maíz y el arroz en América Latina*. Tesis de Maestría , Bogotá-Colombia. <https://www.cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/>.
- Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo, J., & Marathe, J. (2013). *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.); Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro* . FAO.
- Nivedithadevi, D., Somasundaram, R., & Pannerselvam, R. (2015). Efecto del ácido abscísico, paclobutrazol y ácido salicílico sobre el crecimiento y variación de pigmento en *Solanum trilobatum*. *Desarrollo de drogas*, 236 - 246.
- Parladores, N., Silva, A., Costa, E., Binotti, F., Vieira, G., & Souza, A. (2019). Volúmenes de sustrato y aplicación de paclobutrazol para producción de pimiento ornamental. *Agricultura Neotropical*, 1-5. doi: <http://dx.doi.org/10.32404/rean.v6i3.3342>
- Pereira, E., Encina, C., Barros, L., Gonzales, U., Cadavez, V., & Ferreira, I. (2019). Caracterización química y nutricional de los granos de *Chenopodium quinoa* Willd (quinua): una buena alternativa a la alimentación nutritiva. *Química de Alimentos*, 110-114. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>
- Ponce, P., & Valdez, J. (2021). Evaluación nutricional y funcional de 17 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivadas en la zona andina del Perú. *Ciencia Agropecuaria*. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.002>

- Rady, M., & Gaballah, S. (2012). Mejora del rendimiento de la cebada cultivada en condiciones de estrés hídrico. *Ciencias Recientes* .
- Reynolds, M., Foulkes, M., Slafer, G., Berry, P., Parry, M., & Snape, J. (2009). Aumento del potencial de rendimiento del trigo. *Botánica experimental*, 1899-1918. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erp016>
- Rojas, W., Vargas, M., & Pinto, P. (2016). La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. 114-124. [http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v3n2/v3n2\\_a01.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v3n2/v3n2_a01.pdf)
- Sánchez, M., & Olave, J. (2019). ¿Puede el cambio climático afectar la producción del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa willd.*) en el altiplano chileno? *Idesia (Arica)*, 19-23. doi: [10.4067/S0718-34292019005000202](https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000202)
- Santos, F., Silva, T., Dias, M., Alves, L., & Grossi, J. (2022). Paclobutrazol reduce el crecimiento y aumenta los índices de clorofila y los intercambios de gases de la albahaca (*Ocimum basilicum*). *Biología*. doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.262364>
- Sarkar, S., Perras, M., & Falk, D. (2004). Relación entre giberelinas, altura y tolerancia al estrés en plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Reglamento sobre el crecimiento vegetal*, 125-135. doi: <https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000017492.56792.64>
- Sosa, V., Brito, V., Fuentes, F., & Steinfort, U. (2017). Escala estandarizada de fenología para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) basada en el sistema de codificación de la BBCH.
- Sumit, K., Ghatty, S., Satyanarayana, J., Guha, A., chaitanya, B., & Reddy, A. (2012). El tratamiento con paclobutrazol como una estrategia potencial para un mayor rendimiento de semilla y aceite en camelina sativa L. Crantz cultivada en el campo. *Notas de investigación de BMC*, 5-137. doi: [10.1186/1756-0500-5-137](https://doi.org/10.1186/1756-0500-5-137)
- Syahputra, B., Sinniah, U., Syed Rastan, S., & Ismail, M. (2013). Cambios en el contenido de ácido giberélico (GA) en 3 *Oryza sativa* debido al tratamiento con paclobutrazol. *Ciencias Farmacéuticas de Alimentos*, 14-17.
- Tim, D., Eric, A., & George, L. (2008). Regulación química del crecimiento vegetativo. *Ciencia de las plantas*. doi: <https://doi.org/10.1080/07352689109382310>
- UNALM. (2012). *Manejo agronómico del cultivo de la quinua*. Obtenido de <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-b-quinua.pdf>
- Vega, A., Sanders, M., Miranda, M., & Lara, E. (2010). Características y modelación matemática del secado convectivo de la quinua (*Chenopodium Quinoa*). doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00410.x>
- Zhao, J., Zhang, W., Qiu, Q., Li, Z., Zhang, M., & Yan, X. (2011). Efectos de la aspersión de PP333 en diferentes etapas sobre las características agronómicas y fisiológicas de la soja (*Glycine max*). *Ciencia de la soja*, 211- 214. Obtenido de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123079212>



## 11. Anexos



**Anexo 1.** Preparación de parcelas y siembra. **A)** terreno de la quinta experimental docente “La Argelia”. **B)** finalización de las parcelas.



**Anexo 1.** **A)** Siembra de la quinua (*Chenopodium quinoa*), variedad Tunkahuan. **B)** germinación total de la semilla.



**Anexo 2. A)** Regulador de crecimiento de plantas (Paclobutrazol a 250 g\*L). **B)** Aplicación de PBZ por fumigación.



**Anexo 3. A)** Medición de altura de la planta de quinua (*Chenopodium quinoa*). **B)** Diámetro del tallo de la planta de quinua (*Chenopodium quinoa*).



**Anexo 4. A)** Medición de cobertura vegetal por medio de fotografía en las parcelas de quinua (*Chenopodium quinoa*). **B)** Medición de clorofila con ESPAD en plantas de quinua (*Chenopodium quinoa*).



**Anexo 5. A)** selección de plantas de quinua (*Chenopodium quinoa*), para el laboratorio **B)** plantas de quinua (*Chenopodium quinoa*). Seleccionadas.



**Anexo 6.** **A)** Medición de materia seca de la parte foliar de la quinua quinoa (*Chenopodium quinoa*). **B)** Medición de materia seca de la parte radical de la quinua (*Chenopodium quinoa*).



**Anexo 7.** Etapa final del trabajo de integración curricular de aplicación de paclobutrazol en quinua (*Chenopodium quinoa*).



# FINE-TUNED ENGLISH LANGUAGE INSTITUTE

Líderes en la Enseñanza del Inglés

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar  
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA. LTDA.

## CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés, del Resumen de Tesis titulada: "EFECTO DEL PACLOBUTRAZOL SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd.*), EN LAS CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ARGELIA, LOJA", autoría del Estudiante Jimmy Armando Torres Jiménez, con CI. 1105605495, egresado en la Carrera de Agronomía, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza al interesado, hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 01 de junio de 2023.

  
Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar  
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA. LTDA.



Líderes en la Enseñanza del Inglés

Matriz - Loja: Macará 205-51 entre Rocafuerte y Miguel Ríofrío - Teléfono: 072578899  
Zamora: García Moreno y Pasaje 12 de Febrero - Teléfono: 072608189  
Yantzaza: Jorge Mosquera y Luis Bastidas - Edificio Sindicato de Choferes - Teléfono: 072301329

[www.fte.edu.ec](http://www.fte.edu.ec)