



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

**Efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre el crecimiento y
rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su
relación con la fenología de la planta, bajo condiciones de
invernadero**

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

AUTORA:

Karla Elizabeth Gordillo Pasaca

DIRECTORA:

Dra. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

Loja - Ecuador

2024

Certificación

Loja, 15 de agosto de 2023

Dra. Mirian Irene Capa Morocho

DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su relación con la fenología de la planta, bajo condiciones de invernadero**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrónoma**, de la autoría de la estudiante **Karla Elizabeth Gordillo Pasaca**, con cédula de identidad Nro.**1150228219**, 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.



Dra. Mirian Irene Capa Morocho

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

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

Firma:



Cédula de identidad: 1150228219

Fecha: 18/03/2024

Correo electrónico: Karla.gordillo@unl.edu.ec

Teléfono: 0979417798

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, **Karla Elizabeth Gordillo Pasaca**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su relación con la fenología de la planta, bajo condiciones de invernadero**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dieciocho días del mes de marzo de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autora: Karla Elizabeth Gordillo Pasaca

Cédula: 1150228219

Dirección: Loja- Barrio Guadalupe (Paraguay y Quijos)

Correo electrónico: Karla.gordillo@unl.edu.ec

Teléfono: 0979417798

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Directora del Trabajo de Integración Curricular

Dra. Mirian Irene Capa Morocho

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico primeramente a Dios por darme la sabiduría de culminar esta etapa. A mis padres Carlos Gordillo y Piedad Pasaca por su esfuerzo, amor, paciencia, enseñanzas y el apoyo incondicional que me han brindaron durante todo este proceso siendo el pilar fundamental de mi formación, gracias a ellos estoy cumpliendo una meta más en mi vida.

A mis abuelitos Manuel Pasaca y Delia Carrion, quienes estuvieron en todo momento apoyándome y motivándome, a mi hermano Jhon por su apoyo y por sus consejos, a mis amigos incondicionales Johanna y Augusto quienes estuvieron durante toda esta etapa universitaria compartiendo sus conocimientos, así mismos momentos de alegría y tristeza.

Karla Elizabeth Gordillo Pasaca

Agradecimiento

Expreso mis sinceros agradecimientos a mis padres por su esfuerzo y constante sacrificio que han realizado, además por ser mi inspiración y motivación en cada paso de mi educación, su amor incondicional y apoyo constante han sido fundamental para la culminación de esta etapa universitaria con éxito, gracias por darme la oportunidad y confianza para alcanzar uno de mis sueños. Mi agradecimiento a mi hermano por su constante apoyo, por cada palabra de aliento y por estar presente durante todo este proceso que me ha impulsado alcanzar este importante logro.

Así mismo expreso mi agradecimiento a mi directora de tesis Dra. Mirian Capa, por su guía, confianza, paciencia y por compartir todo su conocimiento para culminar con éxito el presente proyecto de investigación, siempre dispuesta a escuchar mis dudas y brindarme respuestas claras y concisas. Por otro lado, al Dr. Santiago Vásquez por brindarme su tiempo ante preguntas que presenté durante el desarrollo de esta investigación.

De la misma manera agradezco a la Universidad Nacional de Loja y a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la carrera de Ingeniería Agronómica, por haberme brindado todos los recursos y escenarios en el transcurso para la realización del trabajo de investigación, gracias a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Agronómica, que a lo largo de la carrera compartieron su conocimiento contribuyendo la base de mi aprendizaje.

Finalmente, a mis amigos Johanna, Erika y Augusto quienes me acompañaron en esta etapa universitaria dándome sus consejos y apoyo durante toda mi formación profesional.

Karla Elizabeth Gordillo Pasaca

Índice de contenido

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido.....	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xiii
1. Título... ..	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	7
4.1. Características generales de la quinua.....	7
4.2. Taxonomía.....	8
4.3. Morfología.....	9
4.4. Fenología.....	10
4.5. Condiciones edafoclimáticas del cultivo de quinua	12
4.6. Importancia del nitrógeno sobre crecimiento y rendimiento	12
4.7. Biofertilizantes	13
4.7.1. Biofertilizante BlueN (<i>Methylobacterium simbyoticum</i> SB23)	15
4.8. Estudios previos sobre el Efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua	16
5. Metodología.....	18

5.1. Ubicación de la investigación	18
5.2. Metodología general.....	18
5.2.1. Establecimiento y manejo del cultivo	18
5.2.2. Tipo de investigación	19
5.2.3. Diseño Experimental	19
5.2.4. Tratamientos del estudio	20
5.3. Metodología para el primer objetivo	23
5.4. Metodología para el segundo objetivo.	25
5.5. Análisis estadístico.....	26
5.6. Aislamiento y caracterización de <i>Methylobacterium</i> sp. en hojas de quinua.....	26
6. Resultados	27
6.1. Altura de la planta	27
6.2. Diámetro del tallo.....	28
6.3. Índice de área foliar (IAF).....	29
6.4. SPAD.....	30
6.5. Longitud de la panoja.....	31
6.6. Diámetro de la panoja	31
6.7. Longitud de la raíz.....	32
6.8. Peso de la raíz.....	33
6.9. Biomasa aérea	34
6.10. Condiciones climáticas.....	35
6.11. Fenología.....	36
6.12. Rendimiento, componentes del rendimiento e índice de cosecha.....	37
6.13. Análisis de correlación de las variables en estudio.	39
6.14. Identificación y caracterización de <i>Methylobacterium</i> sp.....	40
7. Discusión	41
8. Conclusiones	47

9. Recomendaciones	48
10. Bibliografía	49
11. Anexos	59

Índice de tablas

Tabla 1. Superficie, producción y rendimiento de la quinua en el año 2018 en la sierra ecuatoriana	8
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la quinua.....	8
Tabla 3. Condiciones edafoclimáticas para el desarrollo de la quinua.	12
Tabla 4. Tratamientos implementados en el ensayo.....	20
Tabla 5. Etapas fenológicas del cultivo de la quinua en la escala BBCH.....	24
Tabla 6. Biomasa de las plantas quinua en función de la aplicación de BlueN como fuente nitrogenada.	35
Tabla 7. Medias de las variables productivas del cultivo de quinua bajo la aplicación del Biofertilizante BlueN como fuente nitrogenada.....	38
Tabla 8. Correlación de variables evaluadas en plantas de quinua bajo la aplicación del biofertilizante BlueN.	39

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del experimento en la Quinta Experimental Docente “La Argelia”.....	18
Figura 2. Estados fenológicos del cultivo de la quinua bajo invernadero.....	21
Figura 3. Esquema del experimento y distribución de las unidades experimentales en el campo.	22
Figura 4. Efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre la altura de la planta (cm) de quinua desde el día 42 al 134 DDS. Los triángulos ubicados sobre el eje “x” muestran la etapa fenológica (v4, v5, v6 y v7); (ns) efecto no significativo; letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.	27
Figura 5. Dinámica de crecimiento del diámetro del tallo desde el día 42 al 127 DDS con la aplicación del Biofertilizante (BlueN) como fuente nitrogenada. Los triángulos ubicados sobre el eje “x” muestran la etapa fenológica (v4, v5, v6 y v7); (ns) efecto no significativo; letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.	28
Figura 6. Efecto del BlueN como fuente nitrogenada sobre el parámetro del Índice de Área Foliar (IAF) en quinua evaluada desde el día 57 DDS hasta 127 DDS. Los triángulos ubicados sobre el eje “x” muestran la etapa fenológica (v4, v5, v6 y v7); (ns) efecto no significativo; letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.	29
Figura 7. Efecto del biofertilizante BlueN sobre el contenido de clorofila (SPAD) de las plantas de quinua evaluadas desde el día 43 DDS hasta los 155 DDS. Los triángulos ubicados sobre el eje “x” muestran la etapa fenológica (v4, v5, v6 y v7); (ns) efecto no significativo; letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05..	30
Figura 8. Longitud de la panoja de quinua bajo la aplicación de una fuente nitrogenada (BlueN). Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.....	31
Figura 9. Efecto de BlueN como fuente nitrogenada en el diámetro de la panoja en quinua. Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media. Letras diferentes en indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.....	32

- Figura 10.** Longitud de la raíz bajo la aplicación del biofertilizante BlueN como fuente nitrogenada. Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media. Letras diferentes en indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05..... 33
- Figura 11.** Efecto del Biofertilizante BlueN como fuente nitrogenada en el peso de la raíz de Quinoa. Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media. Letras diferentes en indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05..... 34
- Figura 12.** Condiciones climáticas de temperatura máxima (naranja), promedio (azul) y mínima (verde) y humedad relativa (HR) durante el ciclo del cultivo de quinua. Los triángulos verdes ubicados con los números sobre el eje “x” indican los códigos de la escala fenológica BBCH representando las etapas en función de los DDS. 36
- Figura 13.** Fenología del cultivo de quinua para los diferentes tratamientos con la aplicación de BlueN como una fuente nitrogenada según la escala BBCH en función de los DDS. Los triángulos rojos ubicados con los números indican los códigos de la escala fenológica BBCH representando las etapas en función de los DDS. 37
- Figura 14.** Identificación y caracterización de la bacteria *Methylobacterium* sp..... 40

Índice de anexos

Anexo 1. Descripción de los estados fenológicos de crecimiento de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) según la escala BBCH ampliada.	59
Anexo 2. Cálculo del plan de fertilización para el cultivo de quinua.	61
Anexo 3. Cálculo de la dosis del biofertilizante BlueN.....	64
Anexo 4. Preparación del sustrato (tierra, arena y compost) y llenado de fundas.	65
Anexo 5. Siembra del cultivo de quinua.	65
Anexo 6. Manejo del cultivo (Riego y Manejo de plagas y enfermedades).	66
Anexo 7. Aplicación del biofertilizante (BlueN) en los tratamientos.....	66
Anexo 8. Aplicación del tratamiento con un fertilizante sintético (urea).	67
Anexo 9. Toma de datos de la variable de altura de la planta.....	67
Anexo 10. Toma de datos del diámetro de tallo.	68
Anexo 11. Medición del contenido de contenido de clorofila con el SPAD.	68
Anexo 12. Medición del índice de área foliar en las plantas de quinua con la cámara GoPro. 69	
Anexo 13. Medición de la longitud y diámetro de la panoja.	69
Anexo 14. Medición de la longitud y peso de la raíz.....	70
Anexo 15. Separación de las diferentes partes de la planta, peso de la muestra y puestos en la estufa.....	70
Anexo 16. Observación de la fenología del cultivo de quinua.	71
Anexo 17. Limpieza de la quinua en cedazos.....	71
Anexo 18. Peso de las muestras (granos) en balanza granataria.....	71
Anexo 19. Limpieza final de los granos por la máquina limpiadora de semillas.	72
Anexo 20. Peso de los 1000 granos.	72
Anexo 21. Procedimiento para el aislamiento y caracterización de la bacteria <i>Methylobacterium</i> sp.....	72
Anexo 22. Certificado de traducción del resumen.....	73

1. Titulo

Efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su relación con la fenología de la planta, bajo condiciones de invernadero.

2. Resumen

El cultivo de quinua en la actualidad es de gran importancia por su valor nutricional, versatilidad agronómica y por su adaptabilidad a diferentes condiciones agroambientales, mostrando que es un cultivo con un alto potencial para contribuir a la seguridad alimentaria. El nitrógeno es el principal factor limitante en el crecimiento y producción de este cultivo, el uso excesivo de fertilizantes químicos promueve efectos negativos en el suelo como al medio ambiente, por ello, una alternativa sustentable es el empleo de fertilizantes biológicos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es conocer el efecto del biofertilizante BlueN como fuente nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua y su relación con la fenología de la planta. Para ello, se estableció un ensayo bajo condiciones de invernadero, implementando un diseño experimental completamente al azar (DCA), con 6 tratamientos y 7 repeticiones teniendo un total de 42 unidades experimentales (UE), donde cada unidad experimental está constituida por una funda con tres plantas. Con un factor de fertilización nitrogenada, usando un fertilizante sintético (urea) y un biofertilizante (BlueN). Se evaluó las variables de crecimiento donde el T4 (BlueN dos aplicaciones) presentó un mayor promedio en la altura de la planta con 176 cm, diámetro del tallo 1,24 cm, longitud de la panoja 52,14 cm, longitud de la raíz 47,86 cm. Por otro lado, el T5 (BlueN tres aplicaciones) presentó un mayor incremento de IAF con un promedio de 2,31 en la etapa de floración, el contenido de clorofila de 68,31 mostrando una mayor intensidad del color verde en las hojas en la etapa de floración, diámetro de panoja de 15,29 cm, peso de la raíz 27,45 g, la biomasa aérea 341,07 g/maceta. Con respecto a las variables productivas, el T5 obtuvo los mayores promedios de 3,90 g peso de 1000 granos, 19075 número de granos maceta⁻¹, con un rendimiento de 71,86 g maceta⁻¹. Finalmente, en el índice de cosecha el T4 (BlueN dos aplicaciones), obtuvo el mayor promedio de 0,33. Estos resultados mostraron un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua con la aplicación de BlueN siendo una fuente de nitrógeno suplementario, que podría reducir el alto costo de los fertilizantes sintéticos.

Palabras claves: Biofertilizante, BlueN, crecimiento, rendimiento, etapa fenológica.

Abstract

The quinoa crop is currently of great importance due to its nutritional value, agronomic versatility and its adaptability to different agro-environmental conditions, showing that it is a crop with a high potential to contribute to food security. Nitrogen is the main limiting factor in the growth and production of this crop. The excessive use of chemical fertilizers has negative effects on the soil and the environment; therefore, a sustainable alternative is the use of biological fertilizers. Therefore, the objective of this study is to know the effect of the biofertilizer BlueN as a nitrogen source on the growth and yield of quinoa and its relationship with the phenology of the plant. For this purpose, a trial was established under greenhouse conditions, implementing a completely randomized experimental design (CRD), with 6 treatments and 7 replications having a total of 42 experimental units (EU), where each experimental unit consists of a sheath with three plants. With a nitrogen fertilization factor, using a synthetic fertilizer (urea) and a biofertilizer (BlueN). The growth variables were evaluated where T4 (BlueN two applications) presented a higher average in plant height with 176 cm, stem diameter 1.24 cm, panicle length 52.14 cm, root length 47.86 cm. On the other hand, T5 (BlueN three applications) presented a greater increase in IAF with an average of 2.31 in the flowering stage, chlorophyll content of 68.31 showing a greater intensity of green color in the leaves in the flowering stage, panicle diameter of 15.29 cm, root weight 27.45 g, aerial biomass 341.07 g/pot. With respect to the productive variables, T5 obtained the highest averages of 3.90 g 1000-grain weight, 19075 number of grains pot-1, with a yield of 71.86 g pot-1. Finally, in the harvest index, T4 (BlueN two applications) obtained the highest average of 0.33. These results showed a positive effect on the growth and yield of the quinoa crop with the application of BlueN as a source of supplemental nitrogen, which could reduce the high cost of synthetic fertilizers.

Key words: Biofertilizer, BlueN, growth, yield, phenological stage.

3. Introducción

La quinua es conocida como el grano de oro, ha sido cultivada y apreciada en la región andina considerado como el único alimento vegetal que posee todos los aminoácidos esenciales, oligoelementos, vitaminas y no contiene gluten (Ulloa & Valle 2021). Es un cultivo reconocido por sus cualidades nutritivas y medicinales, por su variedad genética y por su adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, mostrando un alto potencial para contribuir a la seguridad y sostenibilidad alimentaria, siendo una alternativa ante problemas de nutrición en aquellos países donde no hay acceso a fuentes de proteína y cuando las condiciones de producción agrícola son limitadas (Nieto et al., 2016).

La producción a nivel mundial de este cultivo se encuentra en expansión, siendo los principales países productores Perú, Ecuador, Bolivia en Sudamérica, consolidándose Perú como el principal exportador y productor mundial de quinua, con un rendimiento de 1,57 t/ha y una producción a nivel nacional de 113355 toneladas (Paredes et al., 2023). En la actualidad la producción de este cultivo, se encuentra en más de 70 países como Chile, Argentina, Estados Unidos, Inglaterra, Suecia, Dinamarca, Países Bajos, Italia y Francia (Teomiro, 2014).

El sector productivo de la quinua se desarrolla en la Sierra ecuatoriana, siendo las principales provincias dedicadas a la producción de este cereal Chimborazo, Carchi, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura, Cañar y Loja. En el año 2022 el país presentó un rendimiento de 1,05 t/ha, en donde la provincia de Chimborazo y Cotopaxi tuvieron una producción de 1124 toneladas y un rendimiento de 1,34 t/ha anuales, siendo la variedad INIAP Tunkahuan la más cultivada en el país apetecida por su bajo contenido de saponina y uniformidad de grano (MAG, 2023).

La producción de este cultivo depende de distintos factores, como la fertilización nitrogenada, el manejo inadecuado de la fertilidad de los suelos ocasiona bajos rendimientos situación que determina los parámetros productivos del cultivo (Alfonso et al., 2017). El nitrógeno influye directamente en el crecimiento vegetativo y la capacidad fotosintética, al sintetizar proteínas a partir de los aminoácidos se involucra en el crecimiento de la hoja, en el aumento de la superficie fotosintética, el área foliar, el número de hojas, el número de semillas por inflorescencia, determinando el potencial de rendimiento (Basantes et al., 2015).

Los fertilizantes químicos son utilizados por la mayoría de agricultores, siendo fácilmente accesible, evidenciándose que el uso excesivo de estos fertilizantes produce una disminución de la fertilidad química y biológica del suelo, además que provoca contaminación ambiental. El alto costo y la baja eficacia de estos fertilizante genera pérdidas en el rendimiento del cultivo y económicas para el productor (Grageda et al., 2012). Es por ello que se ha promovido el uso de las alternativas biológicas, como el empleo de biofertilizantes a base de bacterias que tienen la capacidad de producir sustancias promoviendo el crecimiento de las plantas, incrementan la tolerancia al estrés por sequía y salinidad, disminución de los efectos de organismos patógenos, además que permite un incremento en el rendimiento, costos de producción menores y no causa daño al medio ambiente (Reséndez et al., 2018).

Si bien existen estudios sobre fertilización nitrogenada en el cultivo, es escaso el conocimiento sobre la aplicación de biofertilizantes foliares, es por ello que se pretende emplear un producto llamado BlueN compuesto por *Methylobacterium symbioticum*, que aporta nitrógeno de forma biológica a la planta, caracterizado por su alta eficacia en la fijación biológica y efectividad en condiciones de agricultura de precisión (Symborg, 2023). El empleo de este biofertilizante se ha comprobado que aumenta la rentabilidad de los cultivos, teniendo la aportación de nitrógeno regulada y efectiva durante el ciclo del cultivo, así mismo siendo una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

La presente investigación está relacionada con el sistema de investigación y normativa para la gestión de investigación científica de la Universidad Nacional de Loja, con la línea denominada *Sistemas de Producción Agropecuaria para la Soberanía Alimentaria* y en la carrera de Ingeniería Agronómica posee la línea denominada “*Tecnologías para la producción y posproducción agrícola sostenible*”, ya que se estudió factores relacionados con la determinación del rendimiento de la quinua, además se vincula con el proyecto titulado “Bases fisiológicas del uso de la radiación solar y el nitrógeno en genotipos de quinua ecuatoriana” y teniendo relación directa con el Segundo Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS 2) denominado “*Hambre cero*” de las Naciones Unidas.

Objetivos

Objetivo general

- ❖ Evaluar el efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua y su relación con la fenología de la planta, bajo condiciones de invernadero.

Objetivos específicos

- ❖ Describir el efecto de BlueN, como fuente nitrogenada sobre las variables morfológicas durante el crecimiento del cultivo de quinua.
- ❖ Determinar las variables productivas usando BlueN, como fuente fijadora de nitrógeno en el cultivo de quinua.

4. Marco teórico

4.1. Características generales de la quinua

La quinua es cultivada desde hace más de 7000 años por culturas preincas e incas, se originó en los Andes altos de la América del Sur en las regiones del Altiplano de Bolivia y Perú en la cuenca del Lago Titicaca, siendo el centro de conservación de esta especie con mayor diversidad biológica, de ahí se facilitó su distribución con una amplia variabilidad genética en los países de Bolivia, Perú, Ecuador, Chile y Argentina (Alfonso et al., 2017).

La importancia de la quinua radica en su valor nutricional sobresaliendo su contenido proteico que varía entre 13,81 y 21,9%; carbohidratos donde el 50 a 60% es almidón compuesta por amilosa (20%) y amilopectina (80%); aminoácidos esenciales en mayor proporción lisina y metionina; lípidos; vitaminas (A, E, B1, ácido pantoténico y biotina) y minerales (calcio, magnesio, hierro y fósforo), además que no contiene gluten siendo potencialmente beneficioso para la salud, considerándose un alimento que sobresale por su perfil nutricional frente a otros cereales como el arroz y trigo (Rojas et al., 2016; Shi et al., 2020).

En Ecuador, la producción de quinua es realizada por pequeñas familias y comunidades indígenas en unidades productivas agropecuarias con una superficie menor a 1 ha, siendo las provincias productoras Chimborazo, Cotopaxi, Carchi, Imbabura, Pichincha y Loja. Silva (2021) indica que, en el año 2018, el 36% de la cosecha de quinua fue en Chimborazo y el 24% en Imbabura, cosechando 2048 hectáreas con un rendimiento total de 1,05 t/ha (Tabla 1). En el año 2022 se cosecharon 837 hectáreas distribuidas en las provincias de Chimborazo (519 ha) y Cotopaxi (337 ha) produciendo 1124 toneladas anuales teniendo un rendimiento de 1,34 t/ha (MAG, 2023). Dependiendo del manejo agronómico y factores como el clima y el suelo que tenga el cultivo este puede alcanzar un rendimiento de 7 a 11 t ha⁻¹ (Gómez & Aguilar, 2016).

La quinua es un grano que ofrece varias alternativas alimenticias, considerado un producto de exportación, dada la importancia en el mercado extranjero hacia países de Norteamérica y Europa, representando un incremento económico del mercado ecuatoriano (MAG, 2020). Actualmente la producción de la quinua en Ecuador lo lidera la provincia de Chimborazo que en su mayoría utiliza el sistema de producción de quinua

orgánica, con fines de exportación mediante la conformación de asociaciones de pequeños productores como la Corporación de productores y comercializadores orgánicos “Bio Taita Chimborazo”, generando ingresos para las comunidades de dicho sector (Mullo, 2019). En el año 2022 se exportaron 1291 toneladas de quinua por un valor de USD 3 millones de dólares (MAG, 2023).

Tabla 1. Superficie, producción y rendimiento de la quinua en el año 2018 en la sierra ecuatoriana según Ministerio de Agricultura y Ganadería y ESPAC.

Provincia	Superficie (ha)		Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
	Sembrada	Cosechada		
Chimborazo	790	752	611	0.81
Imbabura	531	531	681	1.28
Pichincha	472	387	404	1.05
Carchi	341	322	419	1.3
Cotopaxi	81	56	31	0.56
Total	2215	2048	2146	1.05

4.2. Taxonomía

Es importante conocer la categoría y grupo taxonómico para diferenciar e identificar las variables, formas silvestres y cultivadas. En la tabla 2, se muestra la ubicación taxonómicamente de quinua de la siguiente manera:

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la quinua según Chavez (2018).

TAXONOMÍA	
Reino:	Plantae
División:	Fanerógamas
Clase:	Dicotiledóneas
Subclase:	Angiospermas
Orden:	Centrospermas
Familia:	<i>Amaranthaceae</i>
Género:	<i>Chenopodium</i>
Especie:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.
Variedades:	Tunkahuan, Chimborazo y Pata de venado

4.3. Morfología

La quinua es una planta herbácea anual, dicotiledónea con una amplia distribución geográfica y un comportamiento diferente según las zonas agroecológicas donde se cultiva, además el color de la planta es variable según el genotipo desde el verde hasta el rojo (Vázquez et al., 2019). A continuación, se describe la morfología de la planta de quinua.

✓ Altura

La quinua puede alcanzar 1 hasta 3 metros de alto dependiendo de la variedad, de las zonas agroecológicas donde se cultivan (León, 2017).

✓ Raíz

Es de tipo pivotante, consta de una raíz principal donde salen un gran número de raíces laterales muy ramificadas, puede alcanzar de 0,8 hasta 1.5 m, determinado por el genotipo, textura y la profundidad del suelo, nutrición y humedad entre otros factores (Valdivia, 2018).

✓ Tallo

Es cilíndrico y angulosos a partir de las ramificaciones, con color variable desde el verde al rojo, cuando los tallos son jóvenes la medula es suave y de color blanca, por el contrario, es esponjosa, seca y de color crema al madurar, al momento de la cosecha queda hueco o vacío sin fibra (Toapanta, 2016). En algunas variedades presentan estrías y también axilas pigmentadas de color, verde rojo o púrpura.

✓ Hojas

Las hojas se disponen en forma alterna están formadas por peciolo y lámina, los peciolos son largos acanalados y finos, las hojas inferiores son de forma romboidal o de forma triangular, las hojas que se ubican cerca de la panoja son lanceoladas (Toapanta, 2016). Además, presentan una cubierta de oxalato de calcio en el haz como en el envés evitando la transpiración excesiva (León, 2017). Las hojas en el borde son dentadas y el color de la hoja puede estar desde el verde al rojo según la variedad.

✓ **Inflorescencia**

Es una panoja típica, conformada por un eje central y ramificaciones secundarias, terciarias y pedicelos que sostienen a los glomérulos. Su eje principal está más desarrollado que los secundarios, ésta puede ser laxa (Amarantiforme) o compacta (glomerulada) (Apaza et al., 2013). La longitud de la panoja puede estar de 30 a 80 cm, según el genotipo, geografía y condiciones del suelos (Herrerros, 2019).

✓ **Flores**

Las flores son pequeñas hasta los 3 mm, presentando tres tipos de flores; hermafroditas (pistilo y estambres) se ubican en la parte superior del glomérulo, las pistiladas (femeninas) en la parte inferior del glomérulo y las ultimas androestériles (pistilo y estambres estériles) (Toapanta, 2016).

✓ **Fruto**

Es un aquenio, con forma cilíndrica-lenticular, contiene una sola semilla, constituido por el perigonio que envuelve a la semilla, coloración variable y puede alcanzar un diámetro de 1,5 a 3 mm (Apaza et al., 2013).

✓ **Semilla**

Está constituida por tres partes bien definidas que son: epispermo: cubre la semilla adherida el pericarpio; embrión formado por dos cotiledones y la radícula constituyendo el 30% del volumen total de la semilla; perisperma: tejido de almacenamiento constituido por granos de almidón, color blanquecino representando el 60% de la superficie de la semilla (Gómez & Aguilar, 2016).

4.4. Fenología

Las etapas fenológicas de la quinoa están basadas según la escala BBCH, descrita por Sosa et al. (2017), de la siguiente manera:

❖ **Estado fenológico principal 0: Germinación**

El inicio de la imbibición de la semilla (etapa 0), la imbibición completa de la semilla (etapa 03) y emergencia de la radícula (etapa 05). Posterior una subetapa emergencia del coleóptilo (estadio 08). Finaliza esta etapa con la emergencia de los cotiledones hacia la superficie del suelo (etapa 09) (Sosa et al., 2017).

❖ **Fase fenológica principal 1: Desarrollo de hojas**

Esta etapa está dada por la expansión de los dos cotiledones (etapa10), seguido de la aparición del primer par de hojas en proceso de expansión (etapa 11) (Sosa et al., 2017).

❖ **Fase fenológica principal 2: Formación de ramas laterales (Tallos secundarios)**

En esta fase se visualiza la aparición de los tallos secundarios comenzando a emerger ante la primera yema floral visible. El primer brote lateral (etapa 21), el segundo brote lateral (etapa 22) (Sosa et al., 2017).

❖ **Etapa principal de crecimiento 3: elongación del tallo**

❖ **Etapa principal de crecimiento 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables**

❖ **Etapa principal de crecimiento 5: emergencia de la inflorescencia**

Se observa la inflorescencia envuelta por hojas jóvenes (estadio 50). Después la inflorescencia se hace visible desde la parte superior (estadio 51). Finalmente, la inflorescencia queda visible y sus flores se encuentran cerradas (etapa 59) (Sosa et al., 2017).

❖ **Etapa principal de crecimiento 6: floración**

Aparición de las primeras anteras (estadio 60). Se observa anteras senescentes en las flores de la inflorescencia principal (estadio 69) (Sosa et al., 2017).

❖ **Etapa principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto**

El desarrollo del fruto en el tallo principal, iniciando con el cuajado de estos (estadio 70), el engrosamiento del ovario y aparición de los primeros granos (Sosa et al., 2017).

❖ **Etapa principal de crecimiento 8: Maduración**

En la maduración del fruto, la humedad varía, variando en su textura y color del pericarpio. Clasificándose en grano lechoso (estadios 81), grano pastoso (etapa 85) y grano maduro (etapa 89). El grano lechoso es característico por tener un contenido líquido blanco y por ser de color verde. Los granos pastosos, tienen un contenido blanquecino cuando son aplastados, y su color varía entre verdes y beige. Los granos maduros no se rompen tienen un contenido seco, listos para la cosecha (Sosa et al., 2017).

❖ **Etapa principal de crecimiento 9: Senescencia**

La senescencia comienza en las hojas basales (estadio 91) y continua de las hojas de la primera mitad del tallo (estadio 93). Posteriormente, las hojas basales mueren y el tallo presenta un color amarillo a marrón (etapa 95). Finalmente, toda la planta se seca (etapa 97), y el producto es cosechado (etapa 99) (Sosa et al., 2017).

4.5. Condiciones edafoclimáticas del cultivo de quinua

En la tabla 3, se presentan los requerimientos edáficos y climáticos del cultivo de quinua durante para lograr un buen desarrollo:

Tabla 3. Condiciones edafoclimáticas para el desarrollo de la quinua según Chavez (2018).

Componente	Característica	Observaciones
Suelo	Suelos francos con buen drenaje un pH varía de 6 a 8,5	La quinua es susceptible a la humedad alta en los primeros estadios.
Clima	Distintas condiciones agroecológicas	Adaptación de genotipos a diferentes climas.
Riego	$\frac{3}{4}$ capacidad de campo 250 – 500 mm de lluvia anual	Adecuado desarrollo a este nivel de humedad.
Humedad	40-100%	Generando un mayor potencial productivo.
Temperatura	15 – 20°C	En determinadas fases fenológicas pueden soportar -4°C siendo más tolerante en la fase de ramificación.
Fotoperiodo	Varios regímenes de luz	Genotipos adecuados a días cortos, largos e independientes al fotoperiodo.
Altura	0-4000 m de altura	Se ha observado el mayor potencial productivo (6 000 kg/ha).

4.6. Importancia del nitrógeno sobre crecimiento y rendimiento

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, teniendo funciones estructurales como la síntesis de ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides, así mismo la función osmótica asociada a la reducción del potencial hídrico dentro proceso de osmorregulación, siendo el agua un factor importante en el desarrollo de la planta interviniendo en la actividad metabólica a nivel celular, actuando el N como un agente osmótico ya que intervine en la retención de agua

en las vacuolas. (Chavarría, 2022). Las plantas por medio de la raíz absorben principalmente en forma de iones nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Las bacterias que fijan nitrógeno atmosférico lo transforman en amoniaco (NH_3), a disposición de la planta hospedera estableciendo relaciones simbióticas y formando nódulos en sus raíces, recibiendo la bacteria compuestos carbonados de la planta como energía (Meyer et al., 2017).

Además, el nitrógeno influye en el crecimiento vegetativo y la fotosíntesis de la planta, determinando el número de hojas, el número de semillas por inflorescencia obteniendo un mayor rendimiento y también directamente asociados con incrementos significativos en crecimiento vegetal y productividad de biomasa (kg, t) por unidad de área (ha) (Chavarría, 2022). Una cantidad nitrógeno adecuada contribuye a la cantidad de proteína, sin embargo, el nitrógeno excesivo, desequilibrado en cereales, produce competencia de malas hierbas y ataques de plagas, con pérdidas sustanciales de producción, además posiblemente se pierda en el ambiente al no ser absorbido por la planta (Gómez & Aguilar, 2016)

4.7. Biofertilizantes

La importancia que tienen los microorganismos en la naturaleza es cada día más evidente, ante la necesidad de adoptar medidas conservacionistas y sustentables en la agricultura, los biofertilizantes a base de microorganismos se contemplan como una alternativa para la sustitución parcial o total de los fertilizantes químicos (Grageda et al., 2012). Las PGPB son bacterias de vida libre en el suelo colonizan la rizosfera o el tejido de las plantas, beneficiándose de la fuente de carbono y nutrientes presentes en los exudados radiculares ejerciendo un efecto positivo sobre el crecimiento. Según Posada *et al.* (2021) los PGPB presentan dos mecanismo como:

❖ Mecanismos directos

- ✓ Fijación biológica: proceso donde las bacterias reducen el nitrógeno atmosférico a amoniaco para su asimilación por parte de las plantas.
- ✓ Disponibilidad de nutrientes de potasio, hierro y fosforo mediante la solubilización y mineralización que realiza la bacteria para ser fácilmente asimilado por las plantas.
- ✓ Producción de hormonas vegetales como:

Auxinas: la auxina más conocida es el ácido 3-indol-acético (AIA), promueve el crecimiento vegetal que facilita la iniciación de raíces, la división celular de órganos como raíces, tallos y hojas, elongación y establecimiento de raíces, además se ha encontrado una disminución de etileno (Garay et al., 2014).

Giberelinas: estimulan la elongación del tallo, crecimiento de la fruta, la determinación de cambios en el fotoperiodo, la participación en tardanza de la dormancia de brotes y semillas, además asociada en el crecimiento radicular, debido a que regularizan la abundancia de los pelos radiculares. Así mismo, estimulan la división celular, controlan la actividad mitótica y activan las enzimas responsables de la biosíntesis de fosfolípidos (Posada et al., 2021). El ácido giberélico (GA3), interviene en el alargamiento de los segmentos nodales estimulando la elongación celular en respuesta a las condiciones de luz y oscuridad. Por otra parte, se involucra en procesos de iniciación de la floración, siendo importante en la fertilidad de las plantas (Alcantara et al., 2019)

Citoquininas: regula la citoquinesis e interviene en la división celular, además estimula el crecimiento de raíces y la formación de pelos absorbentes, al igual que pueden activar la senescencia de las hojas, permitiendo estimular el desarrollo fotomorfogénico en la producción de brotes a nivel vegetal (Yong et al., 2009)

Etileno: promueve la germinación, desarrollo de raíces, formación de pelos absorbentes y la senescencia de la planta, sin embargo cuando esta hormona se encuentra en una alta concentración causa una inhibición de la elongación radicular (Posada et al., 2021).

Acido abscísico (ABA): asociada al cierre estomático, debido a un efecto regulatorio del flujo de agua en las plantas, evita efectos negativos ante el estrés, también interviene en la maduración de frutos y la inhibición de la germinación de semillas, así mismo en la dormancia de los brotes y protección contra estreses abióticos y toxicidad por metales (Posada et al., 2021; Alcantara et al., 2019).

Jasmonatos: actúan como un mecanismo de defensa en respuesta a heridas producidas por insectos, ataques de patógenos, estreses ambientales y toxicidad por metales pesados. Se ha reportado la producción microbiana de ácido jasmónico y su precursor, el ácido 12-oxo-fitotodienoico en bacterias endófitas aisladas en girasol (Forchetti et al., 2007).

❖ Mecanismos indirectos

- ✓ Producción de sideróforos: afinidad al hierro, aumentando la disponibilidad de este elemento y reduciendo el crecimiento de patógenos.
- ✓ Producción de enzimas hidrolíticas y antibióticos: Permite a las bacterias prevenir o contrarrestar algún efecto de patógenos por medio de la inhibición de su crecimiento.
- ✓ Producción de biopelículas: Se produce sobre el tejido radicular, disminuyendo los efectos que produce la alta salinidad y la sequía (Posada et al., 2021).

4.7.1. Biofertilizante BlueN (*Methylobacterium symbioticum* SB23)

Es un producto biológico (BlueN) a base de cepas de *Methylobacterium symbioticum* SB23 patentada por la biotecnología, caracterizado por fijar nitrógeno atmosférico, permitiendo un desarrollo adecuado en los cultivos, al tener un nivel de nitrógeno equilibrado, adaptándose a los estados fenológicos en que el cultivo requiera de este elemento. Symborg (2023), realizó pruebas en campo en maíz donde obtuvieron una respuesta directa en el rendimiento de este cultivo, así mismo mencionan que aporta un 40 % de nitrógeno de forma biológica en cobertera según la necesidad del cultivo, siendo un potencial para el suministro de este elemento en áreas vulnerables.

❖ Modo de acción del biofertilizante BlueN

La aplicación de BlueN es de forma foliar, se recomienda aplicar en las primeras fases del cultivo para obtener su máxima eficiencia. La bacteria *M. symbioticum* ingresa a la planta a través de los estomas de las hojas colonizando en el interior de las células fotosintéticas situándose en la zona del citoplasma cercano al cloroplasto. Presenta cromóforos y metilobamina actuando como una protección ultravioleta, teniendo una propiedad de reflejar la luz hacia el cloroplasto, donde hay una gran cantidad de hierro y molibdeno lo que intensifica la fotosíntesis, esta bacteria es metilotrófica, siendo capaz de utilizar compuestos como el metanol como alimento, donde al principio la bacteria recoge el metanol de la planta, y una vez en la células fotosintéticas, produce metanol de la fotosíntesis anoxigénica para sobrevivir, multiplicarse y colonizar nuevos tejidos, transportándose por medio de un flagelo junto con el agua y los metabolitos de la fotosíntesis donde comienza el ciclo de la nitrogenasa suministrando amonio a la planta (Corteva Agriscience, 2023).

La bacteria *M. symbioticum* usa el complejo enzimático de la nitrogenasa, que son unas enzimas que rompen el nitrógeno de la atmósfera y lo combinan con hidrógeno, para convertir el N₂ en amonio (NH₄⁺). Para la asimilación de amonio hay dos rutas, enzimas glutamato sintetasa y glutamina sintetasa, desempeñan funciones claves como la síntesis de proteínas e hidratos de carbono, de este modo, la planta tiene un flujo constante de nitrógeno durante todo el ciclo del cultivo, reduciendo así el consumo de energía de la vía enzimática nitrato reductasa ya que convertiría menor cantidad de nitrato en amonio dentro de la planta. De esta forma, las plantas pueden utilizar la energía ahorrada durante el crecimiento vegetativo (Ecomercio Agrario, 2019).

4.8. Estudios previos sobre el Efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua

Lastra y Paucar (2023), evaluaron el efecto de la aplicación foliar Blue-N (*M. symbioticum* SB3) en la producción sostenible de papa en Perú, emplearon un DBCA con seis tratamientos y tres repeticiones siendo un testigo absoluto, un testigo relativo y cuatro tratamientos con dosis de 80, 140, 200 y 250 g/200 l de Blue-N, presentado un efecto significativo con una dosis de 250 g/200 L Blue-N para las variables de altura de la planta (56,27 cm), N° de tallos/planta (4,00), N° de tubérculos planta (15,73), peso del tubérculo/planta (1148,13 g) y el rendimiento de 39,16 t/ha, determinando que este producto influye positivamente en el crecimiento y rendimiento de este cultivo.

Medina *et al.* (2019), determino el efecto *Methylobacterium extorquens* en el desarrollo vegetal en plantas de jitomate, dando los mejores resultados a una concentración de 109 UFC ml⁻¹, promoviendo un mejor crecimiento vegetal como en la variable de longitud de la raíz, además presento un mayor peso seco de la planta y de la raíz, influyendo positivamente en el rendimiento.

Torres *et al.* (2023), en su estudio midieron la eficacia de *Methylobacterium symbioticum* en plantas de maíz y fresa bajo diferentes dosis de fertilización con nitrógeno, encontraron que las bacterias permitieron una disminución del 50 y 25% en la cantidad de nitrógeno, así mismo un aumento en la capacidad fotosintética a comparación del control en todas las condiciones nutricionales, así mismo obtuvieron una disminución la actividad de la nitrato reductasa en plantas de maíz con respecto a las plantas de fresa inoculadas y cultivadas tuvieron una reducción del 25% de nitrógeno tenían una mayor

concentración de nitrógeno en las hojas que las plantas de control en condiciones nutricionales óptimas, evidenciándose un mayor contenido de clorofila.

Choque (2017), en Bolivia, nos indica que, la aplicación de materia orgánica y cepas fijadoras de nitrógeno influyo sobre la altura de planta, altura y diámetro de panoja y rendimiento, sin embargo al aplicar solo cepas de bacterias fijadoras de nitrógeno, reportó 401,75 kg/ha de rendimiento y con la aplicación combinada de abonamiento (estiércol de ovino) y cepas de bacterias fijadoras de nitrógeno tuvo un rendimiento mayor 500,18 kg/ha, comparado al testigo con 289,49 kg/ha obtuvo diferencias significativas.

5. Metodología

5.1. Ubicación de la investigación

La presente investigación se realizó en el invernadero de la quinta Experimental Docente “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en el sector la Argelia al sur de la ciudad de Loja (figura 1). Geográficamente se sitúa en las coordenadas $4^{\circ} 1' 57''$ latitud Sur y $79^{\circ} 12' 14''$ Oeste (Mapcarta, 2022). Se encuentra a una altitud de 2138 m.s.n.m, presenta una temperatura de $16,1^{\circ}\text{C}$, precipitación media anual de 1089,3 mm y una humedad relativa del 74%. El suelo es franco limoso y tiene un pH de 5,3 (González, 2019).

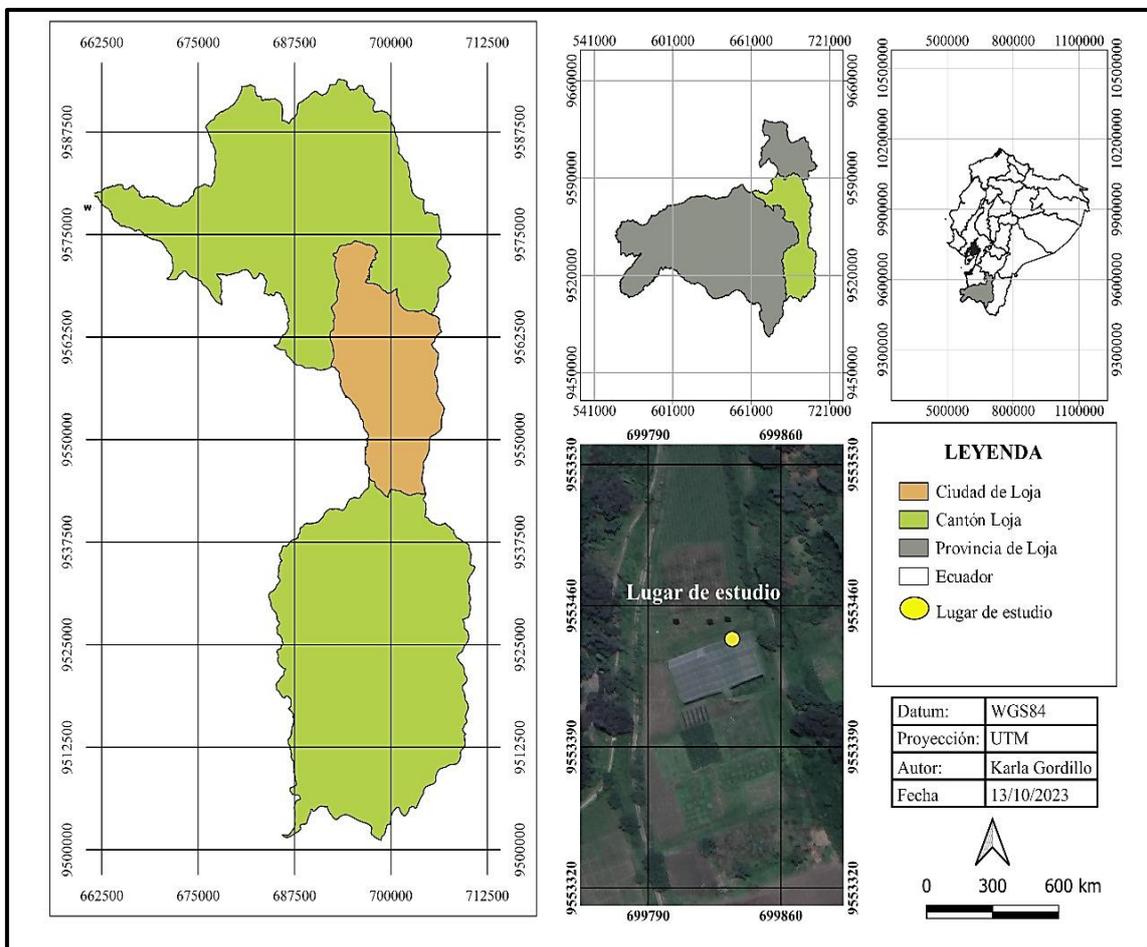


Figura 1. Ubicación del experimento en la Quinta Experimental Docente “La Argelia”.

5.2. Metodología general

5.2.1. Establecimiento y manejo del cultivo

En la presente investigación se llevaron a cabo distintas actividades como:

❖ Elaboración del sustrato y llenado de macetas

Se utilizaron fundas de polietileno de 30 cm x 45 cm, como sustrato una mezcla de suelo franco-arcilloso, arena y biocompost en proporción de 2:1:1 (anexo 4).

❖ Siembra

La variedad que se utilizó fue Tunkahuan. Para la siembra se colocó las semillas a 2 cm de profundidad a razón de 15 semillas por funda. Cuando se observó el primer par de hojas verdaderas, se procedió a ralea dejando 3 plantas por funda (anexo 5).

❖ Manejo del cultivo

Se monitoreó permanentemente el cultivo. Durante su desarrollo se presentó la enfermedad *Peronospora variabilis*, para lo cual se realizó el control a base de Mancozeb con tres aplicaciones por ciclo, cada 8 días. Por otro lado, se presentó la plaga *Trialeurodes vaporariorum*, y se hizo un control a base de Cypermethrin con dos aplicaciones por ciclo de cultivo, cada 4 días, con una dosis de 1 cm cada 2 litros (anexo 6). Las malas hierbas se eliminaron a mano. También se realizó una corrección de suelo, tomando como referencia el análisis del suelo realizado en la Argelia por Pineda (2022), en donde mostró una deficiencia de los elementos de fósforo (P) y potasio (K). Para ello se empleó el superfosfato triple en una dosis de 119 g y muriato de potasio con una dosis de 69 g para el total del ensayo (anexo 2).

5.2.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental, estableciéndose un diseño experimental con tratamientos y sus respectivas repeticiones, además tiene un enfoque cuantitativo debido a la recopilación de datos numéricos y el análisis estadístico de la población. El experimento tiene un alcance descriptivo y comparativo, ya que se determinó si la aplicación del biofertilizante (BlueN) como fuente nitrogenada incide en los parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua.

5.2.3. Diseño Experimental

Para esta investigación se estableció un Diseño completamente al Azar (DCA), con 6 tratamientos y 7 repeticiones, teniendo un total de 42 unidades experimentales (UE), donde cada unidad experimental está constituida por una funda con tres plantas, dando

un total de 126 plantas en todo el ensayo (figura 3), con un factor de fertilización nitrogenada (Urea y Biofertilizante BlueN).

5.2.4. Tratamientos del estudio

En la tabla 4, se describe los tratamientos implementados para la evaluación de crecimiento y rendimiento de quinua usando BlueN como fuente nitrogenada bajo condiciones de invernadero

Tabla 4. Tratamientos implementados en el ensayo.

Número de tratamiento	Momentos de aplicación
1	Testigo
2	Aplicación de Fertilizante sintético (Urea) en el momento V4- 38 días después de la siembra.
3	Aplicación BlueN en un momento V4 - 38 días después de la siembra.
4	Aplicación BlueN en dos momentos (V4-V5) 38 y 69 después de la siembra).
5	Aplicación BlueN en tres momentos (V4, V5 y V6) 38, 69 y 104 días después de la siembra.
6	Aplicación BlueN en cuatro momentos (V4, V5, V6 y V7) 38, 69, 104 y 127 días después de la siembra).

✓ Fertilizante sintético

Para este tratamiento se utilizó urea, se esparció alrededor de las plantas (anexo 8), la dosis de aplicación se obtuvo en base al análisis del suelo realizado en la Argelia por Pineda (2022), donde obtuvo pH: 5,96; M.O: 1,77 %; N: 0,09 %; P: 16,3 mg/kg; K: 0,10 cmol/kg; Ca: 3,81 cmol/kg; mg 0,28 cmol/kg; Fe: 205,1 mg/kg; Mn: 13,17 mg/kg; Cu: 2,68 mg/kg y Zn: <1,60 mg/kg. Para determinar la dosis de N se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Dosis de N} = \frac{(\text{Demanda del cultivo}) - (\text{Aporte del suelo})}{\text{Eficiencia del fertilizante}}$$

- ❖ La dosis de urea para este tratamiento es de 8 g (anexo 2), en donde en cada repetición se aplicó 1,14 g/funda una sola vez en la etapa V4: quinto par de hojas verdaderas (38 DDS) (figura 2).

✓ **Biofertilizante**

Se utilizó BlueN fabricado por la empresa *Symborg*, a base de una bacteria fijadora de nitrógeno *Methylobacterium symbioticum* Sb23 en una concentración de 3×10^7 UFC/g, caracterizada por fijar nitrógeno atmosférico. La bacteria coloniza la filosfera ingresa a través de los estomas de las hojas, se instala en las células fotosintéticas, mediante un sistema enzimático de nitrogenasa realiza esta fijación biológica convirtiendo el nitrógeno atmosférico en amonio directamente aprovechable para la planta.

La aplicación de este biofertilizante se realizó en base a la fenología del cultivo (figura 2), en diferentes momentos V4: quinto par de hojas verdaderas (38 DDS); V5 prefloración (69 DDS); V6: Floración (104 DDS), V7, llenado de grano lechoso (127 DDS).

- ❖ **Dosis:** 10 g diluida en 5 l de agua distribuida para los cuatro tratamientos se aplicó de manera foliar y en las primeras horas de la mañana cuando las estomas de las hojas estaban completamente abiertas (anexo 3 y 7).

						
Germinación	Desarrollo de hojas	Formación de brotes laterales	Emergencia de Inflorescencia	Floración	Desarrollo del Fruto	Senescencia
7-11 días	11-51 días	51- 71 días	71-84 días	106-118 días	123-216 días	216- 241 días

Figura 2. Estados fenológicos del cultivo de la quinua bajo invernadero.

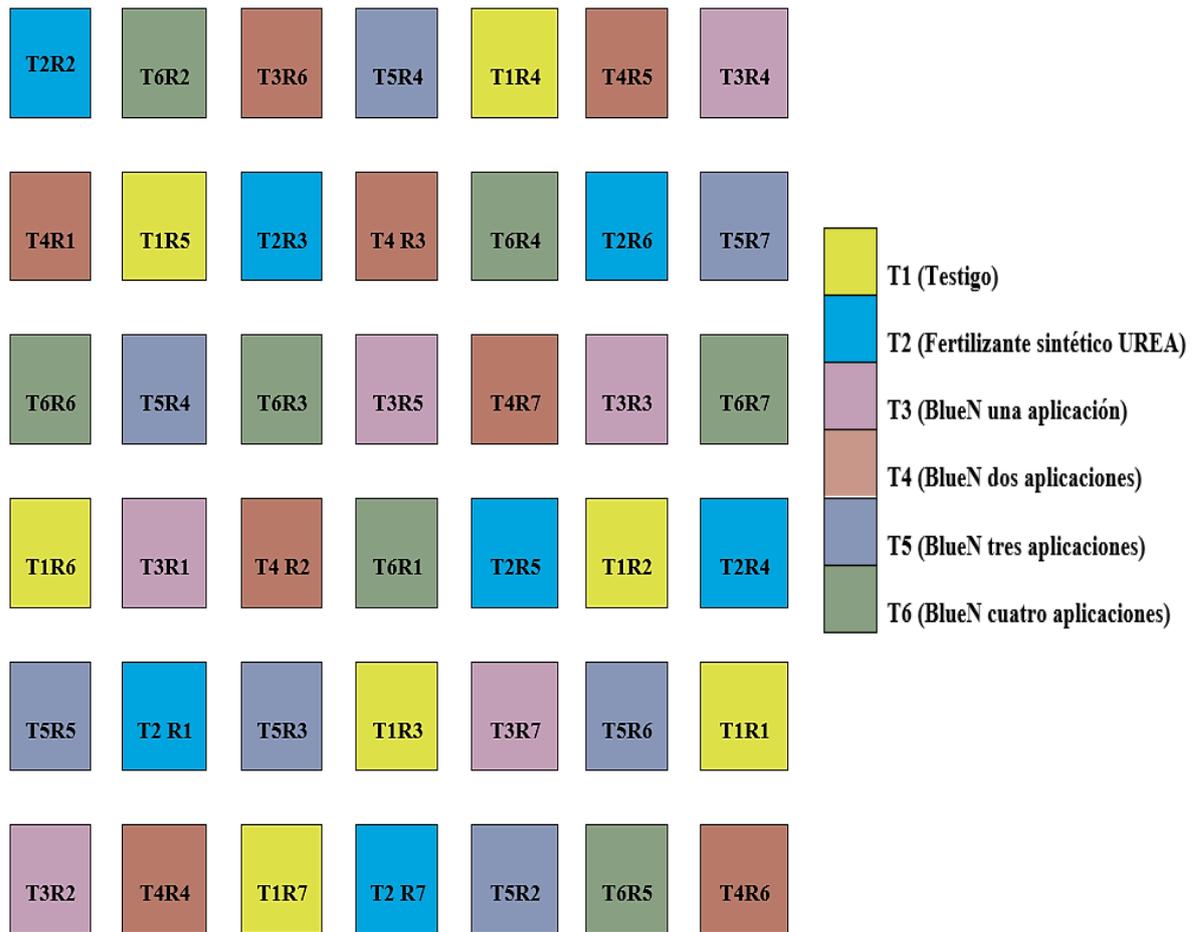


Figura 3. Esquema del experimento y distribución de las unidades experimentales en el campo.

5.2.5. Modelo estadístico

El modelo matemático empleado para el diseño completamente al azar (DCA) es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} Variable respuesta

μ Media general común a todos los tratamientos

τ_i Efecto del factor

ε_{ij} Error experimental

5.3. Metodología para el primer objetivo: Describir el efecto de BlueN, como fuente nitrogenada sobre las variables morfológicas durante el crecimiento del cultivo de quinua.

Para el cumplimiento del primer objetivo se utilizó la planta central de cada unidad experimental, registrando los datos semanalmente de las variables altura de la planta, diámetro del tallo y contenido de clorofila, por otro lado, el índice de área foliar se registró a los 57, 71, 85, 99, 113 y 127 días. Finalmente, en la cosecha se evaluó las variables de longitud y diámetro de la panoja, longitud y peso de la raíz y la biomasa aérea. A continuación, se detallan las variables:

- **Altura de planta:** Se registro en cm esta variable, se midió con un flexómetro desde la base inferior del tallo hasta el ápice de la panoja principal (anexo 9).
- **Diámetro del tallo:** Se tomaron las medidas en centímetros con un calibrador Vernier en la parte inferior del tallo a partir de los 5 cm a nivel del suelo (anexo 10).
- **Contenido de clorofila:** Se realizó las lecturas de clorofila utilizando un equipo Minolta SPAD 502. Se tomaron medidas colocando el SPAD en dos hojas de cada planta obteniendo un promedio de clorofila de cada unidad experimental (anexo 11).
- **Índice de área foliar (IAF):** Se estimó mediante imágenes hemisféricas. Con una cámara GoPro HERO9, se tomó fotografías desde abajo hacia arriba acoplada con un lente ojo de pez permitiendo tomar fotografías con un campo de visión (FOV) alrededor de 180 grados. La cámara se colocó en el centro de las fundas en el suelo (anexo 12), y después se analizó las imágenes mediante el software Can-Eye (INRA), como sugieren Apolo *et al.* (2020).
- **Longitud de panoja:** La longitud de la panoja se evaluó en la fase de la madurez fisiológico, desde la base de la panoja hasta el ápice de la misma con un flexómetro y los datos se registraron en cm (anexo 13).
- **Diámetro de la panoja:** Se midió en la parte central de la panoja se consideró la altura de los 2/3 desde la base de la panoja y se registró en centímetros (cm) (anexo 13).

- **Longitud de la raíz:** Se midió desde la parte del cuello de la planta hasta el ápice de la raíz principal con un flexómetro y los resultados se registraron en cm (anexo 14).
- **Peso de la raíz:** Se seleccionó la raíz de una planta de cada unidad experimental, se pesó en una balanza digital y los resultados se expresaron en g (anexo 14).
- **Biomasa aérea:** Esta variable se evaluó en la cosecha, para ello se utilizó 3 plantas, se separó tallos, ramas y hojas con una tijera de podar, donde el material vegetal fue colocado en fundas de papel (anexo 15), posteriormente se pesó en una balanza gramera y se registró el peso inicial después se colocó en la estufa a 70 °C durante tres días, finalmente se pesó hasta llegar a peso constante.
- **Condiciones climáticas:** Se realizó el registro diario de temperatura y humedad relativa utilizando un termohigrómetro que se ubicó en el lugar del experimento.
- **Fenología:** Una vez establecido el cultivo se realizó el seguimiento de la fenología semanalmente, para ello se utilizó como referencia la escala BBCH elaborada por Sosa *et al.* (2017) (tabla 5). Cada etapa fenológica se estableció cuando el 50 % de las plantas de cada tratamiento completo la etapa (anexo 16).

Tabla 5. Etapas fenológicas del cultivo de la quinua en la escala BBCH según Sosa *et al.* (2017).

Código	Descripción
0	Geminación
1	Desarrollo de hojas
2	Formación de brotes laterales
3	Elongación del tallo
4	Desarrollo de partes vegetativas cosechables
5	Emergencia de florescencia
6	Floración
7	Desarrollo del fruto
8	Fruto maduro
9	Senescencia

5.4. Metodología para el segundo objetivo: Determinar las variables productivas usando BlueN, como fuente fijadora nitrógeno en el cultivo de quinua.

Para el cumplimiento del segundo objetivo, se evaluaron las variables productivas al finalizar el experimento como el peso de 1000 granos, número de granos, rendimiento e índice de cosecha, para ello se utilizó las tres plantas de cada unidad experimental. A continuación, se describen las variables:

- **Peso de 1000 granos:** Se procedió a trillar las plantas, una vez obtenido los granos se pasó por los tamizadores (anexo 17). Luego por la máquina limpiadora separando el grano de las impurezas (anexo 19). Se pesó una muestra representativa de 100 granos y mediante una regla de tres se expresó el peso de 1000 granos en g (anexo 20).
- **Número de granos** Se determinó el peso total de granos por planta (anexo 18) y la información del peso de 1000 granos, con ello se estimó el número total de granos por planta mediante una regla de tres.
- **Rendimiento:** El rendimiento se determinó con la siguiente fórmula:

$$R = NG \text{ planta}^{-1} * PG$$

Donde:

R= Rendimiento

NG planta⁻¹ = número de granos por planta

PG= Peso promedio de granos

- **Índice de cosecha (IC):** Con la biomasa y el rendimiento de cada unidad experimental se calculó el IC, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\text{rendimiento del grano } gm^{-1}}{\text{biomasa aerea total } gm^{-1}}$$

5.5. Análisis estadístico

Los datos se registraron en Microsoft Excel, para su análisis estadístico se utilizó el programa Infostat. Para determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparaciones múltiples mediante el test Tukey (p -valor $<0,05$), para determinar si existen o no diferencias entre las variables de crecimiento y rendimiento. Así mismo se realizó una correlación de las variables en estudio utilizando el coeficiente de correlación de Pearson.

5.6. Aislamiento y caracterización de *Methylobacterium sp.* en hojas de quinua.

Para el aislamiento de *Methylobacterium sp.* se realizó diluciones seriadas partiendo de la recolección de material vegetal de cultivo de quinua (10 hojas) de la parte intermedia de la planta. Una vez obtenidas las muestras, en el laboratorio de Sanidad Vegetal se procedió a licuar 10g de las muestras de hojas con 100 ml de agua peptona obteniendo a una solución madre de nuestras diluciones. Luego con la ayuda de la pipeta electrónica y puntas estériles se tomaron 1000 μ l de la muestra madre y se transfirieron al siguiente tubo (1×10^{-1}) y con ayuda del vortex se agito la muestra para continuar con la misma metodología hasta completar la solución 10^{-5} . Obtenidas las muestras diluidas de los tubos etiquetados con 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} se procedió a sembrar 100 μ l de cada uno de ellos en cajas con medio de cultivo (AN) y se incubó a 28°C para realizar el monitoreo de crecimiento de bacterias a las 48H (anexo 21).

Para evidenciar si efectivamente crecieron bacterias del género *Methylobacterium sp.*, se sembró las bacterias crecidas en medio de cultivo AN, en cajas con medio selectivo sólido de amonio y sales minerales (AMS) siguiendo la metodología de Medina *et al.* (2019). Una vez que las colonias crecieron en este medio específico se procedió a realizar tinción gram y posteriormente se procedió a observar en el microscopio para identificar y caracterizar la bacteria.

6. Resultados

6.1. Altura de la planta

Se evaluó el efecto de BlueN como fuente nitrogenada en la altura de la planta (figura 4) desde el día 42 al 134 DDS, en donde el crecimiento de las plantas en las primeras etapas fenológicas fue similar entre los tratamientos. Sin embargo, desde el día 111 al 134 correspondiente a la etapa de floración y llenado de grano lechoso presentó diferencias estadísticas significativas. El tratamiento con el biofertilizante aplicado en dos momentos, presentó el mayor valor de altura de 176 cm, mientras que el tratamiento del biofertilizante aplicado en cuatro momentos obtuvo el menor valor 143,86 cm.

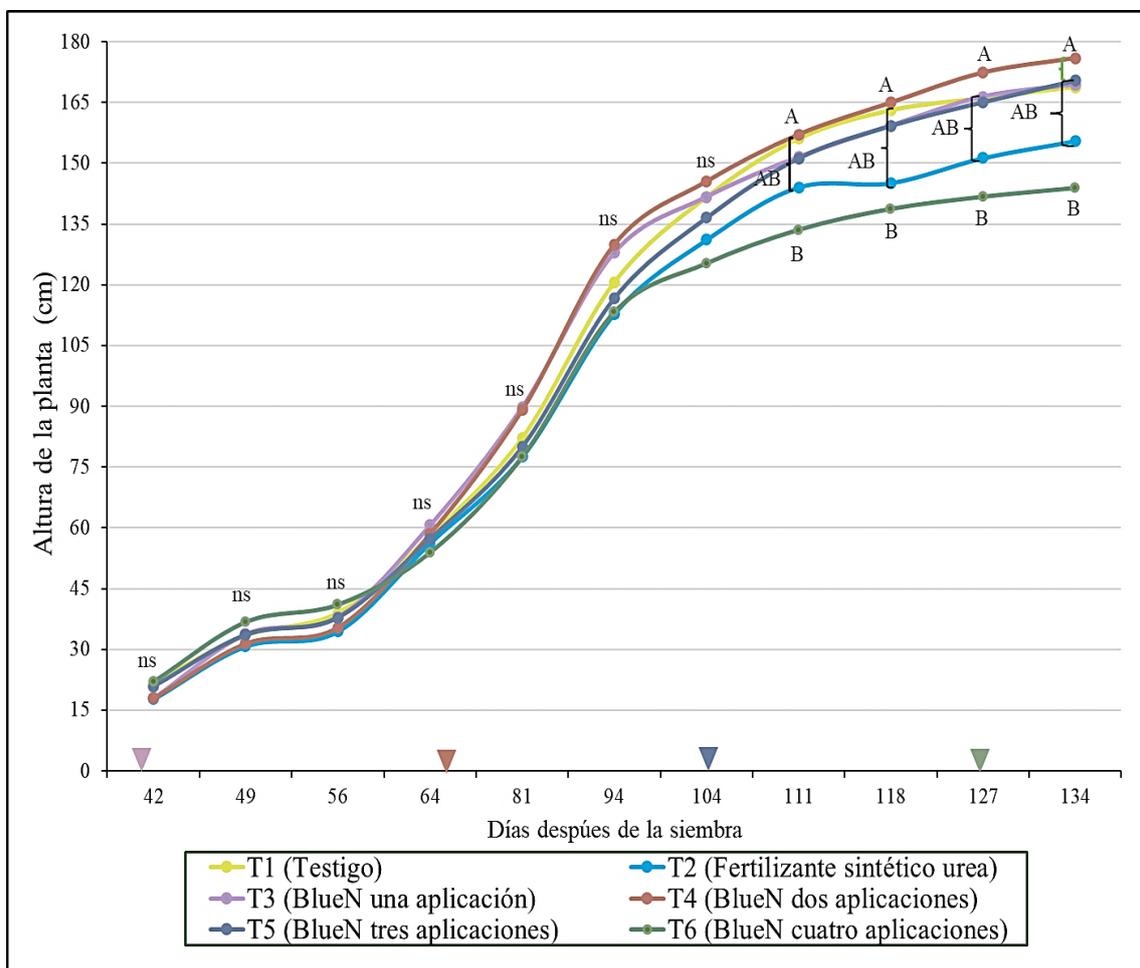


Figura 4. Efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre la altura de la planta (cm) de quinua desde el día 42 al 134 DDS. Los triángulos ubicados sobre el eje “x” muestran la etapa fenológica (v4, v5, v6 y v7); (ns) efecto no significativo; letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.

6.2. Diámetro del tallo

Para el diámetro del tallo (cm), no se observó un efecto significativo desde el día 42 hasta 64 DDS, no obstante, se encontró diferencias estadísticamente significativas a partir de la etapa de prefloración hasta el llenado de grano lechoso correspondiente al día 81 hasta 134 DDS (figura 5). En la última evaluación se observó que el T4 (BlueN aplicado en dos momentos) obtuvo un mayor promedio de 1,24 cm, mientras que el tratamiento T6 (BlueN aplicado en cuatro momentos) presentó un menor diámetro de 0,99 cm.

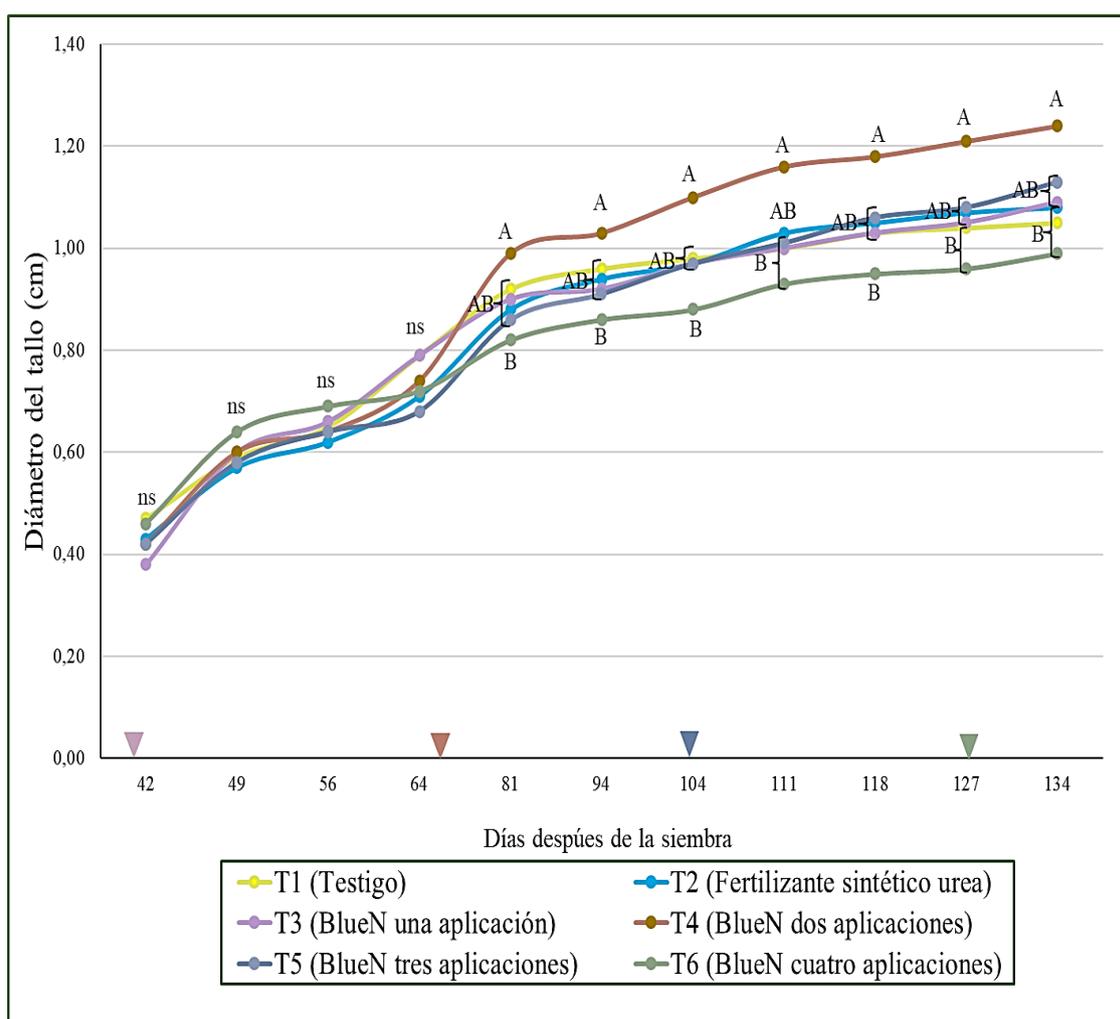


Figura 5. Dinámica de crecimiento del diámetro del tallo desde el día 42 al 127 DDS con la aplicación del Biofertilizante (BlueN) como fuente nitrogenada. Los triángulos ubicados sobre el eje “x” muestran la etapa fenológica (v4, v5, v6 y v7); (ns) efecto no significativo; letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.

6.3. Índice de área foliar (IAF)

En el Índice de área foliar para todos los tratamientos desde 57 al 127 DDS si mostro diferencias significativas (figura 6). A los 113 DDS, la aplicación del biofertilizante en tres momentos presentó un mayor incremento de IAF con un promedio de 2,31 por el contrario, el T1(Testigo) obtuvo el menor promedio 1,88. Además se puede observar que a partir del día 127 DDS en todos los tratamientos el IAF disminuye debido a la caída de las hojas secas inferiores de la planta.

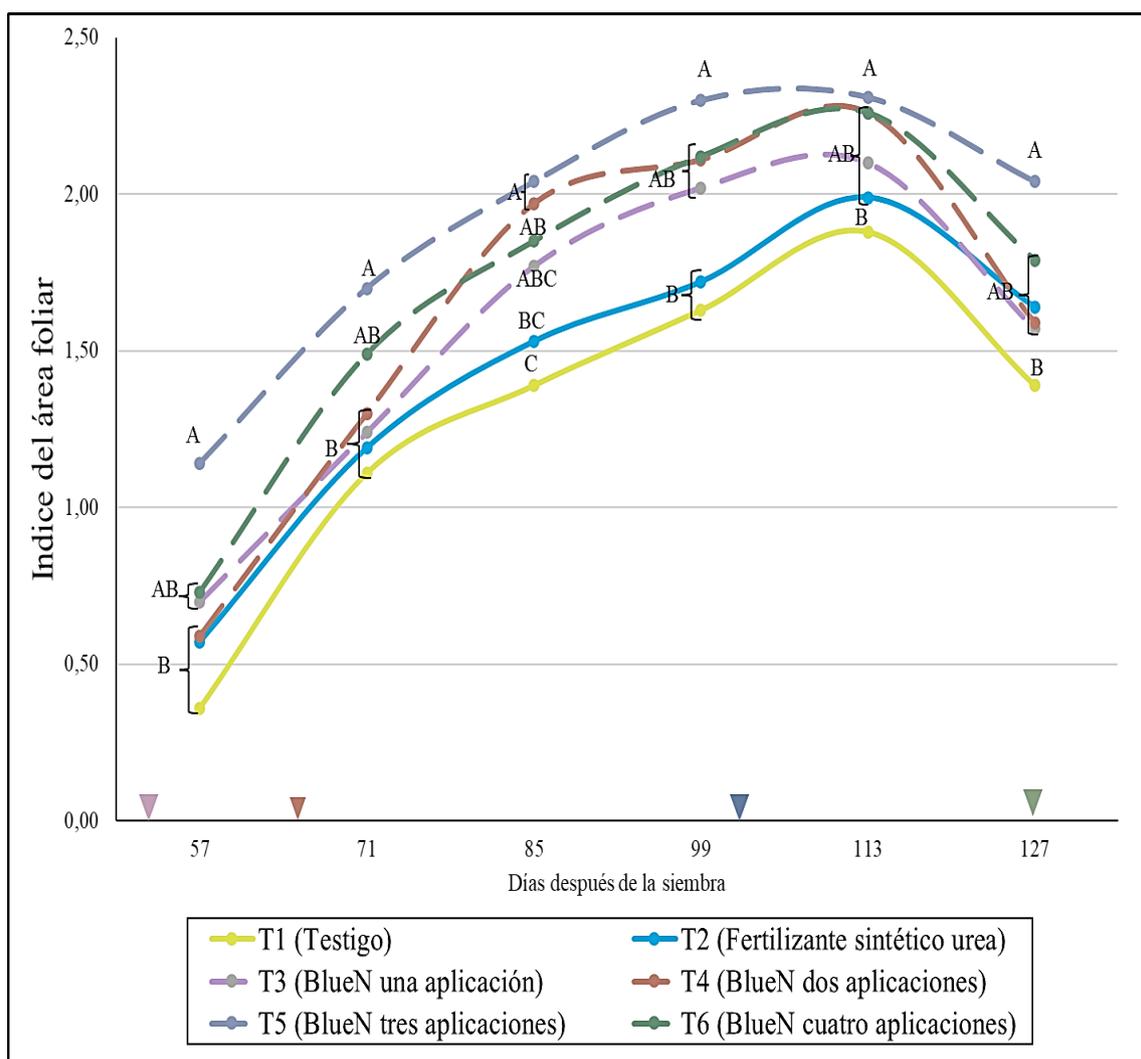


Figura 6. Efecto del BlueN como fuente nitrogenada sobre el parámetro del Índice de Área Foliar (IAF) en quinua evaluada desde el día 57 DDS hasta 127 DDS. Los triángulos ubicados sobre el eje “x” muestran la etapa fenológica (v4, v5, v6 y v7); (ns) efecto no significativo; letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.

6.4. SPAD

En la figura 7, se observaron diferencias significativas en el contenido de clorofila excepto en el día 155 DDS correspondiente al llenado de grano lechoso. En la etapa de floración a los 120 DDS, BlueN aplicado en tres momentos presentó un valor alto de clorofila de 68,31 teniendo una mayor intensidad del color verde en las hojas, a diferencia del T1 (testigo) que presentó un bajo contenido de clorofila de 53,6.

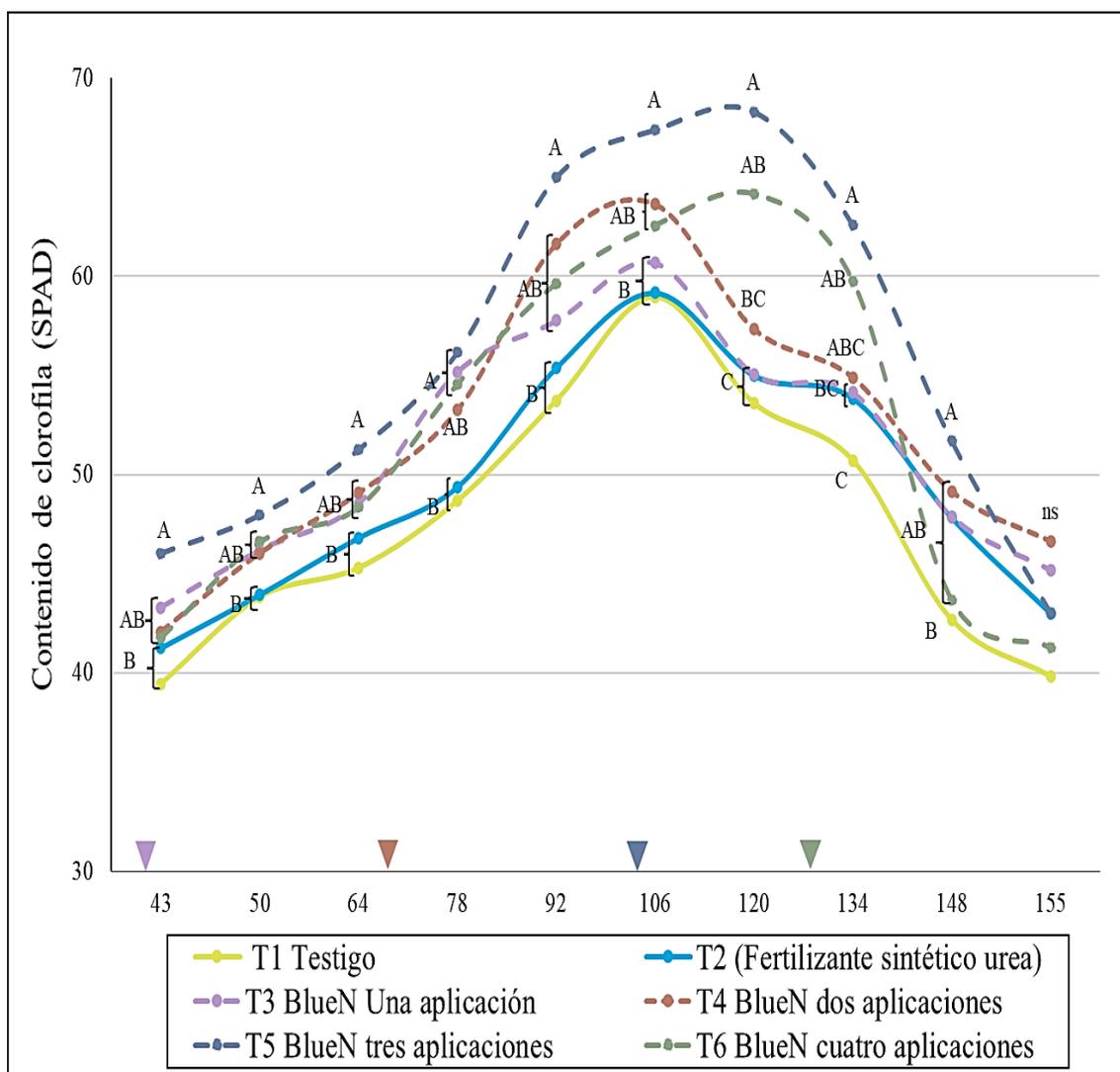


Figura 7. Efecto del biofertilizante BlueN sobre el contenido de clorofila (SPAD) de las plantas de quinua evaluadas desde el día 43 DDS hasta los 155 DDS. Los triángulos ubicados sobre el eje “x” muestran la etapa fenológica (v4, v5, v6 y v7); (ns) efecto no significativo; letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.

6.5. Longitud de la panoja

En la longitud de panoja de las plantas de quinua evaluada en la madurez fisiológica (figura 8), se encontró diferencias significativas con (p-valor de 0,0268) y un coeficiente de variación de 14,21%. Se determinó que la aplicación del biofertilizante BlueN en dos momentos obtuvo mayor promedio de 52,14 cm, por el contrario, el T6 (BlueN cuatro momentos) obtuvo el menor promedio de 41 cm.

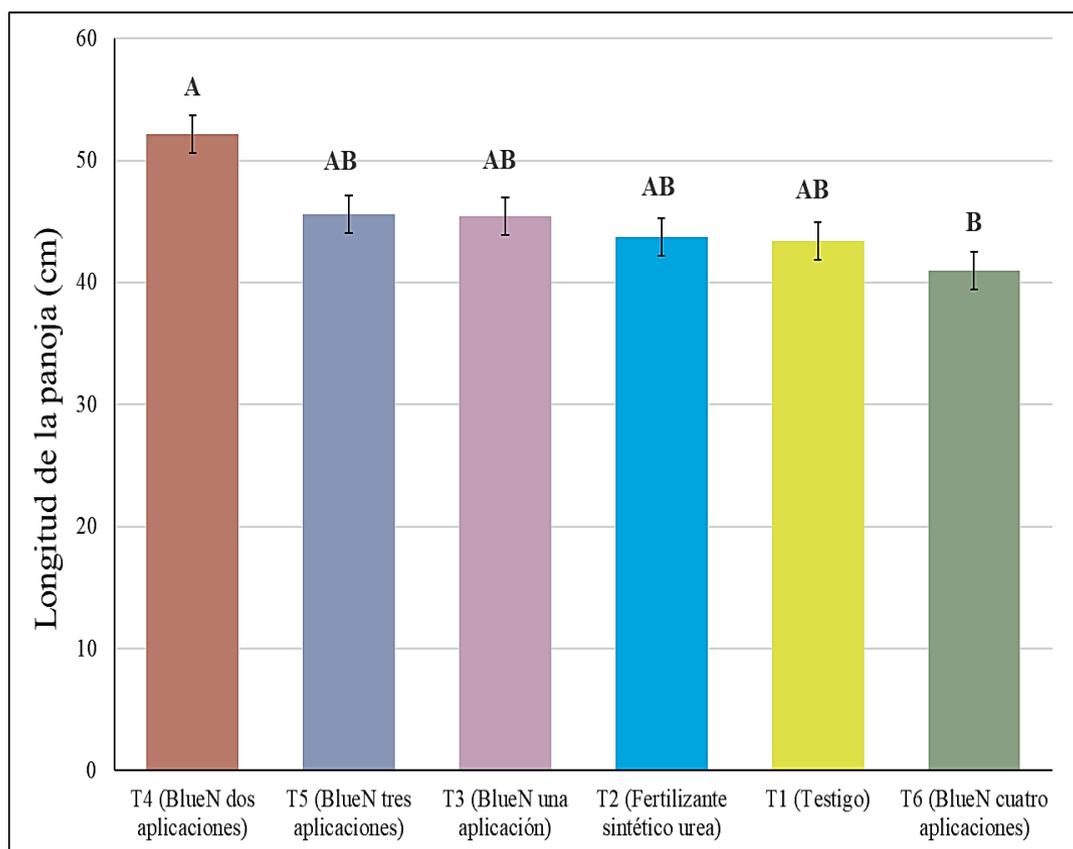


Figura 8. Longitud de la panoja de quinua bajo la aplicación de una fuente nitrogenada (BlueN). Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.

6.6. Diámetro de la panoja

En cuanto al diámetro de panoja si presento diferencias significativas con un (p-valor de 0,0089), y un coeficiente de variación de 18,48%, el T5 (BlueN tres aplicaciones) y T4 (BlueN dos aplicaciones) presentaron los mayores promedios de 15,29 y 15,14 cm con respecto a los demás tratamientos (figura 9). Por otro lado, el T6 (BlueN cuatro aplicaciones) obtuvo el menor promedio de 11,14 cm

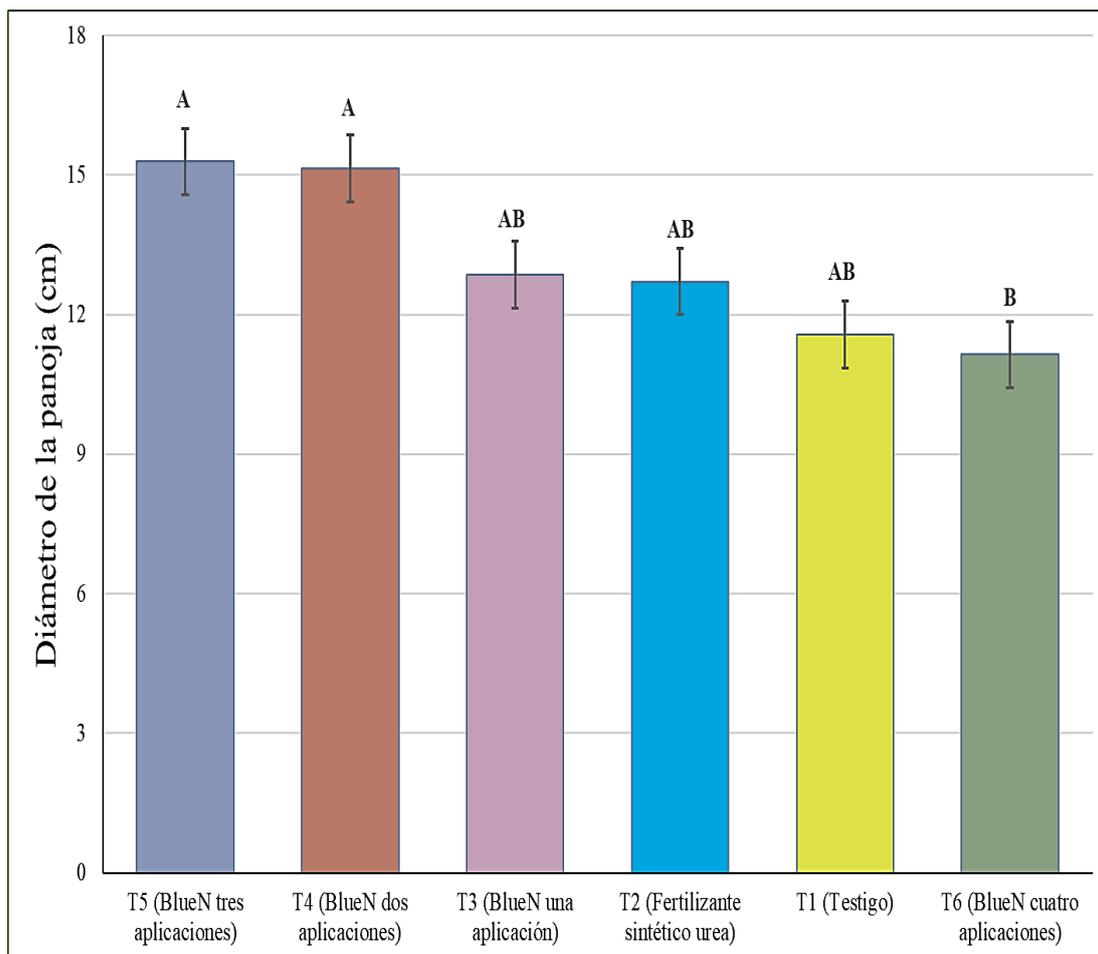


Figura 9. Efecto de BlueN como fuente nitrogenada en el diámetro de la panoja en quinua. Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media. Letras diferentes en indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.

6.7. Longitud de la raíz

Se evaluó el efecto del biofertilizante (BlueN) en la longitud de la raíz (figura 10), presentado diferencias estadísticas significativas entre tratamientos con un (p-valor de 0,0196), y un coeficiente de variación de 20,07 %, siendo el T4 (BlueN dos aplicaciones) el que presentó el mayor promedio de 47,86 cm, con respecto a los demás tratamientos, a diferencia del T1(testigo) que presento un menor promedio de 33,43 cm.

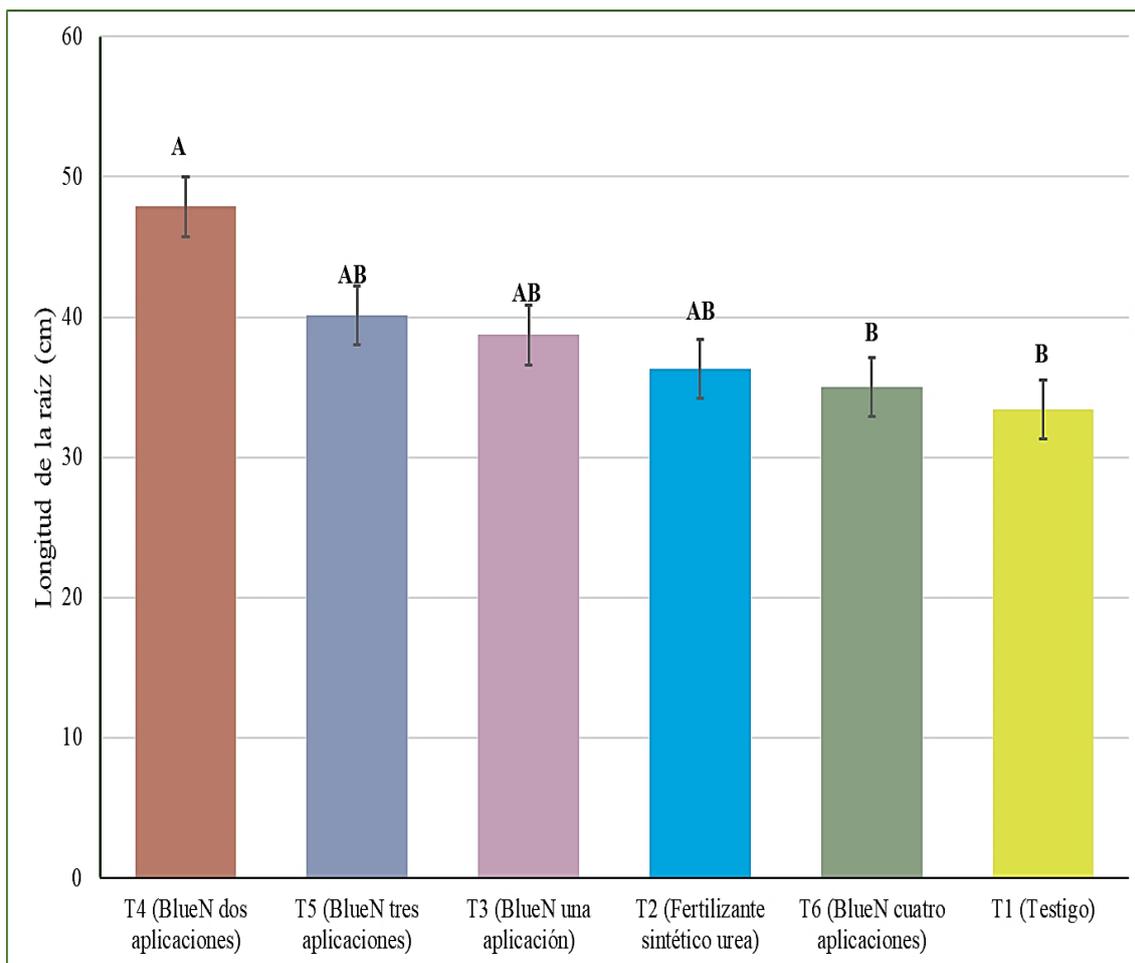


Figura 10. Longitud de la raíz bajo la aplicación del biofertilizante BlueN como fuente nitrogenada. Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media. Letras diferentes en indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.

6.8. Peso de la raíz

Por otro lado, en la figura 9 se muestra el peso de la raíz, presentó diferencias estadísticas significativas con un (p-valor de 0,001), y un coeficiente de variación de 17,98%, en donde, el T5 (BlueN tres aplicaciones) presentó el mayor promedio de 27,41 g y el T1(testigo) obtuvo el menor promedio 17,24 g.

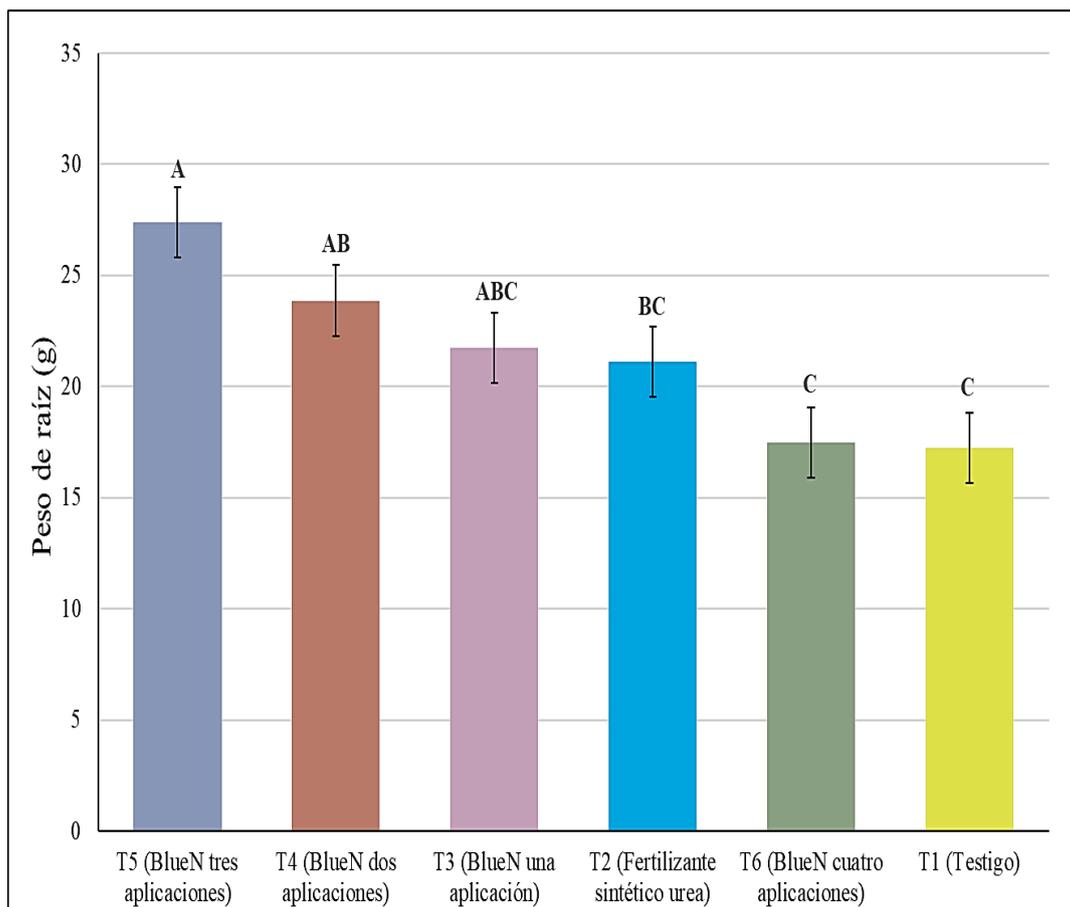


Figura 11. Efecto del Biofertilizante BlueN como fuente nitrogenada en el peso de la raíz de Quinoa. Cada columna representa el promedio de las repeticiones, las barras en cada columna es el error estándar de la media. Letras diferentes en indican diferencias estadísticas con p-valor <0,05.

6.9. Biomasa aérea

Los resultados a nivel de planta y maceta muestran diferencia significativa de la biomasa aérea (tabla 6), donde el T5 tienen el mayor promedio 341,07 g/maceta y 113,69 g/planta, por el contrario, el T1 es el que tiene el menor promedio de 126,79 g/maceta y 42,26 g/planta.

Tabla 6. Biomasa de las plantas quinua en función de la aplicación de BlueN como fuente nitrogenada.

Tratamiento	Biomasa g/maceta	Biomasa g/planta
T1 (Testigo)	126,79 B	42,26 B
T2 (Fertilizante sintético urea)	246,07 AB	82,02 AB
T3 (BlueN una aplicación)	198,54 B	66,18 B
T4 (BlueN dos aplicaciones)	188,64 B	62,88 B
T5 (BlueN tres aplicaciones)	341,07 A	113,69 A
T6 (BlueN cuatro aplicaciones)	171,14 B	57,05 B
Efecto de BlueN (p< 0,05)	0,0013	0,0013
EEM	32,87	10,96

Las letras en sentido vertical indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey (p-valor <0,05). Los valores son la media de 7 repeticiones por cada tratamiento.

6.10. Condiciones climáticas

Durante el desarrollo del cultivo se evaluó la temperatura media, máxima y mínima, y la humedad relativa (figura 12). La temperatura promedio durante el ciclo del cultivo fue de 20,25°C, donde en el quinto día después de la siembra alcanzó la temperatura más alta de 39,1 °C, durante la fase de germinación. Por el contrario, la temperatura más baja fue de 8 °C a los 109 DDS en la etapa de floración. La humedad relativa más baja fue de 54 % ocurrió a los 174 DDS cuando las plantas se encontraban en la maduración del fruto, así mismo se encontró que la mayor cantidad de HR fue de 80 % ocurriendo a los 180 DDS en la misma etapa.

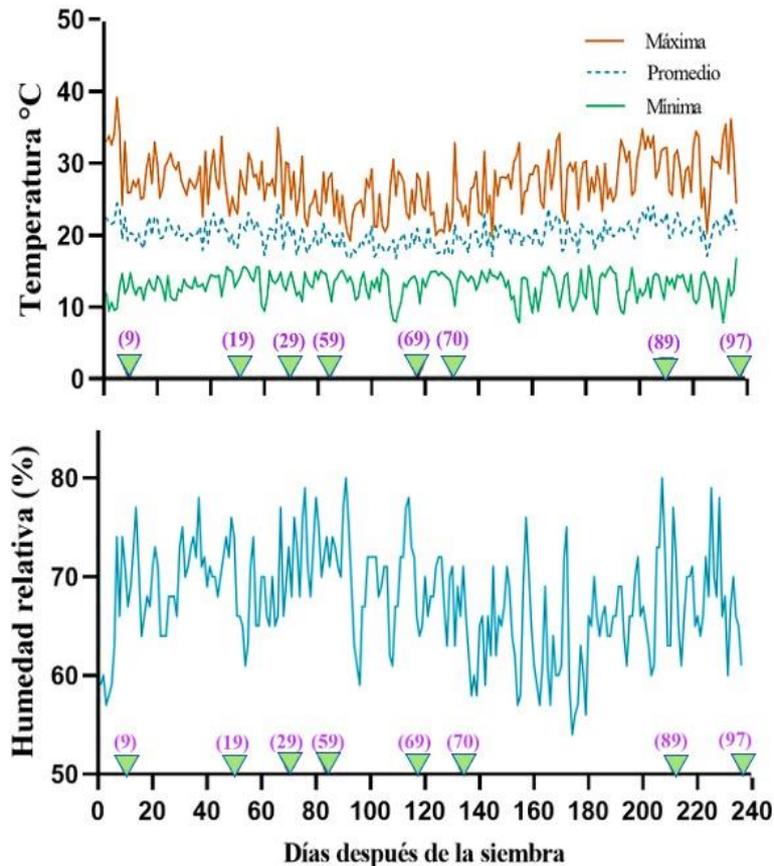


Figura 12. Condiciones climáticas de temperatura máxima (naranja), promedio (azul) y mínima (verde) y humedad relativa (HR) durante el ciclo del cultivo de quinua. Los triángulos verdes ubicados con los números sobre el eje “x” indican los códigos de la escala fenológica BBCH representando las etapas en función de los DDS.

6.11. Fenología

En la figura 13, se observó la duración de la fenología de la planta en los diferentes tratamientos. El ciclo del cultivo desde la siembra hasta la cosecha tuvo una duración aproximada de 241 días correspondiente al T1 (testigo), mientras que los tratamientos aplicados el biofertilizante BlueN la duración del ciclo fue menor donde el T6 (BlueN cuatro aplicaciones) tuvo una duración de 221 DDS, en la etapa de floración del T6, T5 (BlueN tres aplicaciones) y T4 (BlueN dos aplicaciones) se adelantó 27, 22 y 31 días, en el desarrollo del fruto con 17 y 14 días y en la maduraron del fruto con 63, 75 y 72 y por último en la senescencia con 35, 29 y 30 días a comparación del T1, T2 (Fertilizante sintético UREA) y T3 (BlueN una aplicación) en donde la duración en la fase de floración fue de 34 días y en la etapa de maduración de grano 83 días y en la senescencia 25 días.

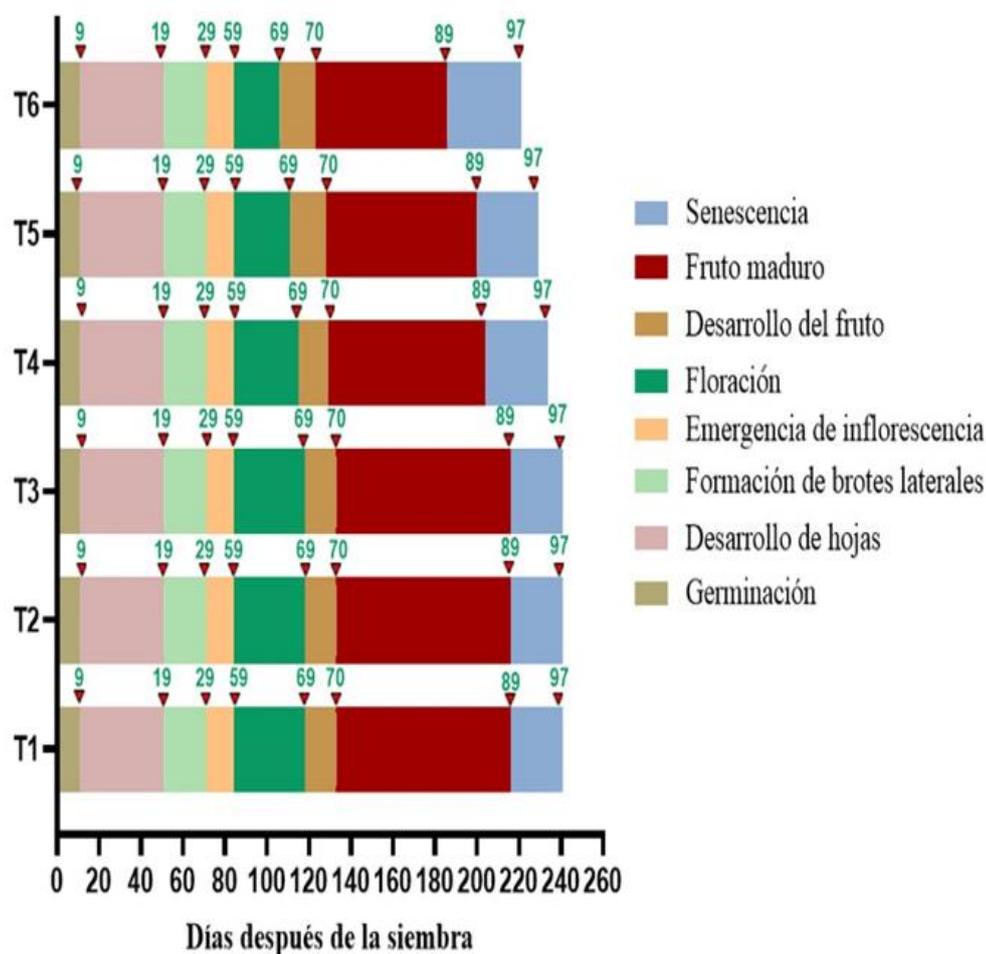


Figura 13. Fenología del cultivo de quinua para los diferentes tratamientos con la aplicación de BlueN como una fuente nitrogenada según la escala BBCH en función de los DDS. Los triángulos rojos ubicados con los números indican los códigos de la escala fenológica BBCH representando las etapas en función de los DDS.

6.12. Rendimiento, componentes del rendimiento e índice de cosecha

La tabla 7 muestra el efecto BlueN como fuente nitrogenada en los tratamientos sobre el rendimiento y sus componentes en la quinua, en las variables evaluadas presentan diferencia significativa, el T5 (BlueN tres aplicaciones) obtuvo el mayor promedio con respecto al peso de 1000 granos (3,90 g), al número de granos en planta y maceta (5981,71 y 19075,43 g) y el rendimiento tanto a nivel de planta y maceta (22,43 y 71,86 g). En el índice de cosecha la aplicación de BlueN en dos momentos obtuvo el mayor promedio de 0,33.

Tabla 7. Medias de las variables productivas del cultivo de quinua bajo la aplicación del Biofertilizante BlueN como fuente nitrogenada

Tratamientos	Peso 1000 granos (g)	N° granos g planta ⁻¹	N° granos g maceta ⁻¹	Rendimiento g planta ⁻¹	Rendimiento g maceta ⁻¹	Índice de cosecha
T1 (Testigo)	2,42 C	3122,04 C	9366,11 B	7,70 C	24,68 D	0,19 AB
T2 (Fertilizante sintético urea)	3,16 B	3648,79 BC	10946,37 B	11,40 BC	34,20 CD	0,16 B
T3 (BlueN una aplicación)	3,12 B	4291,80 ABC	12875,39 B	13,15 B	39,46 C	0,23 AB
T4 (BlueN dos aplicaciones)	3,63 AB	5246,09 AB	14902,86 AB	18,96 A	54,01 B	0,33 A
T5 (BlueN tres aplicaciones)	3,90 A	5981,71 A	19075,43 A	22,43 A	71,86 A	0,24 AB
T6 (BlueN cuatro aplicaciones)	3,20 B	3612,78 BC	13455,01 B	11,18 BC	34,85 CD	0,24 AB
Efecto de BlueN (p< 0,05)	<0,0001	0,0034	0,0034	<0,0001	<0,0001	0,0542
EEM	0,13	1375,22	484,61	3,24	1,19	0,04

Las letras en sentido vertical indican las diferencias estadísticamente significativas Tukey (p-valor <0,05.). Los valores son la media de 7 repeticiones de cada tratamiento.

6.13. Análisis de correlación de las variables en estudio.

En la tabla 8, se muestra la correlación de las variables estudiadas utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. Se evidenció una correlación positiva muy fuerte entre diámetro del tallo con la longitud de la panoja ($r= 0,98$) y longitud de la raíz ($r= 0,94$); longitud de la panoja con la longitud de la raíz ($r= 0,95$); diámetro de la panoja con peso de la raíz ($r= 0,95$), N° granos maceta⁻¹ ($r= 0,94$) y Rendimiento g planta⁻¹ ($r= 0,93$); peso de 1000 granos con rendimiento g planta⁻¹ ($r= 0,94$); N° granos planta⁻¹ con Rendimiento g planta y maceta⁻¹ ($r= 0,99$); N° granos maceta⁻¹ con Rendimiento g maceta⁻¹ ($r= 0,97$); Rendimiento g planta⁻¹ con Rendimiento g maceta⁻¹ ($r= 0,99$).

Tabla 8. Correlación de variables evaluadas en plantas de quinua bajo la aplicación del biofertilizante BlueN.

	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Índice de área foliar	SPAD	Longitud de la panoja (cm)	Diámetro de la panoja (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Peso de la raíz (g)	Biomasa g/ maceta	Biomasa g/planta	Peso 1000 granos (g)	N° granos planta ⁻¹	N° granos maceta ⁻¹	Rendimiento g planta ⁻¹	Rendimiento g maceta ⁻¹
Diámetro del tallo (cm)	0,79	ns													
Índice de área foliar	-0,20	0,02	ns	ns											
SPAD	0,50	0,80	0,07	ns											
Longitud de la panoja (cm)	0,78	0,98	-0,10	0,82	ns										
Diámetro de la panoja (cm)	0,69	0,89	0,45	0,70	0,80	ns									
Longitud de la raíz (cm)	0,61	0,94	0,16	0,88	0,95	0,84	ns								
Peso de la raíz (g)	0,57	0,72	0,63	0,62	0,60	0,95	0,68	ns							
Biomasa g/ maceta	0,13	0,28	0,84	0,25	0,11	0,67	0,26	0,85	ns						
Biomasa g/planta	0,13	0,28	0,84	0,25	0,11	0,67	0,26	0,85	1,00	ns					
Peso 1000 granos (g)	0,19	0,57	0,80	0,61	0,49	0,82	0,70	0,86	0,78	0,78	ns				
N° granos planta ⁻¹	0,55	0,72	0,67	0,61	0,63	0,94	0,76	0,95	0,74	0,74	0,91	ns			
N° granos maceta ⁻¹	0,26	0,44	0,86	0,41	0,36	0,77	0,56	0,84	0,77	0,77	0,92	0,93	ns		
Rendimiento g planta ⁻¹	0,48	0,71	0,71	0,60	0,62	0,93	0,76	0,95	0,76	0,76	0,94	0,99	0,94	ns	
Rendimiento g maceta ⁻¹	0,44	0,62	0,77	0,50	0,52	0,90	0,66	0,94	0,81	0,81	0,92	0,99	0,97	0,99	ns
IC	0,42	0,68	0,16	0,66	0,76	0,58	0,85	0,40	-0,02	-0,02	0,57	0,62	0,55	0,62	0,54

Los valores son los promedios de cada tratamiento; color verde indica una correlación positiva muy fuerte $0,8 < r < 1$; color blanco $0,6 < r < 0,8$ correlación alta; color marrón $0,4 < r < 0,6$ correlación baja; color azul indica una correlación nula $0,2 < r < 1$; (ns) efecto no significativo; (*) efecto significativo $p < 0,05$.; (**) efecto significativo $p < 0,01$; (***) efecto significativo $p < 0,001$.

6.14. Identificación y caracterización de *Methylobacterium* sp.

El aislamiento bacteriano se realizó a partir de las hojas del cultivo de quinua en un medio selectivo. Se identificó las bacterias del género *Methylobacterium* sp. presentando una forma de bastón con un pigmento de color rosado característico por crecer en metanol y metilamina conocidas como metilótrofas facultativas pigmentadas de color rosa, son bacterias Gram-negativas dotada de flagelos laterales que permite su movilidad, aerobias que necesitan aire y oxígeno para crecer y su medio de crecimiento se establece dentro de 10 °C a 30 °C con un pH de 5 a 8 y el tamaño puede estar en 1,6 µm (figura 14).

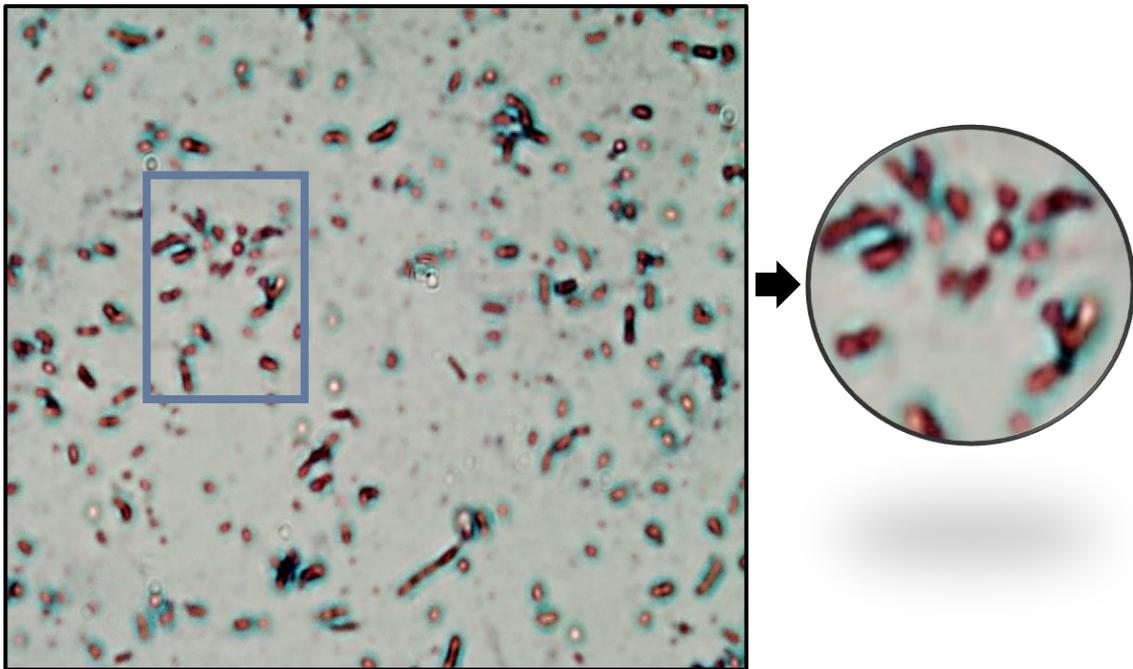


Figura 14. Identificación y caracterización de la bacteria *Methylobacterium* sp.

7. Discusión

En base a los resultados obtenidos en este trabajo, se puede afirmar que la aplicación del biofertilizante BlueN a base *Methylobacterium symbioticum*, favoreció positivamente en los parámetros de crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua bajo condiciones de invernadero. Se conoce que el uso de PGPR promueven el crecimiento vegetal a través de mecanismos directos como indirectos en la planta, así mismo es un mediador en la respuesta a distintos tipos de estrés bióticos como el ataques de patógenos y abióticos como la sequía, salinidad, temperatura entre otros (Shen *et al.*, 2013). Según Zhang *et al.* (2021), demostró que el género *Methylobacterium* sp. promueve el crecimiento de la planta a través de la fijación de nitrógeno atmosférico, así mismo comprobó un mejor rendimiento en cultivos de papa, trigo, maíz, maní y jitomate (Lastra & Paucar 2023; Medina *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2023). Según varias investigaciones esta bacteria produce fitohormonas como auxinas y citoquininas que regulan parámetros de crecimiento, además que intervienen en la solubilización de fosfato poniéndolo a disposición de la planta, biosíntesis de sideróforos, producción de quitinasa, glucanasa y vitamina B12 e induce respuestas defensivas contra fitopatógenos (Muñoz, 2017; Lee *et al.*, 2006).

En la variable altura de la planta el tratamiento BlueN aplicado en dos momentos, presentó una mayor media (176 cm), siendo superior a los demás tratamientos. Lastra y Paucar (2023), en su investigación realizada en Perú evaluaron el efecto de la aplicación foliar del BlueN, en cultivo de papa, determinando que la aplicación del biofertilizante influye positivamente en la altura de planta. De la misma forma, Medina *et al.* (2019), reportó que al inocular *Methylobacterium extorquens* en semillas de jitomate ejerció un efecto positivo en el crecimiento de la planta. Esto se puede atribuir a que *Methylobacterium* sp. produce hormonas de crecimiento (auxina, citoquinina y giberelinas) y vitamina B₁₂, las cuales interactúan en el metabolismo del nitrógeno de la planta a través de la ureasa bacteriana siendo clave en el desarrollo de la planta (Abanda *et al.*, 2006). Por otra parte, Wong *et al.* (2015) señala que hay cuatro tipos de giberelinas sintetizadas por bacterias GA1, GA2, GA3 y GA20, las cuales regulan el crecimiento vegetal en diversos procesos metabólicos como la altura de la planta; esto puede atribuirse a GA₁ endógena el cual estimula el crecimiento de la planta (Velasco *et al.*, 2020; García, 2016).

El diámetro del tallo con la aplicación de biofertilizante en dos momentos presentó un mayor valor de 1,20 cm a los 127 DDS. Torres *et al.* (2020) en el cultivo de quinua observó un mayor diámetro de tallo (1,5 mm) con la aplicación de Materia Orgánica y Microorganismo (*Trichoderma harzianum*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae*). De igual forma Bautista y Martínez (2020) evaluaron el efecto de la inoculación de tres bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre en el cultivo de Agave, evidenciando que la inoculación de *Paenibacillus amyloxyticus* influyó positivamente en el diámetro del tallo aumentando en un 50,3%. Esto es debido a la síntesis de fitohormona como las auxinas y citoquininas que intervienen en la elongación de células del tallo en la región subapical, diferenciación de tejidos vasculares e iniciación del tallo, considerados procesos que orientan al crecimiento del tallo en respuesta de la luz y gravedad (Garay *et al.*, 2014).

En cuanto al índice de área foliar se obtuvo diferencias estadísticamente significativas, mostrando que la aplicación de BlueN en tres momentos presentó un mayor incremento de IAF de 2,31 a los 113 DDS correspondiente a la etapa de floración. Carpio *et al.* (2022), determinó el efecto de la fertilización química y biológica en maíz evidencio un mayor IAF con la aplicación de urea (100%) en asociación con *Rhizophagus irregularis* presentando la máxima expansión foliar a los 60 días en la etapa de floración. El aumento de índice foliar se atribuye a la incorporación de N a la planta aumentando el número y tamaño de las hojas. Cuando el cultivo está en la fase final de crecimiento el IAF aumenta debido a una mayor asignación de fotoasimilados hacia las hojas, así mismo al aumento de la absorción de luz y la incorporación de inhibidores de la nitrificación actuando en la actividad de la bacteria transformando el amonio (NH₄⁺) a nitrato (NO₃⁻), aprovechando el nitrógeno a permanecer por más tiempo en el suelo (Noriega *et al.*, 2011; Gardiazabal *et al.*, 2007). Por el contrario, cuando el cultivo se encuentra en las primeras etapas de desarrollo el IAF es bajo debido a la cobertura incompleta y bajo porcentaje de luz (Carranza *et al.*, 2009).

Los resultados de contenido de clorofila muestra que la aplicación BlueN en cuatro momentos presentó un valor alto de 68,31 en el día 120 DDS correspondiente a la etapa de floración, presentando diferencia estadística significativas. Torres *et al.* (2023), en su estudio presentaron un mayor contenido de clorofila en maíz y fresa al inocular *Methylobacterium symbioticum*, además obtuvieron diferencias significativas

coincidiendo con este estudio. Así mismo Castellano *et al.* (2017), en el cultivo de maíz al emplear una dosis de 175 kg ha⁻¹ N, 70 kg ha⁻¹ P y 140 kg ha⁻¹ K, en donde a inicio de la floración obtuvo un índice de clorofila (58,47), indica que un valor superior de 50 unidades SPAD a inicios de esta etapa indica un adecuado índice de verdor en las hojas, así mismo mencionan que las plantas que reportaron las más altas unidades SPAD obtuvieron un mayor rendimiento. Además, se conoce que la incorporación de nitrógeno está asociado a los cloroplastos responsables del color verde de la hoja y encargado de absorber la luz necesaria para realizar actividad fotosintética, así mismo la concentración de N en la hoja indica el estado nutricional de la planta (Zavaschi *et al.*, 2014), por tanto, se puede decir que los valores de SPAD son proporcionales a la cantidad de clorofila presente en las hojas y a su actividad fotosintética.

Con respecto a la longitud de panoja mostró un efecto positivo con la aplicación del biofertilizante BlueN en dos momentos (52,14 cm), así mismo en el diámetro de la panoja en tres momentos (15,29 cm) presentando diferencias significativas entre tratamientos. Choque (2017), en Bolivia en el cultivo de quinua evaluó la influencia de tres bacterias fijadoras de nitrógeno con y sin abonamiento en suelos degradados, donde la interacción de la materia orgánica y la inoculación de la Cepa (*Parastrephia lucida*) influyó positivamente en las variables de altura (21,15 cm) y diámetro de panoja (5,09 cm). Así mismo Quizpe (2015), evidenció que la aplicación de los fertilizantes foliares Nitrofoska (inorgánico) y Vigortop (orgánico) en el cultivo de quinua tuvo respuestas favorables presentando diferencias significativas con respecto a estas dos variables. Por lo tanto, se atribuye a la asimilación de nitrógeno, aumentado el suministro de fotoasimilados que son distribuidos y transportados desde las hojas más desarrolladas hacia la panoja, incidiendo en la longitud y diámetro de la panoja, obteniendo un mayor número de granos y un aumento en el rendimiento (León *et al.*, 2021). Por otro lado, si hay un exceso o disminución de nitrógeno en la planta, puede afectar a la partición de fotoasimilados, reduciendo su crecimiento, ocasionando senescencia prematura de las hojas y una disminución de asimilación de fotoasimilados en las etapas de llenado, además provoca una reducción de la tasa fotosintética, número y peso del fruto.

Por otro lado, en la longitud de la raíz se observó una respuesta positiva al aplicar el biofertilizante BlueN en dos momentos (47,86 cm), así mismo en el peso de la raíz al aplicar BlueN en tres momentos (27,45 g) presentando diferencias significativas.

Puentestar (2017), evaluó en quinua dos distancias de siembra y la aplicación de tres bioestimulantes foliares donde la aplicación de Biol, obtuvo los mayores promedios en la variable longitud de raíz (23,10 cm) a una densidad de siembra de 20 cm y peso de la raíz (8,97 g) a una densidad de 30 cm con diferencias significativas en ambas variables. Se puede decir que estos resultados coinciden con lo establecido en este estudio ya que presentó un efecto positivo en las dos variables al aplicar un bioestimulante foliar. Atribuyéndose a que los PGPB producen fitohormonas como las auxinas en donde el ácido indolacético (AIA) facilita la iniciación de las raíces, así mismo la elongación que al estimular en la raíz mejora el anclaje de la planta, por otro lado, las giberelinas y citoquininas intervienen en el crecimiento radicular y la formación de pelos radiculares (Alcantara et al., 2019).

Los resultados de la biomasa aérea muestran que la aplicación de BlueN en tres momentos tuvo el mayor promedio 113,69 g/planta presentando diferencias significativas. Según Hernández *et al.* (2015) demostró que la inoculación *Burkholderia cepacia* y *Gluconacetobacter diazotrophicus* tuvieron un efecto positivo sobre la biomasa en trigo con un incremento de peso fresco 8,63 g y de 4,47 g de peso seco presentando diferencias estadísticamente significativas. De igual forma Guerrero (2021) en trigo evidenció que el género *Brevibacillus* presentó un 39 % y 38 % de aumento en la producción de materia seca (MS) y biomasa total respectivamente comparado con el testigo absoluto. El aumento de biomasa está relacionado a la disponibilidad de nitrógeno, humedad y a la cantidad de radiación fotosintética activa.

En cuanto a la fenología el T6 (BlueN con cuatro aplicaciones) fue el primero en completar el ciclo fenológico a los 221 DDS a comparación del testigo siendo el último a los 241 DDS. Esta investigación difiere con Foronda, (2022) en Bolivia donde la fenología del cultivo de quinua bajo invernadero tuvo una duración 181,17 a 192,75 días. Así mismo Toapanta (2016), menciona que el ciclo de cultivo de quinua de la variedad Tunkahuan fue de 183 días, siendo diferente a esta investigación. La duración de la etapa fenológica inicial fue de 11 días, la etapa de desarrollo de hojas 51 días, brotes laterales 71 días y en la emergencia de inflorescencia 84 días. Fernández y Vidaurre (2015), menciona que el lapso de la etapa fenológica inicial de este cultivo es de 7 a 12 días, la etapa de crecimiento vegetativo a los 35 a 45 días, la fase de ramificación de 45 a 50 días y la etapa de inicio de floración a los 75 a 80 días, siendo similar al de la investigación ya

que existe una diferencia de 4 y 6 días en la etapa desarrollo de hojas, brotes laterales y emergencia de inflorescencia. En la etapa de floración fue diferente entre tratamientos el T6 fue el primero en completar esta fase a los 106 días a comparación con el testigo a los 118 días teniendo una duración de 22 y 34 días. Martínez (2017), en la variedad de quinua Amarilla Marangani finalizó la etapa de floración a los 120 días con una duración de 35 días, concordando con los días establecido en este estudio. La etapa del desarrollo del fruto finalizó a los 123 días y las fases de madurez del fruto de 186 días con una duración 17 y 63 días a comparación del testigo una duración entre etapas de 15 y 83 días. Foronda (2022) estableció que la etapa de formación de grano verde concluye a los 141,87 días con una duración de 29 días, además en la formación de grano lechoso con una duración de 154,36 a 166,79 días, siendo diferente a este estudio.

La temperatura promedio durante el ciclo del cultivo fue de 20,25 °C, durante la fase de germinación alcanzó la temperatura más alta de 39,1 °C y en la etapa de floración presento una temperatura más baja de 8 °C. La humedad relativa más baja ocurrió a los 174 DDS con un 54 % en la etapa de maduración del fruto, así mismo se encontró una mayor HR del 80 % en la misma etapa. Según Ramírez *et al.* (2020) la variedad Tunkahuan en quinua presentó una germinación de 95 % a una temperatura de 5 a 40 °C, atribuyéndose que esta variedad puede ser tolerantes a temperaturas extremas. Carrasco (2016), menciona que las temperaturas bajas en la etapa de floración causan una menor producción de polen en consecuencia, las panojas no forman granos, sin embargo, se ha establecido que la quinua soporta una temperatura máxima dentro de un rango de 8 °C hasta 17 °C, temperatura mínima hasta -4 °C. Por otro lado, Tovar (2018) presentó una humedad relativa promedio de 55,05 % en su investigación, lo cual influyó positivamente en el desarrollo del cultivo de quinua. Así mismo Gómez y Aguilar (2016) mencionan que la humedad relativa de 40 % en el altiplano hasta 100 % se desarrolla favorablemente el cultivo.

En cuanto al peso 1000 granos, número de granos y rendimiento la aplicación de BlueN en tres momentos obtuvo los mayores promedios. Por otro lado, la aplicación de BlueN en dos momentos presentó el mayor promedio de índice de cosecha 0,33 presentando diferencias significativas. Choque (2017), en Bolivia, al aplicar la bacteria fijadora de nitrógeno (*Parastrephia lucida*), reportó 401,75 kg/ha de rendimiento y con la aplicación combinada de abonamiento (estiércol de ovino) obtuvo un rendimiento

mayor 500,18 kg/ha, comparado al testigo con 289,49 kg/ha, además presento diferencias significativas. Así mismo Caballero (2015), en Bolivia obtuvo que al aplicar una dosis de 120 kg de N ha⁻¹ aumento el índice de cosecha (0,51) y el rendimiento en grano (2707 kg/ha) en el cultivo de quinua. Según Velasco (2024) evaluó el efecto de dos bacterias fijadoras de nitrógeno en el cultivo de arroz, mostrando mejores resultados al aplicar (*Merhylobacterium symbioticum* y *Bradyrhizobium*) en las variables productivas como número de granos (142,18), peso de 1000 granos (32,57 g) y rendimiento (5457,82 kg/ha), presentando diferencias significativas. Al igual Ronquillo (2024) en el cultivo de arroz presentó los mayores promedios en la productividad al aplicar *Methylobacterium symbioticum* en el número de granos por espiga (112,32) y un rendimiento (8718,88 kg/ha).

En el presente estudio se evaluó la aplicación del Biofertilizante BlueN a base de *Methylobacterium simbioticum* en diferentes momentos según la fenología del cultivo, se evidencio un mejor crecimiento y producción de la quinua en Loja, siendo una alternativa sustentable con el fin de reducir el uso de fertilizantes sintéticos.

8. Conclusiones

- ❖ La aplicación del biofertilizante BlueN en dos momentos en el cultivo de quinua influyo positivamente sobre las variables morfológicas, como en la altura de la planta, diámetro del tallo, longitud de la panoja y de la raíz. Por otro lado, BlueN con tres aplicaciones presento un mayor incremento de IAF y contenido de clorofila en la etapa de floración, diámetro de panoja, peso de la raíz y la biomasa aérea. Por lo tanto, la fijación de nitrógeno de forma biológica durante el ciclo del cultivo de manera regulada y efectiva, contribuye de forma directa en el crecimiento de la planta a través de mecanismos directos como indirectos producidos por *Methylobacterium symbioticum*.
- ❖ El uso de BlueN, como fuente fijadora de nitrógeno tuvo un efecto positivo sobre las variables productivas como el peso de 1000 granos, número de granos y rendimiento (71,86 g maceta⁻¹) con tres aplicaciones del biofertilizante. En cuanto al índice de cosecha se obtuvo el mayor promedio de 0,33 con dos aplicaciones de BlueN, siendo una alternativa sustentable y respetuosa con el medio ambiente, como una fuente de nitrógeno suplementaria ante el uso de fertilizantes sintéticos.

9. Recomendaciones

- ❖ Efectuar estudios sobre diferentes dosis de BlueN en el cultivo de quinua en determinados estados fenológicos bajo condiciones de invernadero.
- ❖ Realizar trabajos sobre el uso de biofertilizante a base de diferentes especies de microorganismos fijadores de nitrógeno en el cultivo de quinua.
- ❖ Efectuar un análisis económico costo/beneficio con relación al empleo del biofertilizante BlueN para este cultivo.

10. Bibliografía

- Abanda, D., Müsch, M., Tschiersch, J., Boettner, M., & Schwab, W. (2006). Molecular interaction between *Methylobacterium extorquens* and seedlings: Growth promotion, methanol consumption, and localization of the methanol emission site. *Journal of Experimental Botany*, 57(15), 4025-4032. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl173>
- Alcantara, S., Acero, J., Alcántara, D., & Sánchez, R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129.
- Alfonso, G., Ochoa, S. A., & Cartagena, Y. (2017). Evaluación de deficiencias nutricionales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo invernadero. *Siembra*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.504>
- Apolo, O. E., Pérez, M., Martínez, J., & Egea, G. (2020). A Mixed DataBased Deep Neural Network to Estimate Leaf Area Index in Wheat Breeding Trials. *Agronomy*, 10(2), 175. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020175>
- Apaza, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *CATÁLOGO DE VARIEDADES COMERCIALES DE QUINUA EN EL PERÚ*.
- Bautista, A., & Martínez, V. (2020). *Agave potatorum* Zucc. Growth promotion by free-living nitrogen-fixing bacteria. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 555-567. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.647>
- Basantes, E., Lazo, D., & Obando, D. (2015). Extracción del nitrógeno y calcio en dos variedades quinua (*Chenopodium quinoa*), El Prado-Sangolquí. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 10(1), Article <https://doi.org/10.24133/cctespe.v10i1.17>
- Carpio, C., Rubio, A., Adame, F., Arenas, R., & Escalante, A. (2022). Rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica. *Acta universitaria*, 32. <https://www.redalyc.org/journal/416/41674605034/html/>
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., & Chaves, B. (2009). *Análisis del crecimiento de lechuga (lactuca sativa l.) 'batavia' cultivada en un suelo salino de la sabana de bogotá*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/25403>

- Castellanos, M. A., Valdés, R., López, A., & Guridi, F. (2017). Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 112-116.
- Carrasco F. (2016). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli, periodo 1997—2014. *Comunicación*, 7(2), 38-47.
- Chavez, J. B. (2018). “Dosis de nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento de la quinua en Acopalca–Huari” [Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].
<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/2079/CHAVEZ%20MELGAREJO%20JHON%20BEKER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chavarría, E. (2022). ESENCIALIDAD NUTRICIONAL Y FERTILIZACIÓN DE LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS. *Revista trimestral del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)*, 89.
- Choque, E. R. (2017). *Influencia de tres bacterias fijadoras de nitrógeno con y sin abonamiento en suelos degradados, en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en la estación experimental de Patacamaya* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/13346/T-2426.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corteva Agriscience. (2023). *BlueN® Una fuente limpia e inagotable de nitrógeno*. https://www.corteva.es/content/dam/dpagco/corteva/eu/es/es/files/otrosdocumentos/DOC-BlueN-Presentacion-Corteva_EU_ES.pdf
- Ecomercio Agrario. (2019). BlueN, el biofertilizante que reduce hasta un 60% el uso de fertilizantes químicos. <https://ecomercioagrario.com/bluen-el-biofertilizante-que-reduce-hasta-un-60-el-uso-de-fertilizantes-quimicos/>
- Fernández, J. S., & Vidaurre, J. R. C. (2015). *Evaluación del rendimiento en grano de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd) con tres distanciamientos entre surcos en el distrito de Cutervo* [Universidad Nacional Pedro Luis Gallo].
<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/1032/BC-TES-5803.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Foronda, M. (2022). *Cuatro progenies de quinua (Chenopodium quinoa Willd)* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/29078/T-3017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Forchetti, G., Masciarelli, O., Alemanno, S., Alvarez, D., & Abdala, G. (2007). Endophytic bacteria in sunflower (*Helianthus annuus* L.): Isolation, characterization, and production of jasmonates and abscisic acid in culture medium. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 76(5), 1.145-1.152. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-1077-7>
- García, C. I. (2016). *Rendimiento de Tomate con Manejo Innovador de Raíz en el Sistema Hidropónico NFT Modificado* [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8205/T19390%20GARCIA%20CAMPOS%2C%20ISAI.pdf?sequence=1>
- Gardiazabal, F., Mena, F., & Magdahl. (2007). *Efecto de la fertilización con inhibidores de la nitrificación (ENTECSOLUB 21) en paltos (Persea americana Mill) cv. Hass*. <https://www.avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/3a-97.pdf>
- Garay, A., Sánchez, P., García, B., Álvarez, E., & Gutiérrez, C. (2014). La Homeostasis de las Auxinas y su Importancia en el Desarrollo de *Arabidopsis Thaliana*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-19952014000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Guerrero, S. L. (2021). *Interacción de nuevas especies microbianas PGPR y fertilizantes con el cultivo de Trigo bajo condiciones controladas en invernáculo*. [Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.]. <https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/262/TFG%20Lucas%20Guerrero%20Ing%20Agronomica.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/es?details=3a12f679-22a1-46a0-a91e6853ca5bb5dd/>
- González, J. (2019). Evaluación y calibración del modelo de simulación de cultivo Dssat Substor –Potato Bajo Condiciones Andinas [Universidad Nacional De Loja].

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22452/1/Jos%c3%a9%20Lucio%20Gonz%c3%a1lez%20Armijos.pdf>

Grageda, O. A., Díaz, F., A., Peña, J. J., & Vera, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274.

Guerrero Santiago Lucas. (2021). *Interacción de nuevas especies microbianas PGPR y fertilizantes con el cultivo de Trigo bajo condiciones controladas en invernáculo*. [Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.]. <https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/262/TFG%20Lucas%20Guerrero%20Ing%20Agronomica.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Hernández, J. J., Morales, P. G., Farías, R., & Sánchez, J. M. (2015). Inoculación de *Burkholderia cepacia* y *Gluconacetobacter diazotrophicus* sobre la fenología y biomasa de *Triticum aestivum* var. Nana F2007 a 50% de fertilizante nitrogenado. *Scientia Agropecuaria*, 6(1), 7-16. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.01.01>

Herreros, A. (2019). Fertilización nitrogenada y fosfórica en quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) cv. 'SALCEDO INIA' bajo riego a goteo en zona árida. universidad nacional de San Agustín de Arequipa.

Lastra, G. L., & Paucar, M. I. (2023). *Evaluación de Blue-N (Methylobacterium symbioticum SB23) en la producción sostenible de papa (Solanum tuberosum L.) var. Única* [Universidad Nacional de Barranca]. <https://repositorio.unab.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/cd603c11-8e16-456e-994e-497af00c7b00/content>

Lee, H. S., Madhaiyan, M., Kim, C. W., Choi, S. J., Chung, K. Y., & Sa, T. M. (2006). Physiological enhancement of early growth of rice seedlings (*Oryza sativa* L.) by production of phytohormone of N₂-fixing methylotrophic isolates. *Biology and Fertility of Soils*, 42(5), 402-408. <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0083-8>

León, G. (2017). Los biofertilizantes en el rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) en el Valle del Mantaro [Universidad Nacional Agraria La Molina].

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2832/F04-L4655-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

León, A. F., Beltrán, G. Y., Barragán, A. L., & Balaguera-López, H. E. (2021). Distribución de foto asimilados en los órganos vertederos de plantas Solanáceas, caso tomate y papa. Una revisión. *Ciencia y Agricultura*, 18(3), 79-97.

Caballero, A. R. (2015). *Evaluación de la dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-planta bajo condiciones de riego por goteo y seco en el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.), altiplano central de Bolivia*. [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/13410/TM-2435.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, D. Y. (2017). *Comparativo de rendimiento de diez variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo condiciones de riego por surco en el Centro Poblado de Jicate, Provincia de Huacabamba- Piura 2015* [Universidad Nacional de Piura]. <https://es.slideshare.net/Duber21/tesis-comparativo-de-diez-variedades-de-quinua>

Mapcarta. (2022). Barrio La Argelia. Mapcarta. <https://mapcarta.com/es/N676412520>

Medina, M., Ceja, F., López, S., Venegas, J., & Sánchez, V. (2019). *Efecto de Methylobacterium extorquens en el desarrollo del tomate en presencia o ausencia de Fusarium oxysporum* | *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/644>

Meyer, J., Hurtado, P., & Piccinetti, C. (2017). *Importancia del nitrógeno en la producción agrícola en zonas áridas*. [Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria]. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/12936/INTA_CR_LaPampa_SanLuis_EEASanLuis_Meyer_J.N._Importancia%20de%20nitr%20geno%20en%20la%20producci%C3%B3n%20agrícola%20en%20zonas%20C3%A1ridas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). *Quinua, el súper alimento que ofrece oportunidades alimenticias y de exportación*.

<https://www.agricultura.gob.ec/quinua-el-super-alimento-que-ofrece-opportunidades-alimenticias-y-de-exportacion/>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). *Boletín Situacional Quinua 2022*.
https://fliphtml5.com/ijia/qplr/Bolet%C3%ADn_Situacional_Quinua_2022/

Montejo, D., Casanova, F., García, M., Oros, I., Díaz, V., & Morales, E. R. (2018). Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 325.
<https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29511>

Muñoz, D. B. (2017). *Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: Mecanismos y aplicaciones*.
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/65140/BENJUMEA%20MU%C3%91OZ%2C%20DANIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mullo, A. D. (2019). Análisis de la cadena de valor de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) en la corporación de productores y comercializadores orgánicos Bio Taita Chimborazo. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<https://core.ac.uk/download/pdf/288186193.pdf>

Nieto, E. M., Olivas, D. L., Domínguez, C. M. M., & Cochagne, J. G. (2016). Fertilización nitrogenada en el rendimiento de dos variedades de quinua. *Infinitem...*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.51431/infinitem.v6i1.3>

Noriega, L. A., Preciado, R. E., Andrio, E., Terrón, A. D., & Covarrubias, J. (2011). Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(4), 489-500.

Paredes, N., Regalado, S. E., Arce, S. B., & Galindo, O. A. (2023). Pronóstico de producción de quinua 2023. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego Dirección General de Políticas Agrarias| Dirección de Estudios Económicos.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4702442/Pron%C3%B3stico%20de%20producci%C3%B3n%20de%20quinua%20al%202023.pdf?v=1687194415#:~:text=Per%C3%BA.,registros%20estad%C3%ADsticos%20en%20forma%20continua.>)

Pineda, G. (2022). “Efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación solar, sobre el crecimiento y rendimiento de la Quinua en la Argelia,

- Loja” [Título de grado, Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/25970/1/Gabriela%20del%20Cisne%20Pineda%20Suquilanda.pdf>
- Posada, L. F., Moreno, A. E., Santos, M. T., & Estrada, G. A. (2021). *Mecanismos de promoción de crecimiento de las PGPB*. Agrosavia.
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7405019>
- Puentestar, M. F. (2017). *Evaluación del rendimiento agronómico del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Wild.), a dos distanciamientos de siembra con la aplicación de tres bioestimulantes foliares* [Universidad Técnica de Babahoyo].
<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3221/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000078.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quizpe Chambi Herminia. (2015). *Evaluación de variedades precoces de quinua con fertilización foliar en k'iphak'iphani, viacha departamento de la Paz* [Universidad Mayor de San Andrés].
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6918/T2160.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, D., Cruz, G., Espitia, E., Sampayo, S., Mandujano, M., & Arriaga-Frías, A. (2020). Velocidad de germinación y temperaturas cardinales en *Chenopodium quinoa* Suyana y Tunkahuan. *Revista bio ciencias*, 7.
<https://doi.org/10.15741/revbio.07.e880>
- Reséndez, A. M., Mendoza, V. G., Carrillo, J. L. R., Arroyo, J. V., & Ríos, P. C. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: Una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, (1), 68-83.
- Rojas, W., Vargas, A., & 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.
- Ronquillo Navarrete Norberto Ángel. (2024). Efecto de bacteria fijadora de nitrógeno (*Methylobacterium symbioticum*), en dos variedades de arroz, cantón Daule provincia del Guayas. Universidad Agraria del Ecuador.

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RONQUILLO%20NAVARRETE%20NORBERTO%20ANGEL.pdf>

- Silva, B. E. (2021). *Análisis del potencial de exportación de la quinua orgánica ecuatoriana al mercado internacional* [Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/19013>
- Sosa-Zuniga, V., Brito, V., Fuentes, F., & Steinfort, U. (2017). Phenological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on the BBCH scale: Phenological scale for quinoa. *Annals of Applied Biology*, 171(1), 117-124. <https://doi.org/10.1111/aab.12358>
- Symborg. (2023). Bacterias fijadoras de nitrógeno | *Methylobacterium symbioticum*. *Symborg*. <https://symborg.com/es/bacterias-fijadoras-de-nitrogeno/>
- Shen, X., Hu, H., Peng, H., Wang, W., & Zhang, X. (2013). Comparative genomic analysis of four representative plant growth-promoting rhizobacteria in *Pseudomonas*. *BMC Genomics*, 14(1), 271. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-271>
- Shi, D., Fidelis, M., Ren, Y., Stone, A. K., Ai, Y., & Nickerson, M. T. (2020). The functional attributes of Peruvian (Kankolla and Blanca juli blend) and Northern quinoa (NQ94PT) flours and protein isolates, and their protein quality. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 128, 108799. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108799>
- Teomiro, E. (2014). *El «boom» de la quinua*. Global Affairs and Strategic Studies. <https://www.unav.edu/web/global-affairs/detalle/-/blogs/el-boom-de-la-quinua>
- Toapanta Sánchez Irene del Pilar. (2016). *Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa), var. tunkahuán en el sector Querochaca, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18301/1/Tesis-117%20%20Ingenier%20c3%ada%20Agron%20c3%b3mica%20-CD%20372.pdf>
- Tovar, W. R. (2018). *“COMPARACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE UNIDADES TÉRMICAS EN EL CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium quinoa), CON ABONADO DE FONDO, QUÍMICO, ORGÁNICO EN EL BARRIO GUAMBALO,*

CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA COTOPAXI” [Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI].
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5186/6/PC-000353.pdf>

Torres, R., Bernabé, A. J., Carmona, F. J., Martínez, J., & Fernández, F. (2023). Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. *Folia Microbiológica*.
<https://doi.org/10.1007/s12223-023-01078-4>

Ulloa, M. C., & Valle, L. (2021). Índice de cosecha con macronutrientes en grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(13), 15-28.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.95>

Valdivia, P. J. (2018). Efecto de la densidad y el nivel nitrogenado sobre la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), Variedad Inia salcedo en el distrito de la joya, Arequipa. Universidad Católica de Santa María.
<https://core.ac.uk/download/pdf/198129413.pdf>

Vázquez, A., Pimentel, V., Fuentes, F., & Díaz, R. (2019). Quinoa leaf as a nutritional alternative. *Ciencia e investigación agraria*, vol.46(no.2).
<http://dx.doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2098>

Velasco, A., Castellanos, O., Acevedo, G., Arland, R. C., & Rodríguez, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>

Velasco, M. (2024). Evaluación del efecto de *Methylobacterium symbioticum* Y *Bradyrhizobium* spp En la productividad del cultivo de arroz (*Oryza sativa*). [UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR].
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VELASCO%20CAPITO%20MELANIE%20MICHELLE.pdf>

Villavicencio, E. I. (2021). “Periodo crítico para el rendimiento y la calidad del grano de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) mediante la aplicación de sombra en distintos estados fenológicos, en el sector la Argelia, Loja”. [Tesis Ingeniero

Agrónomo, Universidad Nacional de Loja] Repositorio Institucional -
Universidad Nacional de Loja.

- Wong, W. S., Tan, S., Ge, L., Chen, X., & Yong, J. (2015). *The Importance of Phytohormones and Microbes in Biofertilizers* (pp. 105-158). https://doi.org/10.1007/978-3-319-24654-3_6
- Yong, J. W. H., Ge, L., Ng, Y. F., & Tan, S. N. (2009). The Chemical Composition and Biological Properties of Coconut (*Cocos nucifera* L.) Water. *Molecules*, *14*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/molecules14125144>
- Zavaschi, E., Faria, L. de A., Vitti, G. C., Nascimento, C. A. da C., Moura, T. A. de, Vale, D. W. do, Mendes, F. L., & Kamogawa, M. Y. (2014). Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, *38*, 1200-1206. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400016>
- Zhang, C., Wang, Y., Khan, N., Tan, L., & Yang, S. (2021). *Potentials, Utilization, and Bioengineering of Plant Growth-Promoting Methylobacterium for Sustainable Agriculture* (7). *13*(7). <https://doi.org/10.3390/su13073941>

11. Anexos

Anexo 1. Descripción de los estados fenológicos de crecimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa*) según la escala BBCH ampliada según Sosa *et al.* (2017).

Código BBCH Dos dígitos	Descripción
Etapa de crecimiento principal 0: germinación	
00	Siembra
01	Inicio de la imbibición de las semillas
03	Finalizada la imbibición de semillas
05	Emergencia de la radícula de la semilla
07	Aparición del hipocótilo
08	Hipocótilo con cotiledones creciendo hacia la superficie del suelo
09	Emergencia de los cotiledones a través del suelo
Etapa principal de crecimiento 1: desarrollo foliar	
10	Cotiledones completamente emergidos
11	Primer par de hojas visibles
12	Segundo par de hojas visibles
13	La codificación continúa con el mismo esquema
19	Nueve pares de hojas visibles.
Estado de desarrollo principal 2: formación de brotes laterales	
20	Yemas laterales visibles u hojas expandidas sin tallos laterales
21	Un brote lateral visible
22	Dos brotes laterales visibles
2.	La codificación continúa con el mismo esquema
29	Nueve brotes laterales visibles
Estado principal de desarrollo 3: alargamiento del tallo (omitido)	
Estado principal de desarrollo 4: desarrollo de las partes vegetativas cosechables (omitido)	
Estado principal de desarrollo 5: aparición de la inflorescencia	
50	Inflorescencia presente pero aún encerrada por las hojas.

51	Hojas que rodean la inflorescencia separada, la inflorescencia es visible desde arriba.
59	Inflorescencia visible, pero todas las flores siguen cerradas
Estado de crecimiento principal 6: floración.	
60	Comienzo de la antesis: inflorescencia principal de las flores con las primeras anteras extruidas.
67	Comienzo de la antesis: principal inflorescencia de las flores con las primeras anteras senescentes
69	Antesis completa: flores principales inflorescentes con anteras senescentes
Estado principal de desarrollo 7: desarrollo del fruto	
70	Cuajado: engrosamiento del ovario y primeros granos visibles en el tallo principal
Estado de desarrollo principal 8: maduración	
81	Grano lechoso, fácil de aplastar con las uñas, contenido líquido y pericarpio verde.
85	Grano grueso, fácil de aplastar con las uñas, contenido pastoso blanco, pericarpio verde, beige, rojo o negro.
89	Grano maduro, difícil de aplastar con las uñas, contenido seco, el grano tiene un color beige, rojo o negro en su exterior. Listo para cosechar.
Fase principal de crecimiento 9: senescencia	
91	Sólo las hojas basales están secas
93	Las hojas de la primera mitad de la planta, empezando por la base, están muertas
95	Todas las hojas están muertas; el color del tallo pasa de amarillo a marrón
97	Planta muerta y seca
99	Producto cosechado

Anexo 2. Cálculo del plan de fertilización para el cultivo de quinua.

1. Requerimiento del cultivo

N	P	K
120	80	60

1.1. Nitrógeno (N)

❖ Cálculo de requerimiento del cultivo

Datos

- Profundidad del muestreo: 0,20 m
- Densidad aparente: 1,3 t/m³

Peso suelo/ha = área m² (ha) * profundidad (0,20) * densidad aparente (1200 kg/m³)

Peso suelo/ha = 10 000 m² * 1,3 tn * 0,2 m = 2.600 t/ha * 1000kg/t = 2 600 000 kg/ha

Convertir de N a kg/ha

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg / suelo} \\ 2600000 \text{ kg} \end{array} \quad \begin{array}{r} 1,77 \text{ kg MO} \\ x \end{array}$$

$$x = 46.020 \text{ kg de MO}$$

N.T (Total) 5 % = 46,020 x 0.05 = 2301 kg de MO

ND (Disponible) 2% = 2301 kg x 0.02 = 46,02 kg de N

1.1.1. Cálculo del nitrógeno por hectárea

Fertilizante: Urea 46% de N

120 – 46.02 = 73,98 kg de N

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg} \\ x \end{array} \quad \begin{array}{r} 46 \text{ N} \\ 73,98 \text{ kg /N} \end{array}$$

$$\frac{100 \text{ kg} * 73.98 \text{ kg/N}}{46 \text{ N}} = 160 \text{ kg/ha de N}$$

- Cálculo de N para el ensayo (3 m²):

$$\begin{array}{r} 160 \text{ kg / ha} \\ x \end{array} \quad \begin{array}{r} 10 000 \text{ m}^2 \\ 3 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$\frac{160 \text{ kg} * 3 \text{ m}^2}{10\ 000 \text{ m}^2} = 0.048 \text{ kg}$$

✓ Transformar en gramos:

$$0.048 \text{ kg} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 48 \text{ g/N}$$

1.1.2. Fosforo (P)

❖ Cálculo de fosforo por hectárea

$$2,80 * 2,29 = 183,2 \text{ P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

Fertilizante: Superfosfato triple 46% de P₂O₅

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg/ha} \quad 46 \text{ P}_2\text{O}_5 \\ \times \quad 183,2 \text{ P}_2\text{O}_5/\text{ha} \end{array}$$

$$\frac{100 \text{ kg} * 183,2 \text{ P}_2\text{O}_5}{46 \text{ P}_2\text{O}_5} = 399 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5$$

• Cálculo de N para el ensayo (3 m²):

$$\begin{array}{r} 399 \text{ kg / ha} \quad 10\ 000 \text{ m}^2 \\ \times \quad 3 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$\frac{399 \text{ kg/ha} * 3 \text{ m}^2}{10000 \text{ m}^2} = 0,1197 \text{ kg de P}$$

✓ Transformar en gramos:

$$0,119 \text{ kg} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 119 \text{ g/P}$$

1.1.3. Potasio (K)

CIC → 11.54

$$\begin{array}{r} 11.54 \quad 100\% \\ 0.10 \quad \times \end{array}$$

$$\mathbf{x = 0.86 \% \text{ de déficit}}$$

$$\mathbf{K = 2\% - 0.86 = 1.14 \text{ de déficit}}$$

Déficit de K:

$$\begin{aligned}\% \text{ déficit de K } \left(\frac{mg}{kg}\right) &= CIC \times \left(\% \frac{\text{deficit}}{100}\right) \times 390 \text{ mg de kmol} \\ &= 11.54 \times \left(\frac{1.14}{100}\right) \times 390 \\ &= 51.3 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

Dosis de K₂O (kg/ha)

$$\begin{aligned}&= \frac{mg}{kg} \times prof. (m) \times Da \left(\frac{g}{cm^3}\right) \times \frac{10}{0.32} \\ &= \left(\frac{20 \text{ mg}}{kg}\right) \times 0.2 \times 1.1 \times \frac{10}{0.32} \\ &= \mathbf{137.5 \text{ kg/ha}}\end{aligned}$$

❖ Cálculo de Potasio por hectárea

Fertilizante: muriato de potasio 60%

Dosis de aplicar: 137.5 kg/ha

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg} \quad 60 \text{ K}_2\text{O} \\ \times \quad 137.5 \text{ kg/ha} \\ \hline 100 \text{ kg} * 137,5 \text{ kg/ha} \\ 60 \text{ K}_2\text{O} \end{array} = \mathbf{229,16 \text{ kg/ha}}$$

- **Cálculo de N para el ensayo (3 m²):**

$$\begin{array}{r} 229,16 \text{ kg / ha} \quad 10\,000 \text{ m}^2 \\ \times \quad 3 \text{ m}^2 \\ \hline 229,16 \text{ kg/ha} * 3 \text{ m}^2 \\ 10000 \text{ m}^2 \end{array} = \mathbf{0,069 \text{ de K}_2\text{O}}$$

- ✓ **Transformar en gramos:**

$$0,069 \text{ kg} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = \mathbf{69 \text{ g/ K}_2\text{O}}$$

❖ Resumen de las dosis de los fertilizantes empleados en el ensayo

Fertilizante	Dosis fertilizante (kg/ha)	Dosis parcela (kg/ensayo)	Dosis (g/ensayo)	Dosis (g/funda)
Urea	160	0,048	48	1,14
Superfosfato triple	399	0,1197	119	2,83
Muriato de potasio	229	0,069	69	1,64

Anexo 3. Cálculo de la dosis del biofertilizante BlueN

- ✓ **Dosis de aplicación:** 333 g/ha → 200 l/ ha
- ✓ **Volumen:** 5 l

$$Dosis\ de\ aplicación = \frac{333g * 5\ l}{200\ l} = 8,32\ g$$



Anexo 4. Preparacion del sustrato (tierra, arena y compost) y llenado de fundas.



Anexo 5. Siembra del cultivo de quinua.



Anexo 6. Manejo del cultivo (Riego y Manejo de plagas y enfermedades).



Anexo 7. Aplicación del biofertilizante (BlueN) en los tratamientos.



Anexo 8. Aplicación del tratamiento con un fertilizante sintético (urea).



Anexo 9. Toma de datos de la variable de altura de la planta.



Anexo 10. Toma de datos del diametro de tallo.



Anexo 11. Medición del contenido de contenido de clorofila con el SPAD.



Anexo 12. Medición del índice de área foliar en las plantas de quinua con la cámara GoPro.



Anexo 13. Medición de la longitud y diámetro de la panoja.



Anexo 14. Medición de la longitud y peso de la raíz.



Anexo 15. Separación de las diferentes partes de la planta, peso de la muestra y puestos en la estufa.



Anexo 16. Observación de la fenología del cultivo de quinua.



Anexo 17. Limpieza de la quinua en cedazos



Anexo 18. Peso de las muestras (granos) en balanza granataria.



Anexo 19. Limpieza final de los granos por la máquina limpiadora de semillas.



Anexo 20. Peso de los 1000 granos.



Anexo 21. Procedimiento para el aislamiento y caracterización de la bacteria *Methylobacterium* sp.

Anexo 22. Certificado de traducción del resumen

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

andrea.s.carrion@unl.edu.ec

Loja-Ecuador

Loja, 13 de marzo del 2024

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR** (registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463), **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**, a petición de la parte interesada y en forma legal.

CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por la señorita: **Karla Elizabeth Gordillo Pasaca** con cédula de ciudadanía No. **1150228219**, cuyo tema de investigación se titula: **"Efecto de BlueN como fuente nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su relación con la fenología de la planta, bajo condiciones de invernadero."** ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. en Pedagogía.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

ANDREA
STHEFANIA
CARRION
FERNANDEZ

Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.

Firmado digitalmente
por ANDREA STHEFANIA
CARRION FERNANDEZ
Fecha: 2024.03.13
19:24:04 -06'00'

English Professor