



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

**Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will.)  
con el uso de biofertilizante a base de *Metlylobacterium symbioticum*  
bajo condiciones controladas en la Argelia**

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

**AUTORA:**

Johanna Ibeth Mora Armijos

**DIRECTORA:**

PhD. Mirian Irene Capa Morocho

Loja - Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 15 de agosto del 2023

Dra. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) con el uso de biofertilizante a base de *Metlylobacterium symbioticum* bajo condiciones controladas en la Argelia**, previo a la obtención del Título de Ingeniera Agrónoma, de la autoría de la estudiante Johanna Ibeth Mora Armijos, con cedula de identidad Nro. 1150035853, 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, **Johanna Ibeth Mora Armijos**, 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:** 1150035853

**Fecha:** 14 de mayo del 2024

**Correo electrónico:** johanna.i.mora@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0969441459

**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, **Johanna Ibeth Mora Armijos**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) con el uso de biofertilizante a base de *Metlylobacterium symbioticum* bajo condiciones controladas en la Argelia**, como requisito para obtener el título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los catorce días del mes de mayo del dos mil veinticuatro.

**Firma:** 

**Autora:** Johanna Ibeth Mora Armijos

**Cédula:** 1150035853

**Dirección:** Av. Pio Jaramillo y Cuba

**Correo electrónico:** johanna.i.mora@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0969441459

## **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Directora del Trabajo de Integración Curricular**

Dra. Mirian Irene Capa Morocho

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación va dedicado primeramente a Dios por llenarme de sabiduría y ser mi guía durante toda mi carrera universitaria, permitiéndome vivir uno de los sueños más bonitos que desde niña lo anhelaba y que hoy en día por fin se está cumpliendo. A mis abuelitas que están en el cielo, porque antes de partir ellas me dejaron las herramientas necesarias para afrontar las cosas difíciles de la vida, pero también por crear los mejores recuerdos llenos de amor y alegría, hoy que no están han sido mis ángeles de la guarda. También a mi abuelito Bolívar el cual me ha impartido sus conocimientos y el amor que tiene por el campo.

Seguidamente a los cinco pilares fundamentales de mi vida quienes nunca me han dejado sola y han sido los principales espectadores de cada paso que he dado. Mi madre Nancy Armijos quien con su amor y apoyo incondicional me ha dado ánimos y que durante las agotadoras noches que me desvelaba con un beso en mi frente aliviaba mi cansancio. De igual manera a mi padre Marco Mora el cual con sus enseñanzas, consejos y amor me impulsaron a seguir adelante para cumplir cada meta que me propusiera y que en la vida todo se puede lograr. A mis dos hermanas Vilma y Mishell por ser mi refugio en mis momentos tristes y darme fortaleza para no rendirme, también por la confianza que tienen en mi generando una seguridad de que yo sí puedo. Así mismo a mi tío Axel donde sin importar la distancia siempre ha estado para decirme una palabra de aliento y sacarme un montón de sonrisas, por último, a mis perritos el cual han sido mis fieles compañeros durante toda mi carrera y por regalarme el más grande amor que puede existir.

A lo largo de este camino tuve la oportunidad de conocer una persona maravillosa quien hoy es mi novio Alejandro y tengo el privilegio de compartir la misma carrera, así mismo me ha brindado su amor y apoyo siendo testigo de todo este proceso convirtiéndolo en mi compañero de aventuras, también por estar en todo momento y no soltar mi mano en los momentos difíciles. De igual manera a mi amiga Karla por ser una persona excepcional y brindarme su amistad sin dejarme sola en este trayecto arduo y permitirme vivir bonitas experiencias que se quedaran guardadas en mi corazón y mente.

“Los sueños no se construyen de la noche a la mañana, sino es un proceso donde para hacerlos realidad se necesita una gran cantidad de determinación, dedicación, autodisciplina y esfuerzo”

***Johanna Ibeth Mora Armijos***

## **Agradecimientos**

Expreso mi agradecimiento primeramente a Dios por ser mi luz en medio de la oscuridad y darme fortaleza para afrontar cualquier adversidad. A mis padres Nancy Armijos y Marco Mora les agradezco por ser los principales promotores de mis sueños e inculcarme valores y principios siendo mis herramientas para defenderme en la vida, así mismo por brindarme su confianza y creer en mí. También a mis hermanas Vilma y Michell por ser mis cómplices y darme ánimos ya sea con un abrazo o una palabra. De igual forma agradezco a mi abuelito, tías, tíos y demás familiares el cual de una u otra manera me han mostrado su apoyo, así mismo por los consejos que me brindaron para ser mejor cada día y que cada sacrificio valía la pena.

Un sincero agradecimiento a mi novio Alejandro y mi amiga Karla por haberme acompañado durante toda esta travesía que no ha sido fácil pero tampoco imposible, la misma que está cargada de experiencias inolvidables que quedaran para el recuerdo y marcadas en el corazón, hoy solo queda disfrutar del gran logro que hemos alcanzado.

En cuanto a mi directora de Trabajo de Investigación la Dra. Mirian Capa, le agradezco por ser mi guía desde el comienzo hasta la culminación de mi proyecto, así mismo por su tiempo, paciencia, orientación y despejar siempre mis dudas e impartirme sus conocimientos que me permitieron lograr llegar a esta instancia tan anhelada, también por la linda amistad que me brindo siendo una amiga. De igual manera al Dr. Santiago Vásquez le agradezco por su guía y todos sus consejos, el cual los llevaré grabados en mi memoria, también a la Ing. Beatriz Guerrero, encargada del laboratorio de Bromatología, le agradezco por la paciencia y las enseñanzas impartidas durante la realización de mi trabajo

Finalmente agradezco a la Carrera de Ingeniería Agronómica perteneciente a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, por abrirme las puertas y ser escenario de mi formación académica, donde los maestros con sus enseñanzas que me impartieron me permitirán ponerla en práctica en mi futura vida profesional.

*Johanna Ibeth Mora Armijos*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	iii
<b>Carta de autorización</b> .....	iv
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimientos</b> .....	vi
<b>Índice de contenidos</b> .....	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xii
<b>1. Título:</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
Abstrac .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>4. Marco teórico</b> .....	7
<b>4.1. Cultivo de Quinoa (<i>Chenopodium quínoa</i> Willd)</b> .....	7
4.1.1. Origen del cultivo.....	7
4.1.2. Importancia de la quinoa.....	7
4.1.3. Rendimiento a nivel mundial y nacional.....	7
4.1.4. Variedad de quinoa INIAP Tunkahuan.....	8
4.1.5. Clasificación Taxonómica.....	8
4.1.6. Morfología .....	9
4.1.7. Fenología.....	10
4.1.8. Condiciones edafoclimáticas.....	12
4.1.9. Requerimientos nutricionales.....	13
4.1.10. Importancia del nitrógeno.....	14
4.2.1. Fertilización sintética .....	14
4.2.2. Biofertilizantes .....	15
4.2.3. Bacterias fijadoras de nitrógeno.....	15
4.2.4. Biofertilizante a base de <i>Methylobacterium symbioticum</i> SB23 -> Blue N .....	16

4.3. Investigaciones acerca de la aplicación de un biofertilizante a base de la bacteria <i>Methylobacterium Symbioticum</i> fijadora de nitrógeno.....	18
<b>5. Metodología.....</b>	<b>20</b>
5.1. Área de estudio.....	20
5.2. Metodología general.....	21
5.2.1. Establecimiento y manejo del cultivo.....	21
5.3. Tipo y alcance de investigación.....	22
5.4. Diseño Experimental.....	22
5.4.1. Tratamientos del experimento.....	23
5.5. Metodología para el primer objetivo.....	26
5.6. Metodología para el segundo objetivo.....	28
5.7. Análisis Estadístico.....	30
5.8. Aislamiento y caracterización de <i>Methylobacterium sp.</i> en hojas de quinua.....	30
<b>6. Resultados.....</b>	<b>31</b>
6.1. Fenología del cultivo.....	31
6.2. Condiciones climáticas.....	32
6.3. Variables fisiológicas.....	33
6.3.1. Clorofila (Lectura SPAD).....	33
6.3.2. Conductividad estomática (Porómetro).....	34
6.3.3. Cobertura vegetal (Canopeo).....	35
6.3.4. Índice de área foliar.....	36
6.3.5. Fluorescencia de clorofila.....	37
6.4. Rendimiento, componentes del rendimiento e índice de cosecha.....	39
6.5. Análisis de correlación entre las variables evaluada.....	41
6.6. Identificación y caracterización de <i>Methylobacterium sp.</i> .....	43
<b>7. Discusiones.....</b>	<b>44</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>51</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>52</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>53</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>66</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica de la quinua .....	9
<b>Tabla 2.</b> Delineamiento del diseño experimental para la evaluación de la respuesta agrofisiológica de la quinua con el uso de biofertilizante a base de <i>Methylobacterium symbioticum</i> bajo condiciones controladas en la Argelia. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Tratamientos que se implementaron para la evaluación de la respuesta agrofisiológica de la quinua con el uso de biofertilizante a base de <i>Methylobacterium symbioticum</i> bajo condiciones controladas en la Argelia. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Etapas fenológicas del cultivo de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en la escala BBCH .....	26
<b>Tabla 5.</b> Correlación de las diferentes variables medidas en las plantas de quinua bajo un biofertilizante a base de <i>Methylobacterium symbioticum</i> .....	42

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Países productores de quinua .....	8
<b>Figura 2.</b> Estados fenológicos del cultivo de la quinua .....	12
<b>Figura 3.</b> Modo de acción de la bacteria <i>Methylobacterium symbioticum</i> .....	17
<b>Figura 4.</b> Ubicación del experimento, cantón Loja, Quinta Experimental Docente “La Argelia”. .....	20
<b>Figura 5.</b> Estados fenológicos del cultivo de quinua bajo condiciones controlada. ....	25
<b>Figura 6.</b> Esquema de la implementación del experimento y distribución de las unidades experimentales con la respectiva ubicación de cada tratamiento T1 (Testigo), T2 (Fertilización sintética), T3 (1 aplicación de <i>Methylobacterium symbioticum</i> ), T4 (2 aplicaciones de <i>Methylobacterium symbioticum</i> ), T 5 (3 aplicaciones de <i>Methylobacterium symbioticum</i> ) y T6 (4 aplicaciones de <i>Methylobacterium symbioticum</i> ) con su repetición. ....	25
<b>Figura 7.</b> Etapas fenológicas del cultivo de quinua en los diferentes tratamientos bajo la aplicación de un biofertilizante T1(Testigo), T2(Fertilización sintética), T3 (1 aplicación de <i>Methylobacterium symbioticum</i> ), T4(2 aplicaciones de <i>Methylobacterium symbioticum</i> ), T5(3 aplicaciones de <i>Methylobacterium symbioticum</i> ) y T6 (4 aplicaciones de <i>Methylobacterium symbioticum</i> ), medidas según la escala BBCH en función de los DDS comenzando desde la emergencia hasta la senescencia de las plantas. Los números sobre los triángulos indican las etapas principales del cultivo según la escala BBCH. ....	31
<b>Figura 8.</b> Variables climáticas de temperatura máxima (verde), promedio (rosado), mínima (azul) y humedad relativa (HR) registrada durante el ciclo del cultivo de quinua. Los triángulos rojos con los números indican los códigos de la escala fenológica BBCH desde la siembra hasta la senescencia. ....	32
<b>Figura 9.</b> Contenido de clorofila (SPAD) en las plantas de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de un biofertilizante <i>Methylobacterium symbioticum</i> evaluadas a los 43 DDS hasta los 155 DDS. Los rombos ubicados sobre el eje “X” indican la etapa fenológica en que se realizaron las aplicaciones (v4, v5, v6 y v7). Las letras diferentes expresan que hay diferencias significativas según el test de Tukey ( $p < 0,05$ ); el símbolo (**) indican efecto no significativo, las barras verticales en cada símbolo muestran errores estándar.....	33
<b>Figura 10.</b> Conductancia estomática de los diferentes tratamientos de las plantas de quinua	

evaluadas a los 43 hasta los 155 DDS. Las fechas sobre el eje “X” indican la etapa fenológica en que se aplicó el biofertilizante (v4, v5, v6 y v7). Las letras diferentes muestran las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) y el símbolo (\*\*) efecto no significativo.

..... 34

**Figura 11.** Porcentaje de la cobertura vegetal desde los 43 hasta los 141 DDS en los respectivos tratamientos bajo la aplicación de una fuente nitrogenada biológica *Methylobacterium symbioticum*. Los triángulos invertidos resaltan la etapa fenológica en que se aplicó el biofertilizante (v4, v5, v6 y v7). Las letras diferentes muestran las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) y el símbolo (\*\*) efecto no significativo. .... 35

**Figura 12.** Índice de área foliar en el cultivo de quinua variedad Tunkahuan en los diferentes estados fenológicos bajo la aplicación del biofertilizante *Methylobacterium symbioticum*. Las líneas verticales de colores ubicadas en el eje “X” indican el momento en que se realizó las aplicaciones en los tratamientos respectivamente (V4, V5, V6 y V7). Respecto a las diferentes letras que están sobre las líneas indican el efecto significativo  $p < 0,05$ .

..... 36

**Figura 13.** Efecto del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* sobre los parámetros de fluorescencia de la clorofila en el cultivo quinua: máxima eficiencia fotoquímica del PSII (Fv/Fm) (a), rendimiento cuántico efectivo del PSII ( $\Phi$ PSII) (b) y quenching no fotoquímico (NPQt) (c). Las diferentes letras indican diferencias significativas, (\*\*) no presenta diferencias significativas. Las barras verticales en cada símbolo muestran errores estándar. .... 38

**Figura 14.** Respuesta de los parámetros de rendimiento de grano: Biomasa (g) maceta y planta (a); Rendimiento (g) maceta y planta<sup>-1</sup> (b) ; N° granos planta<sup>-1</sup>, N° granos g maceta<sup>-1</sup> (c); Peso 1000 granos (g) (d); Índice de cosecha (e) en plantas de quinua en los diferentes tratamientos bajo la aplicación. .... 41

**Figura 15.** Identificación y caracterización de la bacteria *Methylobacterium* sp. .... 43

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Descripción de los estados fenológicos de crecimiento de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) según la escala BBCH ampliada.....	66
<b>Anexo 2.</b> Cálculos del plan de fertilización para el cultivo de quinua. ....	68
<b>Anexo 3.</b> Preparación del sustrato a base de tierra, arena y compost, llenado de fundas.....	72
<b>Anexo 4 .</b> Establecimiento y siembra del cultivo de quinua variedad Tunkahuan. ....	72
<b>Anexo 5 .</b> Control fitosanitario y riego en las plantas de quinua.....	73
<b>Anexo 6 .</b> Unidades experimentales con 3 plantas por funda. ....	72
<b>Anexo 7 .</b> Aparición de las primeras hojas verdaderas y desarrollo de hojas. ....	73
<b>Anexo 8 .</b> Estadio vegetativo del cultivo de quinua .....	73
<b>Anexo 9 .</b> Aparición del botón floral, emergencia de la florescencia y Floración. ....	74
<b>Anexo 10 .</b> Etapa reproductiva del cultivo de quinua.....	74
<b>Anexo 11 .</b> Madurez fisiológica y cosecha de las plantas de quinua.....	76
<b>Anexo 12 .</b> Aplicación de la fertilización sintética (Urea, Superfosfato triple y Muriato de potasio). .....	74
<b>Anexo 13 .</b> Aplicación del biofertilizante a base de <i>Methylobacterium symbioticum</i> .....	75
<b>Anexo 14 .</b> Toma de datos de la variable contenido de clorofila (SPAD).....	75
<b>Anexo 15 .</b> Toma de datos de la variable conductancia estomática con el porómetro. ....	75
<b>Anexo 16 .</b> Medición de la variable Índice de área foliar la cámara Go pro9 y cobertura vegetal .....	76
<b>Anexo 17.</b> Toma de datos de la variable fluorescencia de la clorofila con el fluorómetro MultispeQ .....	76
<b>Anexo 18 .</b> Separación de las diferentes partes de la planta y peso de la muestra antes de ponerse en la estufa .....	77
<b>Anexo 19 .</b> Colocación de las fundas de papel en la estufa y peso de las muestras sacadas de la estufa en la balanza. ....	77
<b>Anexo 20 .</b> Limpieza de la quinua en tamizadores. ....	78
<b>Anexo 21 .</b> Colocación y obtención de los granos en la máquina limpiadora de quinua y peso del número total de granos.....	78
<b>Anexo 22 .</b> Conteo y peso en la balanza analítica de los 1000 granos .....	78

<b>Anexo 23 .</b> Procedimiento para el aislamiento bacteriano de una muestra vegetal.....	79
<b>Anexo 24 .</b> Caracterización de la bacteria <i>Methylobacterium</i> sp. ....	79
<b>Anexo 25.</b> Certificación de la traducción del resumen.....	80

## **1. Título:**

Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) con el uso de biofertilizante a base de *Metlylobacterium symbioticum* bajo condiciones controladas en la Argelia.

## 2. Resumen

La quinua es un cultivo andino el cual está recobrando mayor importancia en los últimos años, esto se debe a las propiedades nutritivas y por la variabilidad genética que le permite adaptarse a diferentes zonas agroecológicas. El cultivo es exigente en nutrientes, especialmente de nitrógeno, sin embargo, el uso de productos químicos en exceso ha generado un impacto negativo tanto al ambiente como en el suelo. Por lo tanto, una alternativa ecológica es la aplicación de fertilizantes biológicos. Es por ello que el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* en las diferentes etapas fenológicas respecto a los parámetros fisiológicos y rendimiento de la quinua. El experimento fue implementado bajo condiciones controladas, para lo cual se trabajó con un diseño experimental completamente al azar (DCA) con un factor de fertilización nitrogenada que consistió en un fertilizante sintético (urea) y un biofertilizante *Methylobacterium symbioticum*, estableciendo 6 tratamientos con 7 repeticiones respectivamente. En cuanto a la fenología el T6 (4 aplicaciones del biofertilizante) tuvo una duración de 221 días. Para las variables fisiológicas, el T5 (3 aplicaciones del biofertilizante) presentó valores altos durante la etapa reproductiva, en el contenido de clorofila, conductancia estomática, cobertura vegetal y el índice de área foliar. Respecto a la variable fluorescencia de la clorofila hubo una disminución en la máxima eficiencia fotoquímica del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ) y rendimiento cuántico efectivo del fotosistema II ( $\Phi_{PSII}$ ), en cambio el quenching no fotoquímico (NPQ) aumentó. De igual manera el T5 tuvo promedios altos en biomasa (113,69 g), número de granos (5 981,71) y rendimiento por planta (22,43 g) y el peso de 1000 granos (3,90 g). Sin embargo, el T4 (2 aplicaciones del biofertilizante) presentó un valor alto en la variable índice de cosecha (0,33). Es por ello que la respuesta de las plantas ante la aplicación del biofertilizante fue positiva, misma que podría ser utilizada como una fuente de nitrógeno respetuosa con el medio ambiente y rentable para la economía del agricultor.

**Palabras clave:** Biofertilizante, *Methylobacterium symbioticum*, fenología, fisiológicos y rendimiento.

## **Abstrac**

Quinoa is an Andean crop that has been recovering greater importance in recent years due to its nutritional properties and genetic variability that allows it to adapt to different agro-ecological zones. The crop is demanding in nutrients, especially nitrogen, however, the excessive use of chemical products has had a negative impact on both the environment and the soil. Therefore, an ecological alternative is the application of biological fertilizers. For this reason, the present study aimed to evaluate the effect of biofertilizer based on *Methylobacterium symbioticum* in the different phenological stages with respect to the physiological parameters and yield of quinoa. The experiment was implemented under controlled conditions, using a completely randomized experimental design (CRD) with a nitrogen fertilization factor consisting of a synthetic fertilizer (urea) and a biofertilizer *Methylobacterium symbioticum*, establishing 6 treatments with 7 replicates, respectively. In terms of phenology, T6 (4 applications of biofertilizer) had a duration of 221 days. For physiological variables, T5 (3 applications of biofertilizer) presented high values during the reproductive stage, in chlorophyll content, stomatal conductance, plant cover and leaf area index. Regarding the variable chlorophyll fluorescence, there was a decrease in the maximum photochemical efficiency of photosystem II (Fv/Fm) and effective quantum yield of photosystem II ( $\Phi$ PSII), while non-photochemical quenching (NPQ) increased. Similarly, T5 had high averages in biomass (113,69 g), number of grains (5 981,71 g), yield per plant (22,43 g) and weight of 1000 grains (3,90 g). However, T4 (2 applications of biofertilizer) presented a high value in the harvest index variable (0,33). Therefore, the response of the plants to the application of the biofertilizer was positive, which could be used as an environmentally friendly and profitable source of nitrogen for the farmer's economy.

**Key words:** Biofertilizer, *Methylobacterium Symbioticum*, phenology, physiological, yield.

### 3. Introducción

La quinua es un alimento esencial desde tiempos remotos, pues durante miles de años fue el principal alimento de los Incas, pero con la llegada de los españoles fue remplazada por otros cereales (Parra et al., 2017). Actualmente es catalogada como un tesoro andino producto de las cualidades nutricionales, siendo el único alimento de origen vegetal que tiene todos los aminoácidos e incluso puede reemplazar la proteína animal, otra característica es la capacidad que presenta para adaptarse a los diferentes ambientes agroecológicos (Blanco y Huanacuni, 2020). Esta milenaria semilla es uno de los cultivos más promisorio y estratégico producto de su potencial en el logro de la seguridad alimentaria y ser una alternativa para solucionar los problemas de nutrición en países subdesarrollados (Matus, 2015).

Los principales productores de quinua son los países de Perú y Bolivia representando el 74 % de la producción mundial, sin embargo, Perú durante los últimos años ha aumentado una tasa promedio anual de 9 %, produciendo 52 130 t en el 2013, mientras que para el año 2022 fue de 113 355 t, ocupando el primer lugar (MIDAGRI, 2023), de igual manera Ecuador, Chile y Argentina son países que producen pero en baja escala . Hoy en día el cultivo ha trascendido las fronteras continentales, encontrándose en más de 70 países, incrementándose de esa forma la producción y superficie (Bazile et al., 2013). Respecto a la producción en Ecuador se produce tradicionalmente en la región Sierra, tanto por las condiciones agroecológicas, como por la importancia de este grano en los sistemas de producción andina (Curti et al., 2015).

Para obtener un rendimiento óptimo en la quinua depende de varios factores, siendo la fertilización, el cual juega un rol importante ya que provee los nutrientes necesarios que permiten sustentar una buena producción y calidad de grano (Flores, 2023). Sin embargo, ante la falta de manejo adecuado en la fertilidad y nutrición del cultivo constituyen factores críticos para bajos rendimientos, pues la deficiencia de uno o varios nutrientes puede llegar afectar procesos fisiológicos claves que determinan una correcta formación y crecimiento de los granos (Saboor et al., 2021).

El nitrógeno es el elemento que más requiere la quinua, pues interviene en la formación de proteínas , aminoácidos, albúminas vegetales y fermentos, así mismo interviene en la fotosíntesis y en el contenido de clorofila , por lo que su aplicación como fertilizante o fuente orgánica es necesaria y las cantidades a aplicar están en función de los requerimientos del cultivo, fertilidad nutricional del suelo y también del nivel de producción que se desea obtener (Alandia et al., 2016)

Los agricultores tienden a utilizar fertilizantes sintéticos con el afán de poder aumentar el suministro de nutrientes, no obstante, los resultados no han sido positivos, pues solamente es asimilado un cierto porcentaje por las plantas debido al exceso de aplicación, cabe recalcar que también conllevan una serie de efectos adversos para la salud y el medio ambiente (Guevara Fernández et al., 2019). Ante esta problemática, nace la necesidad de buscar nuevas alternativas de fertilización, una de ellas es el uso de productos biológicos como los biofertilizantes, el cual tienen la capacidad para sintetizar sustancias que interviene en el proceso de la nutrición biológica de las plantas y a la vez actuar como una ayuda a largo plazo para así tener una buena producción de los cultivos en un futuro (Minh et al., 2022).

A través de esta investigación se pretende aportar al avance del conocimiento al tener una fertilización agroecológica nitrogenada en el cultivo de quinua. En la actualidad, es poca la información generada sobre el uso de microorganismos captadores de nitrógeno atmosférico, específicamente en la aplicación de este cultivo, pero en otros cultivos de interés agronómico sí han tenido buenos resultados (CORTEVA, 2021). Se utilizará el producto Blue N, fuente nitrogenada que contiene *Methylobacterium symbioticum*, bacteria que suministra de forma biológica parte de las necesidades de nitrógeno, así mismo supone un ahorro energético para los cultivos y económico para los agricultores (Benavides, 2023).

Esta investigación ayudara a los productores de la ciudad de Loja, ya que, al reunir las condiciones ambientales que necesita la quinua, en cuanto a su crecimiento, desarrollo y rendimiento, lo convierten en una alternativa para la diversificación de la producción de granos en la provincia e incluso aumentar el rendimiento de una manera agroecológica solventado de esa forma la gran demanda a nivel nacional e internacional.

El proyecto está vinculado con el sistema de investigación y normativa para la gestión de investigación científica de la Universidad Nacional de Loja, cuenta con la línea denominada ``Sistemas de Producción Agropecuaria para la Soberanía Alimentaria``, para la carrera de Ingeniería Agronómica posee la línea denominada “Tecnologías para la producción y posproducción agrícola sostenible”, pertenece al proyecto de investigación institucional de la Universidad Nacional de Loja, denominado “Bases fisiológicas del uso de la radiación solar y el nitrógeno en genotipos de quinua ecuatoriana”.

## Objetivos

### Objetivo general

- ❖ Evaluar la respuesta fisiológica y rendimiento en el cultivo de quinua bajo la aplicación de un biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum*, bajo condiciones controladas en la Argelia.

### Objetivos específicos

- Describir el efecto del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum*, como fuente nitrogenada, sobre los parámetros fisiológicos en el cultivo de quinua.
- Determinar el rendimiento y sus componentes bajo una fertilización nitrogenada con un biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* en el cultivo de quinua.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. Cultivo de Quinua (*Chenopodium quínoa* Willd)**

#### **4.1.1. Origen del cultivo**

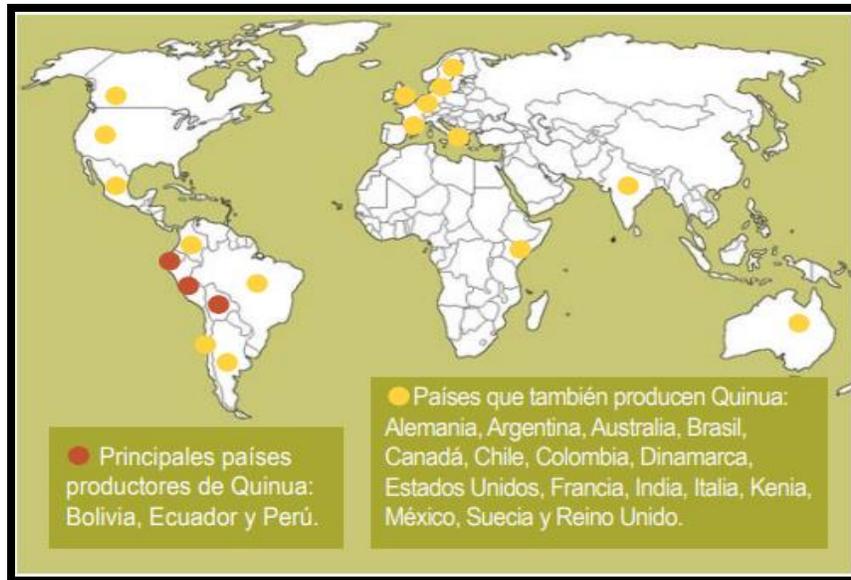
La quinua (*Chenopodium quínoa* Willd) es una planta sudamericana de origen andino, la misma que fue cultivada y utilizada por las civilizaciones prehispánicas , también muestra la mayor distribución de formas, diversidad de genotipos y de progenitores silvestres (Mujica, 2019). Seguidamente, el cultivo fue distribuido y adaptado a distintas condiciones agroclimáticas, edáficas y culturales, por lo tanto, la planta presenta una amplia adaptación que va desde el nivel mar hasta los 4 000 m.s.n.m; así mismo diversos usos en las diferentes comunidades étnicas de acuerdo a sus necesidades alimentarias (Galvis, 2017).

#### **4.1.2. Importancia de la quinua**

La importancia de este cultivo radica en los múltiples beneficios y es considerada por la FAO como un “súper alimento”, debido al alto contenido proteico (14-18%) que posee (Campos-Rodríguez et al., 2022) . Los indígenas la consideran como el grano madre por ser comparable con la leche materna en cuanto a su valor nutricional (Veas y Cortés, 2016). En Ecuador la quinua fue valorada por las poblaciones aborígenes presente, una de ellas fueron los Cañarís el cual cultivaban la planta a fines del siglo XVI antes de que los españoles llegaran, manteniéndose entre los campesinos del área de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Loja, Azuay, entre otras localidades de la región andina ecuatoriana (Mestanza et al., 2019).

#### **4.1.3. Rendimiento a nivel mundial y nacional**

En la actualidad la quinua se distribuye desde América, Estados Unidos, Canadá, Chile; en Europa, Asia y el África, obteniendo resultados aceptables tanto en producción y adaptación (Figura 1). Respecto a la producción en Perú se considera que es el principal exportador y productor mundial, donde las plantaciones de quinua esta comprendía en 65 280 ha, superando a Bolivia (Silva, 2021).



**Figura 1.** Países productores de quinua (Vargas , 2019).

La principal provincia productora de quinua en Ecuador es Chimborazo, donde se obtiene cerca del 80 % de la producción total, de igual manera Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Carchi, Cañar y Loja se dedican a la producción de este grano pero en baja escala, en cuanto a la variedad más producida es la INIAP Tunkahuan (Alfonso et al., 2017). En el año 2020 el área cosechada fue de 5 267 ha, teniendo una producción de 4 903 t ( FAOSTAT, 2023), en cambio para el 2022 se cosecharon solo 837 ha produciéndose 1 124 t anuales teniendo un rendimiento de 1,34 t/ha (MAG, 2023).

#### **4.1.4. Variedad de quinua INIAP Tunkahuan**

El grano de esta variedad se caracteriza por tener un bajo contenido en saponina por lo que se considera dulce y es semiprecoz el cual tiende a ser cosechada entre 5 y 7 meses, dependiendo de la altitud y precipitación en la que se encuentre. En cuanto a la producción suele ser oscilar entre 3 t/ha y presenta una buena adaptación en la región Sierra (Peralta et al., 2013).

#### **4.1.5. Clasificación Taxonómica**

Según Ramos (2018) la clasificación botánica y morfológica de la quinua (Tabla 1), es importante para identificar y diferenciar las diferentes variables, formas silvestres y cultivadas , concluyendo que la quinua se ubica en la siguiente clasificación:

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la quinua (Ramos, 2018).

<b>TAXONOMÍA</b>		
	<b>Reino:</b>	Plantae
	<b>División:</b>	Fanerógamas
	<b>Clase:</b>	Dicotiledóneas
	<b>Subclase:</b>	Angiospermas
	<b>Orden:</b>	Centrospermas
	<b>Familia:</b>	<i>Amaranthaceae</i>
	<b>Género:</b>	<i>Chenopodium</i>
	<b>Sección:</b>	Chenopodia
	<b>Subsección:</b>	Cellulata
	<b>Especie:</b>	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

#### 4.1.6. Morfología

Es una planta herbácea anual dicotiledónea, el periodo vegetativo tiende a durar de 4 a 9 meses y su altura depende del genotipo, de las condiciones ambientales y la fertilidad del suelo, ésta puede variar entre los 0,5 y 2,5 m (Allende, 2017; Diaz et al., 2019). Presenta diversos colores como verde, amarillo, rojo o violeta (FAO, 2011).

##### ➤ Raíz

La quinua posee una raíz pivotante de la cual nacen numerosas raíces laterales, suele extenderse después de que el tallo comienza a ramificarse, esto facilita una mejor absorción del agua y nutrientes. La raíz sirve de sostén a la planta, permitiendo mantener el peso de la panoja. La profundidad de este órgano puede alcanzar longitudes desde los 0,5 a 1,5 m (Gómez y Aguilar, 2016).

##### ➤ Tallo

El tallo es cilíndrico y a medida que se aleja del suelo, se vuelve angulado donde crecen las hojas y las ramas. La corteza es fuerte y densa, y consiste en un tejido altamente lignificado. Las ramas se originan de las axilas de cada hoja en el tallo. Su longitud puede variar, esta característica dependerá del cultivar y las condiciones medio ambientales (León, 2014).

#### ➤ **Hojas**

Se caracteriza por poseer peciolo y lámina bien definidos, y que pueden ser de diversos colores verde, rojo o morado. El peciolo es largo y acanalado, y su longitud depende del lugar de la planta en que se originan. Respecto a la forma de la hoja inferior puede ser romboidal o triangular, mientras que las hojas superiores son triangulares o lanceoladas (Montesinos, 2016).

#### ➤ **Inflorescencia**

Es una panoja con una longitud variable de 15 – 70 cm, puede encontrarse en el ápice de la planta y en el ápice de las ramas. Presenta un eje principal, ejes secundarios y ejes terciarios. En cuanto a la formación se puede dar en la parte terminal del tallo principal o axilas de hojas (Cañete et al., 2021).

#### ➤ **Flores**

Las flores de la quinua son incompletas ya que no tienen pétalos sólo cuenta con sépalos, denominado perigonio sepaloide. Posee flores femeninas y hermafroditas en la misma inflorescencia y, en consecuencia, es principalmente una especie de autopolinización con sólo alrededor del 10% de cruzamiento externo (Bhargava y Srivastava, 2013).

#### ➤ **Fruto**

El fruto es un aquenio que presenta una única semilla, tiene forma elipsoidal o redonda de colores diferentes y que se desprende fácilmente cuando está seco. El pericarpio del fruto se encuentra adherido a la semilla y es donde está presente la saponina, un factor antinutritivo que le transfiere sabor amargo y depende del genotipo (Gómez y Aguilar, 2016).

#### ➤ **Semilla**

La semilla está conformada por el epispermo, embrión y perisperma, el epispermo, es la capa que cubre la semilla, su color puede ser diferente en la misma semilla. Mientras que el embrión está formado por dos cotiledones y la radícula, representa un 30% del peso del grano y tiene una pigmentación castaño oscuro. El perisperma es un tejido donde se reserva los almidones y otros nutrientes del grano, se caracteriza por ser de color blanquecino y tiende a representar el 60% de la semilla (Bravo et al., 2021).

#### **4.1.7. Fenología**

Cada etapa se encuentra controlada por distintos factores, tales como genéticos, agronómicos y ambientales, que determinan los cambios de la planta a lo largo de su ciclo, finalmente se expresa en lo que respecta a la acumulación de biomasa, formación en los componentes de rendimiento y

rendimiento final (Veas y Cortés, 2016). Según Sosa et al. (2017) describe los estados fenológicos del cultivo de quinua (figura 2) a través de una escala estandarizada basada en el sistema de codificación BBCH que consiste en lo siguiente:

❖ **Estado fenológico principal 0: Germinación (Etapa 0 – 09)**

Esta fase comienza con la imbibición de la semilla, después con la imbibición de la semilla completa y emergencia de la radícula desde la semilla. La germinación es epigea, por lo que se da la emergencia del hipocótilo y finalmente la germinación termina con la aparición de los cotiledones a través de la superficie del suelo.

❖ **Fase fenológica principal 1: Desarrollo de hojas (Etapa 10 -11)**

El comienzo de esta etapa viene dado del apareamiento del primer par de hojas se considera hoja cuando se ha expandido o está en proceso de expansión y sucesivamente van apareciendo

❖ **Fase fenológica principal 2: Formación de ramas laterales y tallos secundarios (Etapa 12-22)**

Se inicia una vez que el tallo principal ha desarrollado más de 5 pares hojas verdaderas, las yemas axilares comienzan a formar las ramas perdiendo su simetría en la disposición de las hojas

❖ **Etapa principal de crecimiento 3, 4 y 5 : Elongación del tallo, desarrollo de partes vegetativas cosechables y emergencia de la inflorescencia (Etapa 50-60)**

La inflorescencia se encuentra envuelta en las hojas jóvenes y no son visibles, después las hojas se separan y la inflorescencia se hace visible desde arriba y finalmente la inflorescencia es visible pero las flores se encuentran cerradas

➤ **Etapa principal de crecimiento 6: Floración (Etapa 61-70)**

Esta fase se caracteriza por el desarrollo de las flores dentro de la inflorescencia principal, es el comienzo de la antesis junto con las primeras anteras visibles, seguido del final temprano de la antesis con las primeras anteras senescentes y la antesis completa con anteras senescentes (50% de flores). El color de la inflorescencia cambia según el genotipo, el color del perigonio cambia a medida que avanza la floración. Una vez que las anteras estén visibles la inflorescencia principal muere se considera completada.

➤ **Etapa principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto (Etapa 70 -80)**

Para el desarrollo del fruto se inicia con el cuajado, la misma que está definida por el engrosamiento del ovario y la presentación de los primeros granos visibles.

➤ **Etapa principal de crecimiento 8: Maduración (Etapa 81-89)**

Los granos ya están formados y tiene un tamaño final el cual comienzan a recibir fotosintatos de las hojas, y partes verdes de la inflorescencia; la sustancia acuosa presente en un inicio es reemplazada por una sustancia lechosa. Después el grano suele ser pastoso siendo fácil de romper y tienen un contenido similar a una pasta blanca y densa, y su color puede variar de verde a beige. Finalmente, los granos son maduros, en esta etapa los granos son difíciles de romper, su contenido es seco y color beige, cuando el grano se encuentra en esta fase está listo para ser cosechado.

➤ **Etapa principal de crecimiento 9: Senescencia (Etapa 91-99)**

En esta última etapa comienza con la senescencia de las hojas basales hasta llegar a la parte de arriba, sin embargo, el tallo tiende a permanecer verde. Después las hojas restantes se mueren y el tallo pasa de amarillo a marrón. Por último, toda la planta está muerta y seca, y luego se cosecha el producto (Figura 2).



**Figura 2.** Estados fenológicos del cultivo de la quinua (Cañete et al., 2021).

#### 4.1.8. Condiciones edafoclimáticas

➤ **Altitud**

La altitud óptima en los valles se extiende desde 2 000 hasta 3 400 m s.n.m; mientras que para el Altiplano está entre los 3 800 a 4 000 m s.n.m; sin embargo, el mejor desarrollo del cultivo de quinua está comprendida en un rango de los 2 800 a 3 900 m s.n.m. para la zona andina (INIAP, 2022).

### ➤ **Suelo**

La quinua puede ser cultivada en diferentes tipos de suelos como francos, franco-arenosos, franco-arcilloso, de igual manera con pendientes moderadas, cabe destacar que deben poseer contenidos altos de materia orgánica, misma que es exigente en nitrógeno. En suelos arenosos las plantas pueden emerger más rápido de lo normal, mientras que en suelos arcillosos el desarrollo de la planta suele ser débil debido a que el agua se encharca (Calla, 2015).

### ➤ **Temperatura y clima**

La temperatura dependerá de la variedad, el rango de temperatura óptima para el desarrollo del cultivo va desde los 15 °C a 25°C. Las fases más susceptibles son la floración y llenado de grano pues resiste hasta - 1 °C, con temperaturas mayores a 38°C puede haber un aborto en las flores impidiendo así la formación de grano (FAO, 2022). En cuanto al clima existen variedades o ecotipos adecuadas a los diferentes climas pudiendo ser desértico, caluroso y seco, frío y seco, templado y lluvioso. Existen variedades o ecotipos adecuadas a los diferentes climas (Alfonso et al., 2017).

### ➤ **Precipitación y humedad**

El rango de precipitación óptima son los 500 a 800 mm, pero en el establecimiento del cultivo solo se necesita una precipitación de 60 a 100 mm. La humedad relativa en la que se desarrolla favorablemente el cultivo es de 40 % en el altiplano y hasta 100 % en la costa, considerando esta alta humedad relativa en los meses de mayor desarrollo (enero y febrero) (Peralta, 2014).

El cultivo prospera adecuadamente con 12 horas de luz diarias en el hemisferio sur sobre todo en el Altiplano, esto permite inducir la floración y maduración de los granos; mientras que, en el hemisferio norte y zonas australes prospera en forma adecuada con 14 horas de luz diarias (Gómez y Aguilar, 2016).

#### **4.1.9. Requerimientos nutricionales**

El crecimiento de la planta de quinua está determinado por la genética, factores bióticos y abióticos. Entre los abióticos, el factor nutrición de la planta se considera un aspecto determinante, siendo este cultivo exigente en nitrógeno, calcio, fósforo y potasio, por ello requiere un buen abonamiento y fertilización, teniendo en cuenta la riqueza y contenido de nutrientes de los suelos destinados a la siembra de quinua, la rotación implementada y el nivel de producción que se desea obtener (Valle et al., 2021).

#### **4.1.10. Importancia del nitrógeno**

El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes para la producción de cultivos, se encuentra naturalmente en la tierra en forma orgánica y mineral, no obstante, su disponibilidad es limitante para las reacciones bioquímicas y fisiológicas requeridas para el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas, por lo tanto, se debe aplicar un abono rico en nitrógeno (Orchardson, 2020). En el cultivo de quinua este elemento se encarga de incrementar el crecimiento vegetativo y la capacidad fotosintética de la planta; es decir, producir y mantener el verdor de las hojas, también el número de semillas por inflorescencia y determina el potencial de rendimiento, pero al haber una carencia de nitrógeno no podrá completar procesos metabólicos indispensables para su desarrollo (Veas y Cortés, 2016).

La eficiencia del nitrógeno se evidencia poco después de su aplicación, donde se puede observar que las plantas desarrollan un color verde oscuro y tiende a crecer vigorosamente (Bojanic, 2011). Pero al haber un exceso de nitrógeno puede causar un desequilibrio resultando mayor competencia de malas hierbas y ataques de plagas, pérdidas sustanciales de la producción del cereal. Además, el nitrógeno no absorbido por el cultivo posiblemente se pierda en el ambiente (Peralta, 2010).

#### **4.2. Fertilización**

La fertilización es un proceso a través del cual se suplementa los nutrientes necesarios para las plantas, en especial los tres elementos químicos que son el nitrógeno, fósforo y potasio, pues son los encargados de evitar que las plantas experimenten un crecimiento débil, hojas amarillentas, flores y frutos pequeños y poco vigorosos, enfermedades y plagas. Diversas estrategias de fertilización deben mejorar las características morfológicas y fisiológicas en las plantas, de modo que éstas tengan efectos positivos, es decir, más resistentes o aumentar su potencial de crecimiento (Belles, 2021).

##### **4.2.1. Fertilización sintética**

La fertilización sintética o química es una de las prácticas que conlleva mayor costo por lo que reduce las utilidades del productor y a la vez induce la contaminación y degradación de los suelos por el uso excesivo de estos insumos, ya que al realizar aplicaciones continuas de fertilizantes en suelos cultivados originan disminución de materia orgánica y de actividad biológica, así como un desbalance nutricional. Además, se estima que sólo del 10 a 40 % de los fertilizantes aplicados son utilizados por la planta y el 60 a 90 % se pierden o lixivian (Alvarado-Carrillo et al., 2018).

En cuanto a los fertilizantes sintéticos más utilizados son los que están compuesto por nitrógeno, ya que gracias a este nutriente se mejora la producción de los cultivos, por lo cual es considerado como el tercer factor importante en la producción después del agua y temperatura. Existe una cantidad de fertilizantes nitrogenados, sin embargo, la Urea es la más utilizada por parte del agricultor y se ha incrementado drásticamente en los últimos 25 años (Arévalo-Galarza et al., 2016). La mayor ventaja es de que posee un 46 % de N, mientras que una desventaja es la pérdida de nitrógeno (N) en forma de gas amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), proveniente de su descomposición al ser aplicada al suelo (Morales-Morales et al., 2019).

#### **4.2.2. Biofertilizantes**

El mundo está en constante cambio y el sector agrícola no es la excepción pues al haber un crecimiento de la población la demanda de alimentos crece. Situación que ha conllevado a la innovación en las formas en las que se desarrolla la agricultura, uno de esos avances son los biofertilizantes el cual han comenzado a popularizarse entre los agricultores por la propia demanda de los consumidores y las normativas globales (Galindo-Martorell et al., 2023).

Los biofertilizantes son productos compuestos por uno o varios microorganismos, principalmente de hongos y bacterias, el cual viven en una contante simbiosis con las plantas. La función principal que tienen es mejorar la fertilidad del suelo y salud de las plantas; generando una adición de nutrientes, también ser promotores de crecimiento y mejorar la calidad del suelo. Por lo tanto, mediante su aplicación es posible aumentar el rendimiento de los cultivos y al mismo tiempo crear concienciación social sobre la producción sostenible (Nosheen et al. 2021).

Los microorganismos que lo compone son conocidos como PGPR Rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, pues habitan en la rizosfera y colonizan las raíces de las plantas, influyendo positivamente en el desarrollo de las mismas (Kour et al., 2020). Todo ello, se da a través de un proceso natural, puesto que se extraen elementos del propio suelo y luego tras una producción en masa se devuelven a las plantas y tierra. Así mismo son capaces de producir diferentes fitohormonas, y sustancias como los sideróforos, el cual son responsables de poner a disposición a las plantas determinados microelementos, como el hierro (Chávez, 2023).

#### **4.2.3. Bacterias fijadoras de nitrógeno**

Las bacterias fijadoras de nitrógeno son componentes muy importantes del suelo el cual pueden fijar nitrógeno atmosférico y suministrarlo a la planta; al igual que permiten sintetizar fitohormonas que actúan mejorando los diferentes estadios del crecimiento vegetal, también

solubilizar minerales de fósforo y sintetizar diversos compuestos de bajo peso molecular o enzimas que intervienen en el crecimiento y desarrollo vegetal. Por lo tanto, una determinada bacteria puede influir en el desarrollo de la planta mediante uno o más de estos mecanismos (Guzmán et al., 2021).

#### **4.2.4. Biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* SB23 -> Blue N**

La bacteria *Methylobacterium symbioticum* cuenta con una alta capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, por lo que coloniza rápidamente la filosfera de la planta desde las primeras etapas de desarrollo encontrándose en las hojas hasta la raíz, además disminuye la lixiviación de nitrato y la degradación de los suelos, en consecuencia, permite reducir la aplicación de fertilizantes sintéticos nitrogenados (Velazco, 2023). Estudios realizados por la empresa Symborg en maíz y trigo, determinaron que este biofertilizante aporta de forma biológica un 40% las necesidades de nitrógeno, adaptándose en cada momento de los estados fenológicos de la planta y hay un aumento en el rendimiento (Symborg, 2021).

A diferencia de otras especies esta bacteria es endófitas, es decir, vive dentro de la planta, donde su hábitat preferido es la hoja, específicamente en el interior de las células fotosintéticas, en las zonas más próximas al cloroplasto donde se alimenta principalmente de metanol, un producto proveniente de los desechos de la fotosíntesis. Esta característica le confiere una ventaja competitiva en cuanto al resto de microorganismos que habitan en el suelo puesto que la bacteria trabaja en un ambiente de baja competencia con un mínimo gasto energético para la planta (Symborg, 2021).

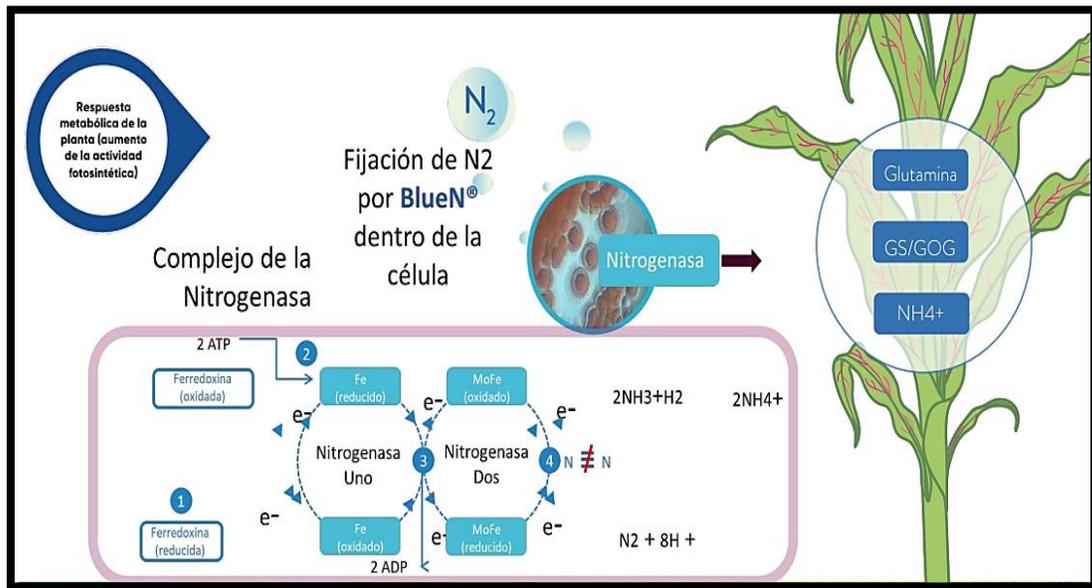
##### **➤ Funciones principales**

- **Colonizar eficazmente la planta:** Se establece en un ambiente de baja competencia y resguardado frente a amenazas externas.
- **Intensificar la fotosíntesis:** Es capaz de intensificar la fotosíntesis por medio de unas vesículas llamadas cromóforos, mismas que tienen la propiedad de reflejar la luz hacia el cloroplasto.
- **Activar la fijación biológica de nitrógeno:** Utiliza elementos de desecho de la planta y los excedentes derivados de la fotosíntesis potenciada para activar la fijación biológica de nitrógeno (Symborg, 2021).

#### **4.2.5. Aplicación y modo de acción del biofertilizante**

La aplicación del biofertilizante es de manera foliar y para obtener la máxima eficiencia, se recomienda aplicarlo en las etapas BBCH 13-16. La bacteria *M. symbioticum* penetra en la planta

por medio de los estomas de las hojas y se instala principalmente en las células fotosintéticas haciendo uso del sistema enzimático de la nitrogenasa para fijación del N. El modo de acción es el de capturar el nitrógeno ( $N_2$ ) del aire y convertirlo en amonio ( $NH_4^+$ ) mediante el complejo nitrogenasa como se observa en el figura 3 , por el cual se consigue separar los dos átomos de  $N_2$  y reducirlo de manera constante en  $NH_4^+$ , mismo que es reducido y se metaboliza directamente en la planta en forma del aminoácido glutamina gracias a la acción de las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintasa (GS/GOGAT) (Symborg, 2021).



**Figura 3.** Modo de acción de la bacteria *Methylobacterium symbioticum* (CORTEVA, 2021).

La planta puede activar y detener la nitrogenasa en función de su posibilidad para metabolizar el amonio, proporcionando a la planta la capacidad de obtener nitrógeno durante todo el ciclo del cultivo y minimizar los daños por exceso o carencia de nitrógeno y, por tanto, consigue que la planta no tenga la necesidad de tomar la totalidad del N vía radicular disminuyendo así el gasto energético de la vía enzimática nitrato reductasa ya que convertiría menor cantidad de nitrato en amonio dentro de la planta (Equiza, 2021).

#### **4.3. Investigaciones acerca de la aplicación de un biofertilizante a base de la bacteria *Methylobacterium Symbioticum* fijadora de nitrógeno.**

En un estudio realizado por Kakabouki et al., (2018) observó que el rendimiento de grano de quínoa se duplicó de 1 790 kg ha<sup>-1</sup> bajo un tratamiento sin fertilizar a 3 495 kg ha<sup>-1</sup> bajo 120 kg N ha<sup>-1</sup>; mostrando la respuesta positiva que tuvo el cultivo ante una fertilización nitrogenada. Cabe destacar que los resultados pueden aumentar si se opta por fertilizar con biofertilizantes a base de la bacteria *Methylobacterium Symbioticum* el cual cumplen las mismas funciones y se ha tenido excelentes resultados.

Gutiérrez et al., (2018) realizó una investigación que consistía en seleccionar las mejores cepas bacterias fijadoras de nitrógeno y aplicarlas en el cultivo de quinua. Evaluó 21 cepas el cual fueron sometidas a una prueba para fijación de nitrógeno en dos tipos de medio de cultivo, uno selectivo y otro diferencial. Solo se seleccionaron 8 cepas y fueron evaluadas en invernadero, bajo un DBCA, con 10 repeticiones. Las cepas se combinaron con tres productos comerciales (Graminante, Azozim, Dimazos), bajo dos niveles de urea: 0 y 174 kg/ha. Los resultados arrojaron que las cepas 101J, 103J y 2C, produjo mayor rendimiento en cuanto a grano, peso de panoja, longitud de raíz, altura de planta, longitud y diámetro de panoja.

Navarrete (2024), evaluó el efecto de la bacteria fijadora de nitrógeno *Methylobacterium symbioticum* en dos variedades de arroz en el cantón Daule provincia del Guayas. Los tratamientos consistieron en la aplicación de la bacteria la SFL-11 (T1) y SFL-09 (T2), mientras que el testigo fueron las variedades sin la aplicación de la bacteria SFL-11 (T3) y SFL-09 (T4). Los resultados obtenidos mostraron que, en el tamaño de la planta, longitud de raíces y espiga no hubo diferencia significativa entre los diferentes tratamientos. En cambio, las características productivas como el número y peso de las semillas, presento un incremento en la variedad SFL-11 en comparación con los tratamientos testigo. La bacteria fijadora de nitrógeno *Methylobacterium symbioticum* favorecía al desarrollo y productividad del cultivo de arroz al aumentar la eficiencia en la asimilación de nutrientes por parte de la planta.

En un estudio realizado por Lastra y Paucar (2023), evaluaron la eficacia del biofertilizante Blue-N (*M. symbioticum* SB23), en el cultivo de papa var. Única, para lo cual implementaron un DBCA con seis tratamientos y tres repeticiones. Conformado por un testigo absoluto (0N-PK), un testigo relativo a base de fertilizante (NPK), y cuatro tratamientos con las siguientes dosis 80, 140, 200 y 250 g/200 L del Blue-N. El mejor el tratamiento que presento diferencias significativas fue

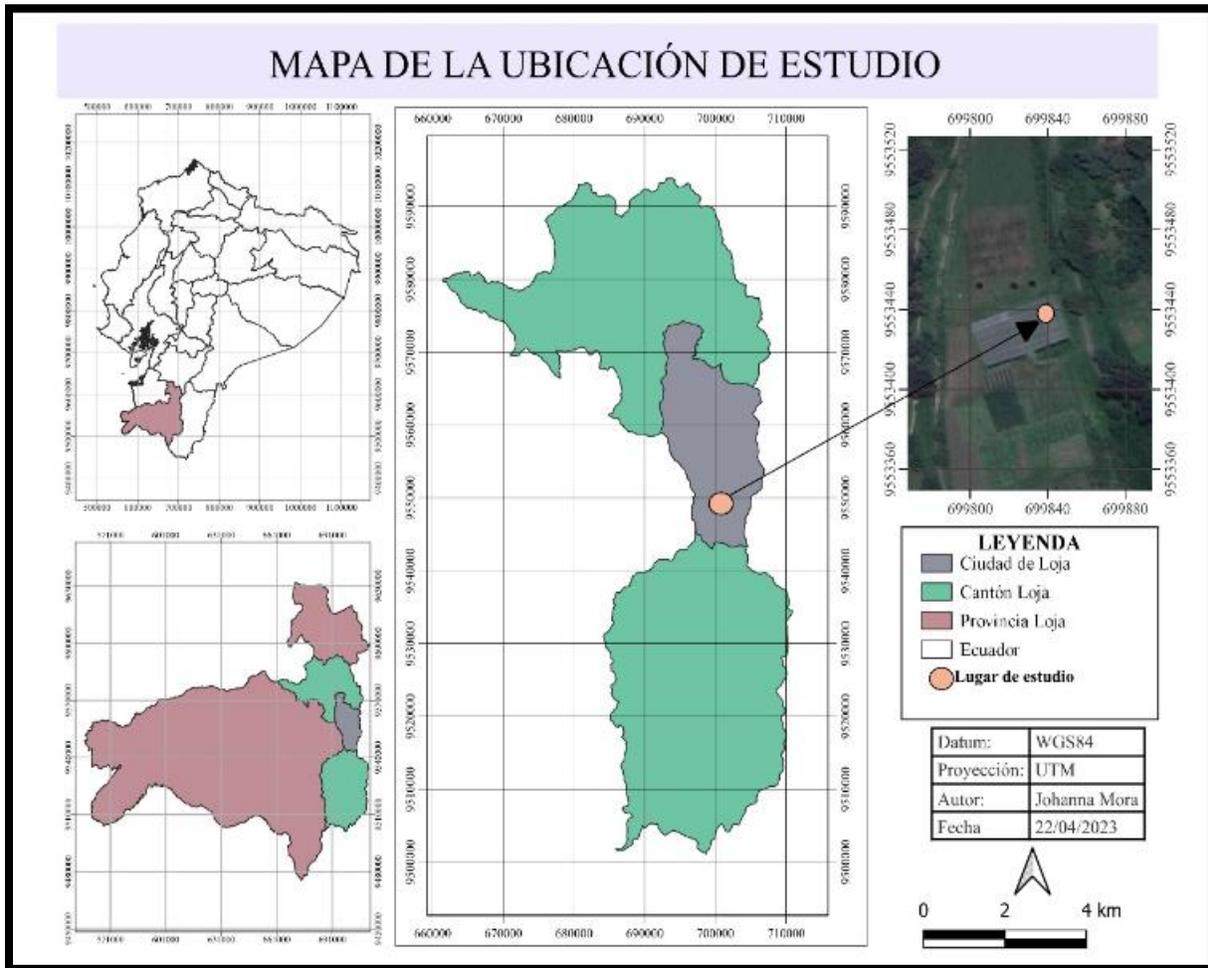
con una dosis de 250 g/200 L, en cuanto a variables de altura de planta, N° de tallos/planta, N° de tubérculos/planta, peso de tubérculo/planta y el rendimiento con 42.50 t/ha tuvo valores superiores al tratamiento NPK. Concluyeron que la aplicación del Blue-N, influye positivamente convirtiéndose en una alternativa potencial para la reducción del uso de fertilizantes químicos nitrogenados en el cultivo de papa.

Torres et al., (2023) en su investigación midió la eficacia de *Methylobacterium symbioticum* en plantas de maíz y fresa bajo diferentes dosis de fertilización con nitrógeno. Los resultados arrojaron que la bacteria disminuyó en un 50 y 25% en la cantidad de nitrógeno aplicado en los cultivos respectivamente, mientras que la capacidad fotosintética aumentó en comparación con la planta de control en todas las condiciones nutricionales. Las plantas de fresa inoculadas presentaron una mayor concentración de nitrógeno en las hojas que las plantas de control en condiciones nutricionales óptimas, concluyendo que la bacteria *Methylobacterium symbioticum* proporciona un suministro adicional de nitrógeno.

## 5. Metodología

### 5.1. Área de estudio

El presente trabajo fue llevado a cabo en el invernadero de La Quinta Experimental Docente “La Argelia” (QEDA) de la Universidad Nacional de Loja, misma que se encuentra ubicada en el sector La Argelia al sur de la ciudad (Figura 5). Se caracteriza por tener un suelo franco limoso, con un pH de 5 a 6, además presenta una temperatura promedio de 16,3 °C y una precipitación media anual de 950 mm. Respecto a sus coordenadas geográficas se encuentra ubicado a 4°02'19.2"S, 79°12' 6"W y cuenta con una altitud 2 133 m.s.n.m (Granda , 2022).



**Figura 4.** Ubicación del experimento, cantón Loja, Quinta Experimental Docente “La Argelia”.

## 5.2. Metodología general

### 5.2.1. Establecimiento y manejo del cultivo

Para el establecimiento del experimento se realizaron diferentes actividades:

#### ❖ Llenado de las fundas y preparación del sustrato

Se utilizaron fundas de polietileno con una medida de 30 cm x 45 cm, para el llenado se usó un sustrato a base de un suelo franco-arcilloso, arena de río y biocompost en proporción de 2:1:1 respectivamente (Anexo 3).

#### ❖ Siembra

Las semillas que se usaron para el experimento fueron de la variedad Tunkahuan. Respecto a siembra las semillas fueron colocadas a 2 cm de profundidad a razón de 15 semillas por funda (Anexo 4). Una vez germinadas se tomó en consideración que las plantas tengan el primer par de hojas verdaderas y presenten una altura de 15 cm, luego se realizó un raleo quedando solo 3 plantas por funda (Anexo 5).

#### ❖ Manejo del cultivo

El cultivo estuvo monitoreado constantemente y se aplicó el respectivo manejo agronómico, mismo que consistió en prácticas culturales como el deshierbe de la maleza de forma manual y se proporcionó el riego con la ayuda de unas regaderas, la frecuencia con la que se regaba fue cada 4 días por motivos de que el experimento se encontraba bajo un invernadero donde las temperaturas eran altas y había mayor evaporación.

Para el manejo de plagas y enfermedades se dio varios controles (Anexo 5), en cuanto a plagas se observó la presencia de *Trialeurodes vaporariorum* (Mosca blanca) para lo cual se utilizó un insecticida a base de Cypermethrin realizando tres aplicaciones cada cuatro días y una dosis de 1 cm por cada 2 litros. Otra plaga que se presentó fue *Chrysodeixis includens* (Insectos masticadores) en donde se hizo una aplicación a base de Chlorpyrifos + Cypermethrin en 2 aplicaciones por ciclo de cultivo, cada 8 días. También hubo la presencia de la principal enfermedad causada por el hongo *Peronospora variabilis* (Mildiu), se realizó un control a base de Mancozeb con tres aplicaciones por ciclo cada ocho días y una dosis de 3 gr por cada 2 litros (Anexo 6).

### 5.3. Tipo y alcance de investigación

La investigación es de tipo experimental, el cual se recopiló información cuantificable y posteriormente se realizó el respectivo análisis estadístico de la población. Respecto al alcance del experimento es descriptivo y comparativo, pues a través de esta investigación se determinó si la aplicación de *Methylobacterium symbioticum* como fuente nitrogenada influye sobre la fisiología y rendimiento del cultivo de quinua variedad Tunkahuan, así mismo se compararon los tratamientos para ver cuál tuvo mejor resultado.

### 5.4. Diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó fue un diseño completamente al azar (DCA), donde se trabajó con el factor fertilización orgánica nitrogenada, siendo un biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* con 6 tratamientos y 7 repeticiones resultando 42 unidades experimentales (Anexo 6), cada una de ellas estuvo constituida por una funda con tres plantas teniendo un total de 126 plantas en todo el ensayo (Tabla 2).

**Tabla 2.** Delineamiento del diseño experimental para la evaluación de la respuesta agrofisiológica de la quinua con el uso de biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* bajo condiciones controladas en la Argelia.

Diseño	Cantidad
Unidad experimental	Funda -> 3 plantas
Número de unidades experimentales	42
Número de tratamientos	6
Número de repeticiones por tratamiento	7
Factor	Fertilización Nitrógeno ( <i>Methylobacterium symbioticum</i> )

Considerando que se utilizó un DCA, se tomó como referencia el siguiente modelo estadístico:

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

**Donde:**

- ❖  $Y_{ij}$  Variable respuesta
- ❖  $\mu$  Media general común a todos los tratamientos
- ❖  $\tau_i$  Efecto del factor -> Biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum*
- ❖  $\varepsilon_{ij}$  Error experimental

### 5.4.1. Tratamientos del experimento

Se implementaron 6 tratamientos que consistieron en un testigo, un tratamiento con fertilización sintética (urea) y cuatro tratamientos que se fertilizaron con el biofertilizante a base de la bacteria *Methylobacterium symbioticum*. Respecto a la aplicación se la realizó en diferentes etapas fenológicas comenzando desde la etapa 5 hojas alternas; prefloración; Floración e Inicio de llenado de grano pastoso (Tabla 3 y Anexo 7,8,9 y 10).

**Tabla 3.** Tratamientos que se implementaron para la evaluación de la respuesta agrofisiológica de la quinua con el uso de biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* bajo condiciones controladas en la Argelia.

Número de tratamiento	Descripción
1	Testigo
2	1 aplicación de un fertilizante sintético (UREA) - quinto par de hojas).
3	1 aplicación de <i>Methylobacterium symbioticum</i> – quinto par de hojas).
4	2 aplicaciones de <i>Methylobacterium symbioticum</i> – quinto par de hojas y prefloración).
5	3 aplicaciones de <i>Methylobacterium symbioticum</i> - quinto par de hojas, prefloración y floración ).
6	4 aplicaciones de <i>Methylobacterium symbioticum</i> - quinto par de hojas, prefloración, floración, inicio de llenado de grano pastoso).

#### ❖ Fertilización sintética (urea)

Para el tratamiento con fertilizante sintético se utilizó urea, el cual fue empleada al voleo, sin embargo, antes de aplicar se realizó la respectiva corrección en base a la necesidad del cultivo y el análisis de suelo que se tomó como referencia de Pineda (2022) donde el pH fue de 5,96, con 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).

La fórmula utilizada para determinar la dosis de N fue:

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

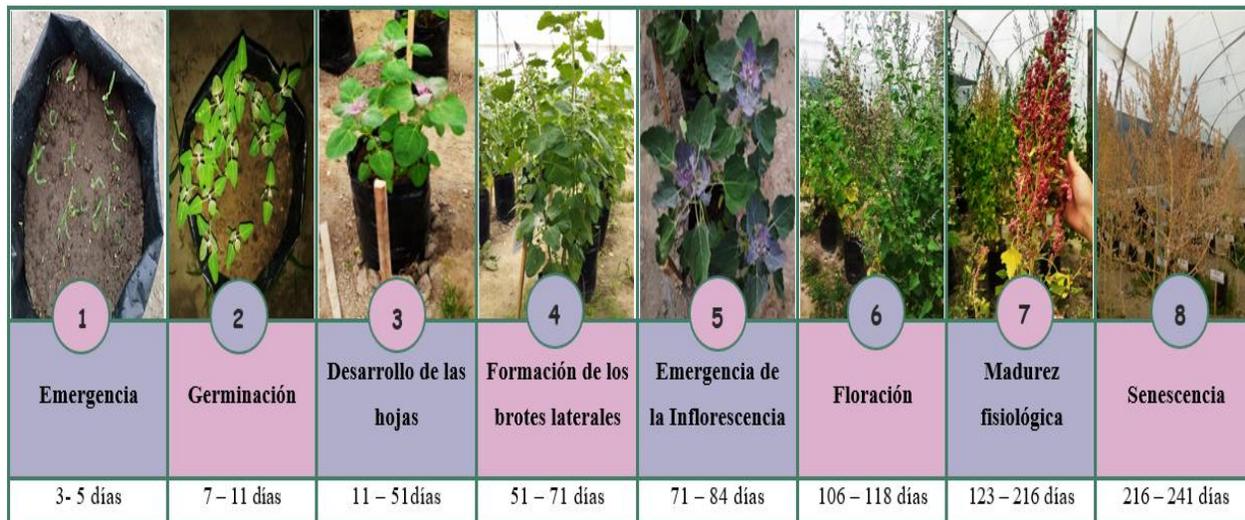
La dosis de urea aplicada en este tratamiento fue de 8 g, mientras que para cada repetición se distribuyó en 1,14 g/funda, para lo cual se fertilizó durante la etapa del quinto par de hojas verdaderas a los 38 DDS (Anexo 12).

#### ❖ Aplicación del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum*

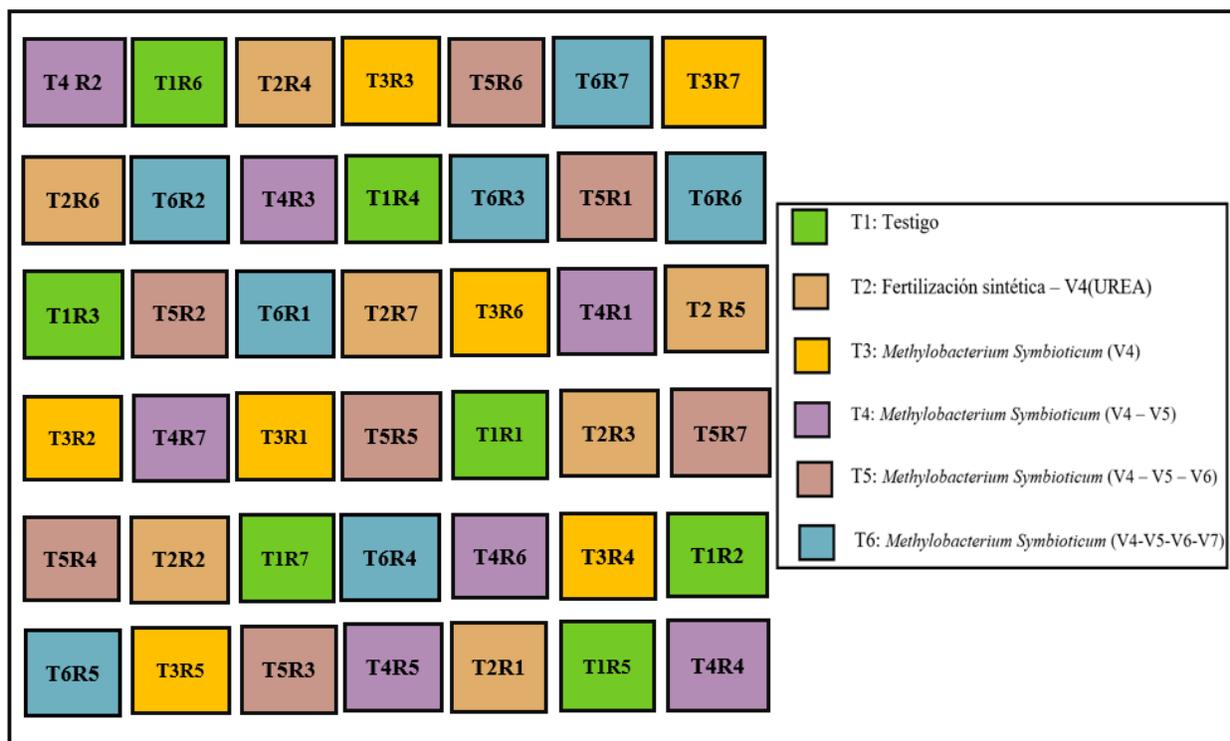
Para los 4 tratamientos se usó el producto Blue N® fabricado por la empresa Symborg encontrándose en una concentración  $3 * 10^7$  UFC/g de *Methylobacterium symbioticum*, esta bacteria se encarga de aportar de manera biológica el nitrógeno cubriendo cada una de las necesidades del cultivo a lo largo de su desarrollo y también retrasa el envejecimiento de las células de las plantas, alargando su vida fotosintética (CORTEVA, 2021).

La aplicación fue de manera foliar para lo cual se utilizó una bomba en donde se diluyeron 10 g del producto en 5 litros de agua. Cabe recalcar que se lo hizo en las primeras horas de la mañana debido a que los estomas se encontraban completamente abiertos para facilitar la colonización de la bacteria en el tejido del cultivo (Figura 5 y 6).

A parte de la fertilización nitrogenada se realizó una corrección del suelo a todos los tratamientos incluido el testigo para lo cual se tomó como referencia el análisis del suelo, donde los resultados arrojaron una deficiencia en los elementos como el fósforo (P) y potasio (K), para lo cual 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 12 y 13).



**Figura 5.** Estados fenológicos del cultivo de quinua bajo condiciones controlada.



**Figura 6.** Esquema de la implementación del experimento y distribución de las unidades experimentales con la respectiva ubicación de cada tratamiento T1 (Testigo), T2 (Fertilización sintética), T3 (1 aplicación de *Methylobacterium symbioticum*), T4 (2 aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum*), T5 (3 aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum*) y T6 (4 aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum*) con su repetición.

**5.5. Metodología para el primer objetivo:** Describir el efecto del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum*, como fuente nitrogenada, sobre los parámetros fisiológicos en el cultivo de quinua.

Para determinar el efecto del biofertilizante en los parámetros fisiológicos en el cultivo de quinua se evaluó en todos los tratamientos y testigo las variables contenido de clorofila, fluorescencia, cobertura vegetal, índice de área foliar y conductividad estomática en donde solo se midió una planta del centro de cada unidad experimental, mientras que para cobertura vegetal y el índice de área foliar se consideró las tres plantas. La frecuencia de la medición de las variables se realizó a los 43, 57, 71, 85, 99, 113, 127 y 141 DDS. En cambio, para la variable fluorescencia la medición se realizó a los 57, 71, 85 y 99 DDS. A continuación, se detallan las variables a medir:

#### ❖ Fenología

El seguimiento de la fenología del cultivo de quinua se hizo desde la siembra hasta la cosecha, para lo cual se utilizó como referencia la escala BBCH elaborada por Sosa *et al.* (2017) (Tabla 4). Para determinar en qué etapa se encontraba el cultivo, las plantas de cada unidad experimental debían encontrarse en un 50 % en esa etapa. Además, se registró semanalmente los días en que tardaba cada tratamiento en completar un estado fenológico y comenzar el siguiente

**Tabla 4.** Etapas fenológicas del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) 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

### ❖ **Datos climáticos**

Para el registro de los datos de temperatura y humedad relativa se utilizó un termograficador Modelo 4 0550, mismo que se encontraba dentro del invernadero de la Universidad Nacional de Loja, los datos se registraron diariamente a cada hora desde la siembra hasta la cosecha del cultivo.

### ❖ **Contenido de clorofila**

El contenido de clorofila se midió con el equipo SPAD (Konica-Minolta, Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus), el cual evalúa la intensidad del verde de las hojas y se encarga de realizar lecturas instantáneas en unidades SPAD y no destructivas basadas en la cuantificación de la intensidad de la luz y entregaba una aproximación de la cantidad de N presente en la planta (Díaz, 2014). Se tomaron dos hojas del tercio superior de la planta para cada unidad experimental, un aspecto que se consideró era de que las hojas debían estar totalmente extendidas para ser evaluadas y se evitó el contacto con nervaduras y bordes (Anexo 14).

### ❖ **Conductancia estomática de las hojas**

La conductancia estomática se midió con un porómetro (SC-1 de METER Group), mismo que se encarga de medir la densidad de los estomas y el grado de apertura de estos, misma que guardan una relación directa con la facilidad con la cual los gases, tales como el vapor de agua y el dióxido de carbono, pueden moverse desde o hacia la atmósfera a través de las hojas (Calderón et al., 2019). Para la evaluación de este parámetro se tomó una hoja del tercio superior de la planta, misma que debe estar sana y no presentar daños por estrés biótico o abiótico (Anexo 15).

### ❖ **Índice de área foliar (IAF)**

Para el índice de área foliar se utilizó una cámara GoPro HERO9 Black de acción resistente al agua (AKASO 4K 60fps, wifi), misma que estaba acoplada con un lente ojo de pez que permitió capturar fotografías alrededor de 180 grados obteniendo imágenes hemisféricas. Se tomaron fotografías desde abajo hacia arriba para lo cual la cámara era ubicada en el centro de dos unidades experimentales y para estar al mismo nivel de las fundas se usó un tacho, también se utilizó un plástico azul con el fin de evitar que las plantas de los otros tratamientos interfirieran en la fotografía. Posteriormente, las imágenes fueron analizadas en el software Can-Eye (INRA), siguiendo la metodología aplicada por Apolo-Apolo et al. (2020) en su estudio (Anexo 16).

## ❖ Cobertura vegetal

Para evaluar el porcentaje (%) de cobertura del cultivo se lo hizo mediante fotografías usando la aplicación Canopeo app. La fotografía fue tomada desde la parte superior de la planta abarcando todo el área de la funda y se usó un plástico azul para que las plantas de los tratamientos no aparecieran en la fotografía (Anexo 16).

## ❖ Fluorescencia

La fluorescencia de la clorofila permite obtener información del estado fisiológico en el que se encuentra el aparato fotosintético. Se utilizó un dispositivo portátil MultispeQ v2.0, el cual se conecta vía Bluetooth con la aplicación Photosynq instalada en un teléfono, este instrumento posee un medidor de clorofila y un espectrómetro (Jiménez-Suanca et al., 2015). Las variables que se registraron fueron el rendimiento cuántico efectivo del fotosistema II ( $\Phi$ PSII), máxima eficiencia fotoquímica del PSII (Fv/Fm) y quenching no fotoquímico (NPQ) (Anexo 17).

**5.6. Metodología para el segundo objetivo:** Determinar el rendimiento y sus componentes bajo una fertilización nitrogenada con un biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* en el cultivo de quinua.

Para dar cumplimiento al segundo objetivo se midieron las tres plantas por unidad experimental. Las variables evaluadas fueron los componentes del rendimiento y se midieron al final de la cosecha (Anexo 18). A continuación, se detallan cada una de las variables:

## ❖ Biomasa aérea

Una vez que las plantas de quinua estuvieron completamente secas se procedió a cosechar, luego con ayuda de una tijera podadora se cortaron las plantas separando los tallos, ramas, hojas y granos, el material vegetal obtenido fue colocado en fundas de papel, seguidamente se registró el peso inicial para lo cual se pesó en una balanza gramera y posterior a ello se puso al horno durante tres días a  $65 \pm 5$  ° C, una vez secadas se procedió a pesarlas y obtener la biomasa total (Anexo 19 y 20).

### ❖ **Número de granos**

Se determinó pesando el total de los granos por planta, también se tomaron 1000 granos, determinando el número total de granos por planta mediante regla de tres (Anexo 21 y 22).

### ❖ **Peso de 1000 granos**

Para determinar el peso 1000 granos se utilizó las plantas previamente secada en el horno, obtenidos los granos se trillaron y se pasaron por un tamizador para su respectiva limpieza. Posteriormente se procedió a pasar por una máquina de limpieza de semillas de quinua para quitar las impurezas restantes. Luego se pesaron en una balanza digital con una muestra representativa de 100 granos de cada unidad experimental. Finalmente se realizó una regla de tres para estimar el peso de los 1000 granos (Anexo 23).

### ❖ **Índice de cosecha (IC)**

Una vez determinada la biomasa y el rendimiento de cada unidad experimental el IC se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

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

### ❖ **Rendimiento**

El rendimiento se determinó con la siguiente fórmula:

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

**Donde:**

$R$ = rendimiento

$NG m^{-1}$ = número de granos por planta

$PG$ = peso de granos

## 5.7. Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos de cada variable fueron tabulados en el programa Microsoft Excel, mientras que para su análisis estadístico se utilizó el programa Infostat versión libre estudiantil. Los datos fueron ingresados en el programa y sometidos a un análisis estadístico de varianza (ANOVA), el cual permitió determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos. Además, se realizó pruebas de comparaciones múltiples mediante una prueba Tukey con un (p-valor < 0,05) ayudando a determinar si existen o no diferencias significativas en cada una de las variables, también se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson entre los parámetros fisiológicos y rendimientos en respuesta a la fertilización nitrogenada biológica.

## 5.8. Aislamiento y caracterización de *Methylobacterium sp.* en hojas de quinua.

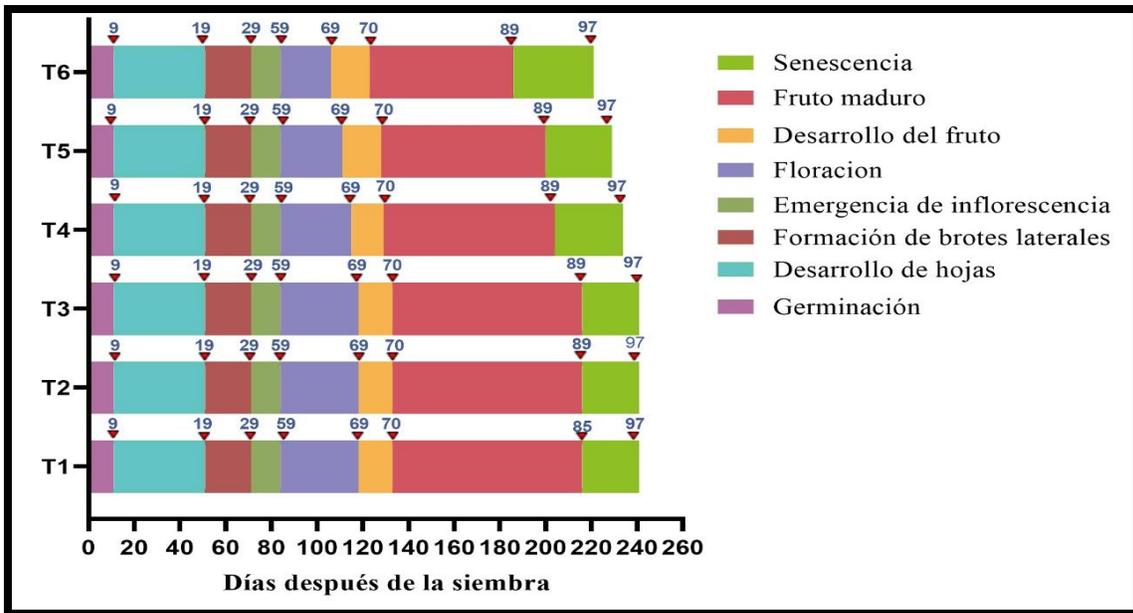
A partir de una muestra de material vegetal (10 hojas) recolectado del cultivo de quinua en la parte intermedia de la planta se realizó el aislamiento de *Methylobacterium sp.* donde se realizaron diluciones seriadas. Una vez obtenidas las muestras, en el laboratorio de Sanidad Vegetal se procedió a licuar 10 g de las muestras de hojas junto con 100 ml de agua peptona teniendo como resultado una solución madre de nuestras diluciones. Seguidamente con ayuda de una pipeta electrónica y puntas estériles se tomaron 1000 µl de muestra madre y fueron transferidos al siguiente tubo ( $1 \times 10^{-1}$ ), después se puso en el vortex el cual se encargó de agitar 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  $10^{-5}$ , finalmente se procedió a sembrar 100 µl de cada uno de ellos en cajas con medio de cultivo (AN) y se colocaron en la incubadora a 28°C por un lapso de 48H y luego se monitoreo el crecimiento de bacterias (Anexo 24).

Para evidenciar si efectivamente crecieron bacterias del género *Methylobacterium sp.*, se sembró las bacterias crecidas en medio de cultivo AN y puesto en cajas con medio selectivo compuesto por sólido de amonio y sales minerales (AMS) ; siendo un medio selectivo idóneo para el crecimiento de bacterias del género antes mencionado, se tomó como referencia la metodología realizada por Medina-Rios et al., (2019). Una vez que las colonias crecieron en este medio específico, posteriormente se procedió a realizar una tinción gram y luego se dispuso a observar en el microscopio para identificar y caracterizar la bacteria (Anexo 25).

## 6. Resultados

### 6.1. Fenología del cultivo

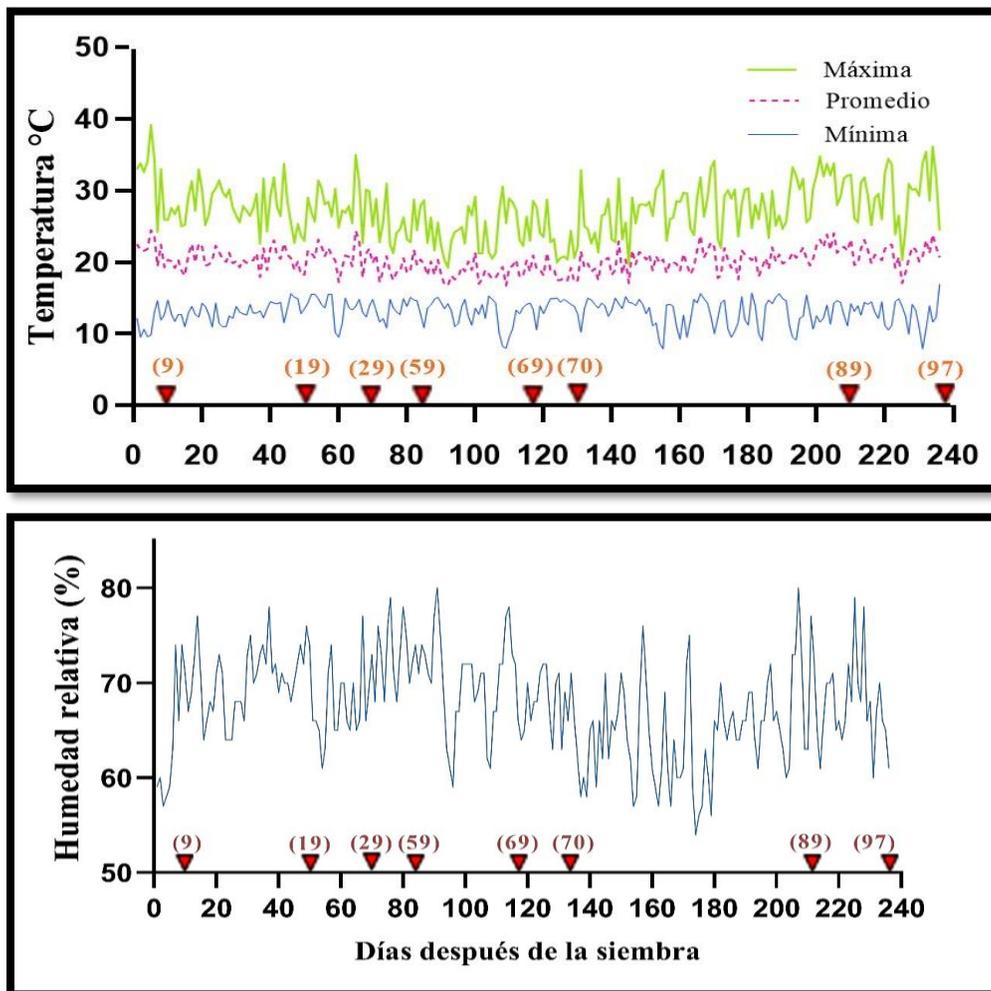
A través de la observación se evidenció el tiempo en que tardaba las plantas en completar una etapa fenológica en los respectivos tratamientos (Figura 7). Cabe recalcar que el tratamiento Testigo (T1) fue el que más tiempo tardó teniendo una duración aproximada de 241 DDS, en cambio los tratamientos que estuvieron sometidos a una fertilización nitrogenada biológica el ciclo del cultivo fue menor, siendo el T6 (4 aplicaciones del biofertilizante) con una duración de 221 DDS. Durante la germinación hasta la emergencia de la inflorescencia (Etapa vegetativa) los tratamientos no presentaron ningún cambio y el tiempo en llegar a esa fase fue 84 DDS. Los cambios fueron notorios a partir de la etapa reproductiva, siendo que en la etapa de floración el T5 (3 aplicaciones del biofertilizante) y T6 se adelantó con 27 y 22 días. Mientras que, en la etapa del desarrollo del fruto fue 19 y 17 días, respecto a la maduración del fruto 72 y 63 días, por último, en la etapa de senescencia con 35 y 29 días respectivamente. Por otro lado, el T2 (Fertilizante sintético urea) y T1 se retrasaron durante la etapa de floración 34 días, maduración del grano 83 días y en finalmente en la senescencia 25 días.



**Figura 7.** Etapas fenológicas del cultivo de quinua en los diferentes tratamientos bajo la aplicación de un biofertilizante T1(Testigo), T2(Fertilización sintética), T3 (1 aplicación de *Methylobacterium symbioticum*), T4(2 aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum*), T5(3 aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum*) y T6 (4 aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum*), medidas según la escala BBCH en función de los DDS comenzando desde la emergencia hasta la senescencia de las plantas. Los números sobre los triángulos indican las etapas principales del cultivo según la escala BBCH.

## 6.2. Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas que se evaluaron durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo de quinua fue la temperatura media, máxima y mínima, y humedad relativa (Figura 8). Se observó que la temperatura promedio que alcanzó durante todo el ciclo del cultivo fue de 20,25°C, en cuanto a la temperatura máxima esta se presentó en la etapa de germinación a los cinco días después de la siembra siendo 39,1 °C, por otro lado, durante la etapa de floración a los 109 DDS se tuvo una temperatura baja oscilando entre los 8 °C. Respecto a la humedad relativa (HR) la más alta fue de un 80% cuando las plantas se encontraban en la etapa reproductiva exactamente a los 180 DDS en la fase de maduración del fruto hasta la senescencia, mientras que la menor cantidad de HR estuvo en un 54 % a los 174 DDS encontrándose en la misma etapa.

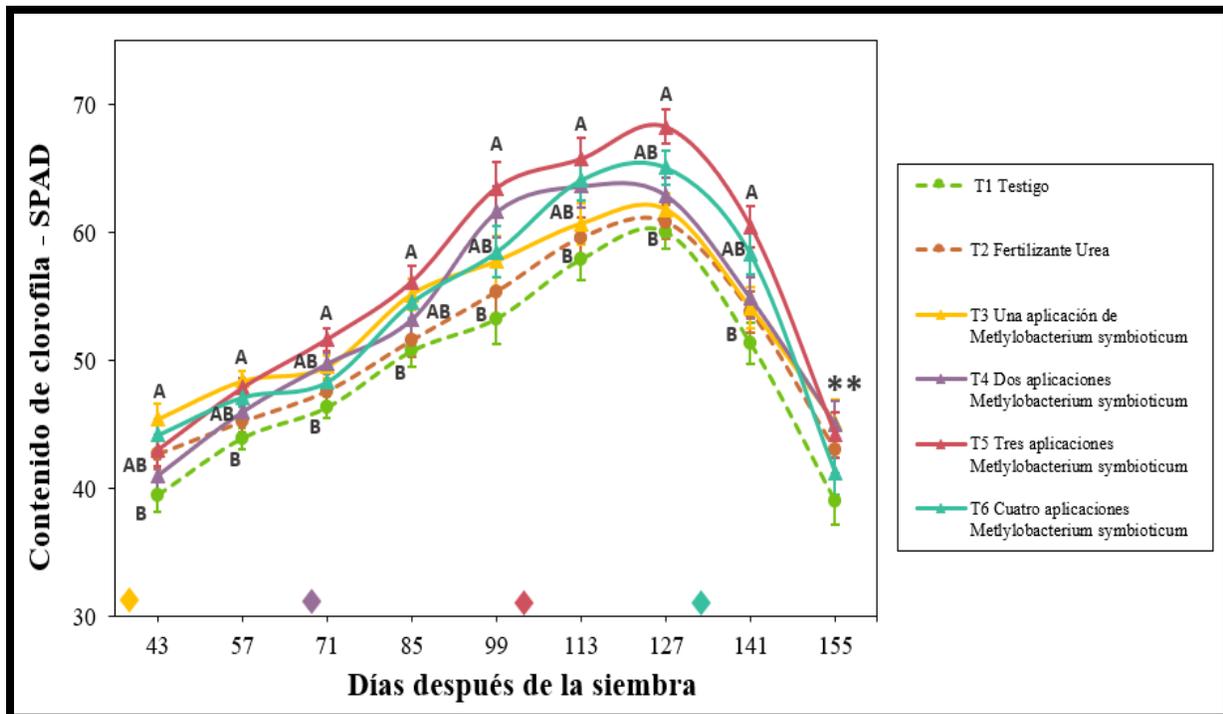


**Figura 8.** Variables climáticas de temperatura máxima (verde), promedio (rosado), mínima (azul) y humedad relativa (HR) registrada durante el ciclo del cultivo de quinua. Los triángulos rojos con los números indican los códigos de la escala fenológica BBCH desde la siembra hasta la senescencia.

### 6.3. Variables fisiológicas

#### 6.3.1. Clorofila (Lectura SPAD)

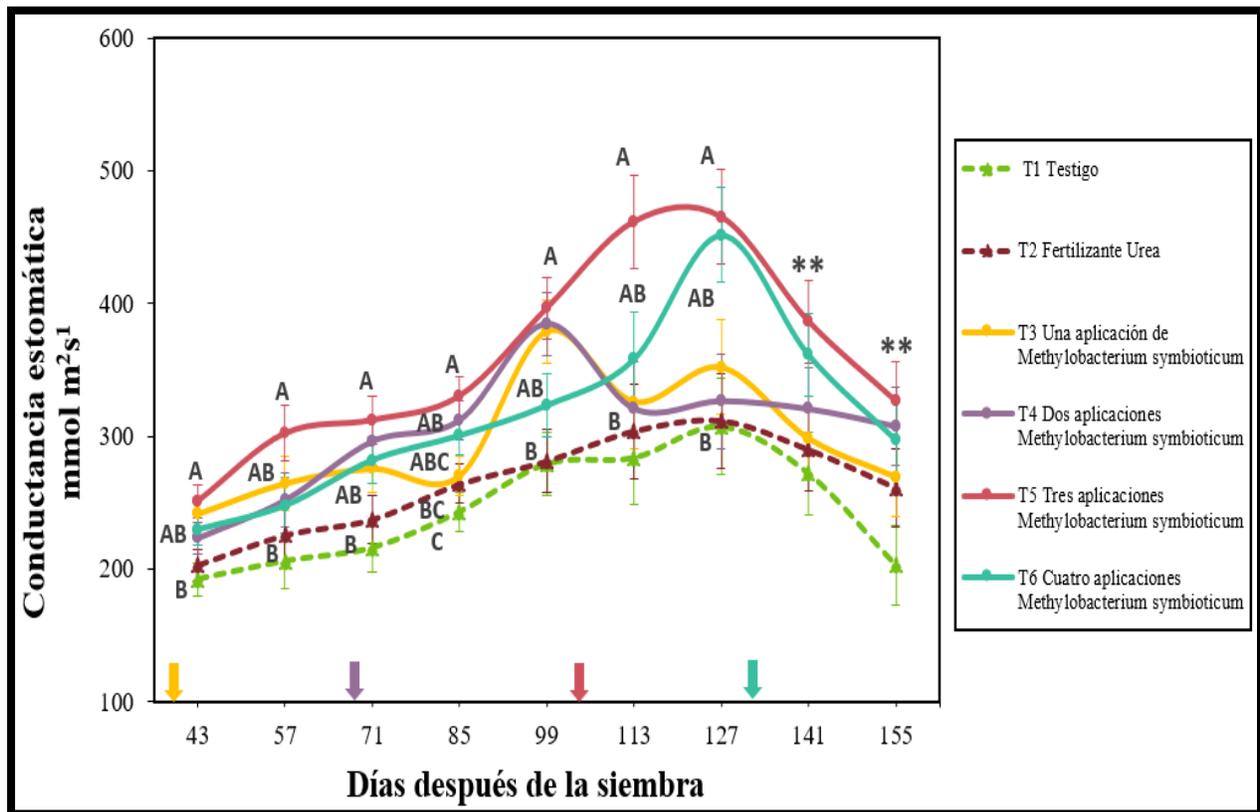
En la Figura 9 se visualiza el efecto del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* en el contenido de clorofila, donde los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en todos los tratamientos desde el día 43 hasta los 141 DDS, mientras que en la fase de llenado de grano lechosos a los 155 DDS no presento diferencias significativas. En el T5 con tres aplicaciones mostró una buena intensidad del color verde en las hojas el cual se mantuvo desde la emergencia de la floración hasta el desarrollo del fruto, alcanzando un valor alto de 68,27 a los 127 DDS en el estadio V6. Floración. Otro de los tratamientos que mantuvo un buen contenido de clorofila en la misma etapa es el T6 con cuatro aplicaciones presentado un 65,1. En cuanto al tratamiento que se mantuvo con bajos valores a lo largo del ciclo del cultivo es el T1 Testigo llegando a presentar valores menores (57,96) en comparación con el resto de tratamientos.



**Figura 9.** Contenido de clorofila (SPAD) en las plantas de quinua variedad Tunkahuan bajo la aplicación de un biofertilizante *Methylobacterium symbioticum* evaluadas a los 43 DDS hasta los 155 DDS. Los rombos ubicados sobre el eje “X” indican la etapa fenológica en que se realizaron las aplicaciones (v4, v5, v6 y v7). Las letras diferentes expresan que hay diferencias significativas según el test de Tukey ( $p < 0,05$ ); el símbolo (\*\*) indican efecto no significativo, las barras verticales en cada símbolo muestran errores estándar.

### 6.3.2. Conductividad estomática (Porómetro)

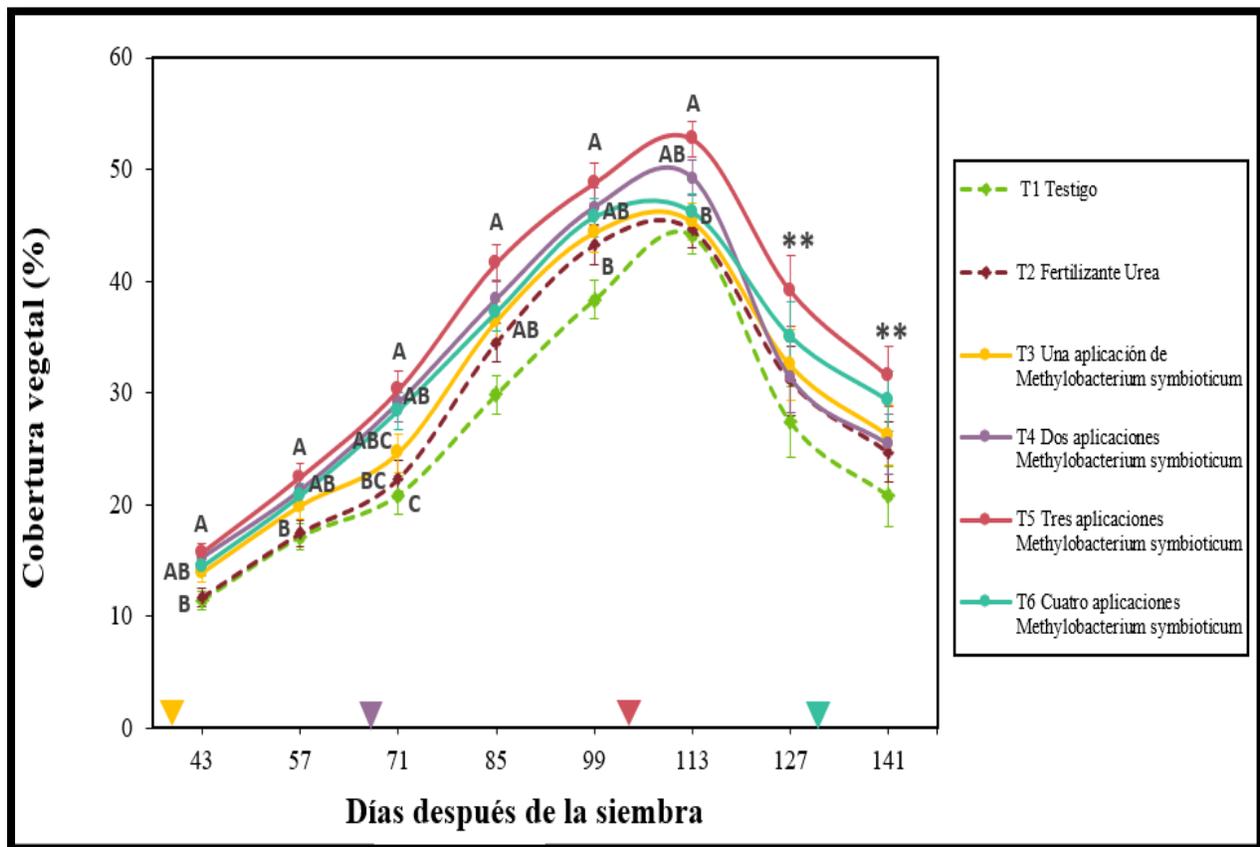
La conductancia estomática presente en las plantas de quinua en todos los tratamientos mostró diferencias significativas desde los 43 hasta los 127 DDS como se muestra en la Figura 10. Durante la fase de floración el T5 (tres aplicaciones de biofertilizante) llegó a alcanzar un valor de 465,24  $\text{mmol m}^2\text{s}^{-1}$  a los 127 DDS, sin embargo, a los 141 y 155 DDS durante la etapa reproductiva no se observó diferencias significativas. En cambio, el T4 (dos aplicaciones del biofertilizante), y el T3 (una aplicación del biofertilizante) durante la etapa de desarrollo de grano se mantuvieron a la par (326,57 y 351,8  $\text{mmol m}^2\text{s}^{-1}$ ). Respecto a los tratamientos T1 Testigo (307,57  $\text{mmol m}^2\text{s}^{-1}$ ) junto con el T2 (Fertilizante UREA) (311,8  $\text{mmol m}^2\text{s}^{-1}$ ) los valores fueron bajos.



**Figura 10.** Conductancia estomática de los diferentes tratamientos de las plantas de quinua evaluadas a los 43 hasta los 155 DDS. Las fechas sobre el eje “X” indican la etapa fenológica en que se aplicó el biofertilizante (v4, v5, v6 y v7). Las letras diferentes muestran las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) y el símbolo (\*\*) efecto no significativo.

### 6.3.3. Cobertura vegetal (Canopeo)

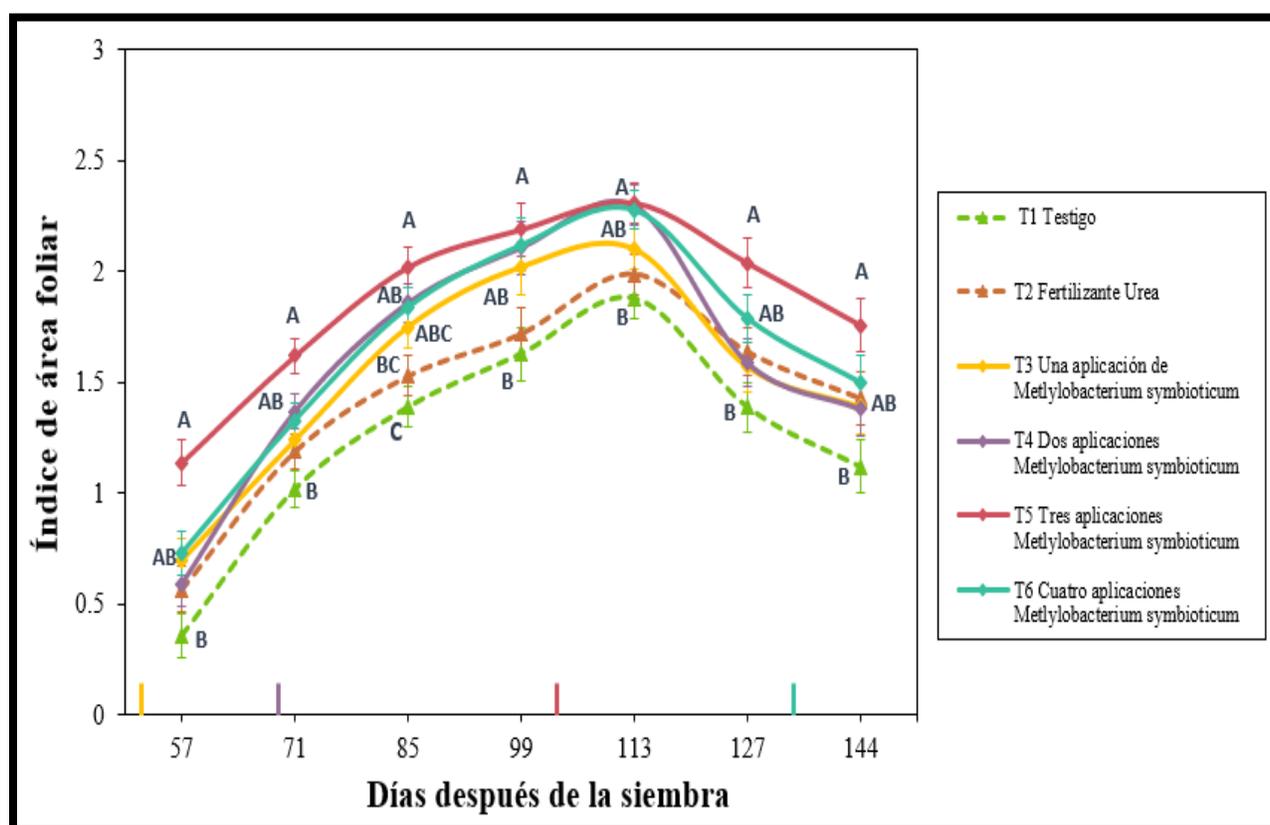
Al evaluar la cobertura vegetal se encontró diferencias significativas durante los 43 hasta los 113 DDS, mientras que a los 127 y 141 DDS no se visualizó diferencias significativas (Figura 11). El tratamiento que presentó una mayor cobertura fue el T5 con tres aplicaciones, llegando a alcanzar un 52,73 % correspondiente a la etapa de floración; en comparación al tratamiento T1(31,06) y T2 (27,39) quienes tuvieron valores bajos de cobertura durante todo el estado fenológico.



**Figura 11.** Porcentaje de la cobertura vegetal desde los 43 hasta los 141 DDS en los respectivos tratamientos bajo la aplicación de una fuente nitrogenada biológica *Methylobacterium symbioticum*. Los triángulos invertidos resaltan la etapa fenológica en que se aplicó el biofertilizante (v4, v5, v6 y v7). Las letras diferentes muestran las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) y el símbolo (\*\*) efecto no significativo.

### 6.3.4. Índice de área foliar

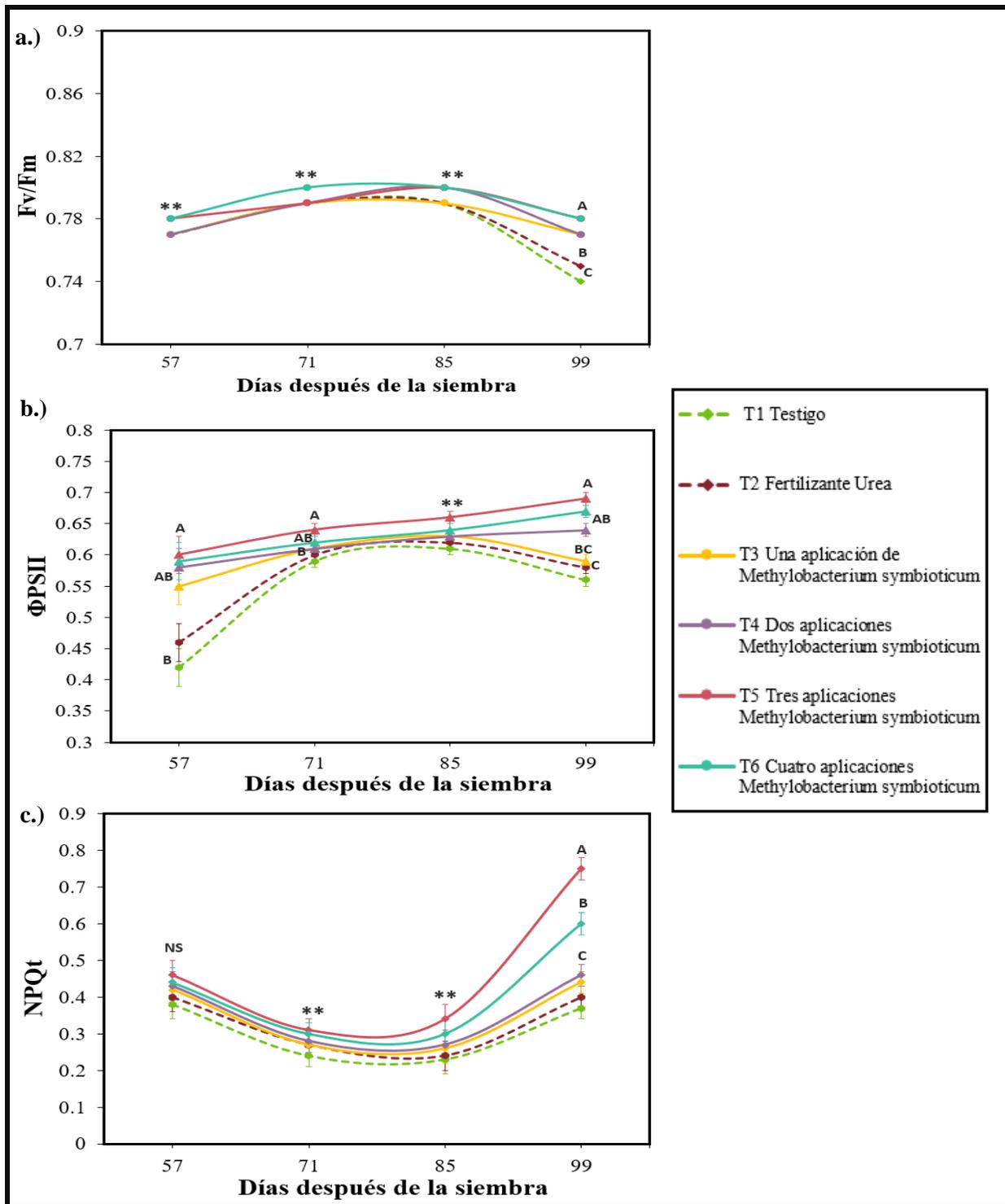
En la figura 12 se muestra el efecto en la variable de índice de área foliar entre los tratamientos bajo una fertilización nitrogenada, el cual mostró un efecto significativo desde los 43 hasta los 144 DDS. A medida que el cultivo se iba desarrollando hubo un incremento en el IAF, por lo que en la etapa de Floración presento su valor máximo de 2,31. Así mismo, los tratamientos T4 (2,3) y T6 (2,28) mantuvieron promedios similares en la misma fecha, en comparación con el T2 y T1 quienes tuvieron valores bajos de IAF comprendidos entre 1,99 y 1,88. En las fases de desarrollo y formación del grano el IAF a los 127 y 144 DDS fue disminuyendo debido a la caída de las hojas que estaban secándose.



**Figura 12.** Índice de área foliar en el cultivo de quinua variedad Tunkahuan en los diferentes estados fenológicos bajo la aplicación del biofertilizante *Methylobacterium symbioticum*. Las líneas verticales de colores ubicadas en el eje “X” indican el momento en que se realizó las aplicaciones en los tratamientos respectivamente (V4, V5, V6 y V7). Respecto a las diferentes letras que están sobre las líneas indican el efecto significativo  $p < 0,05$ .

### 6.3.5. Fluorescencia de clorofila

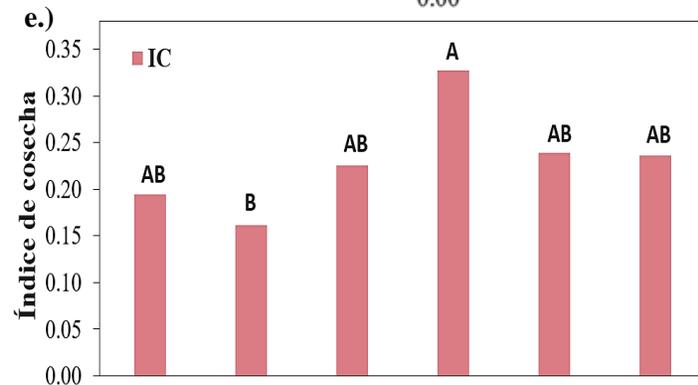
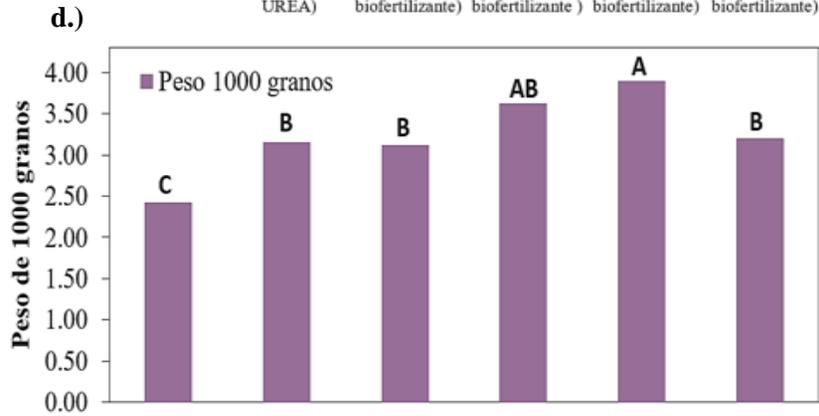
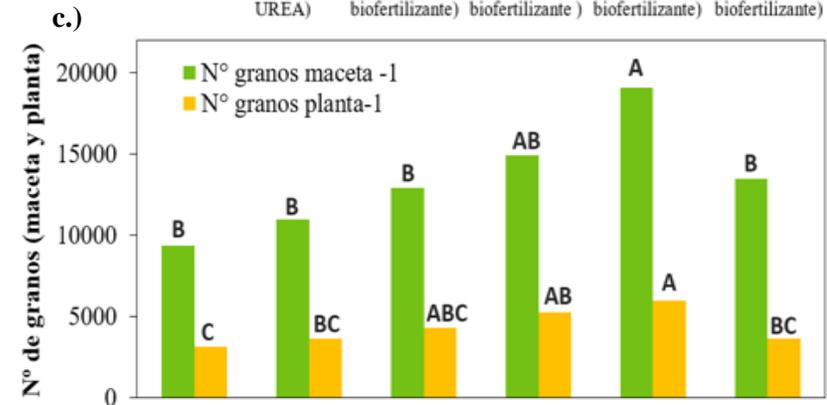
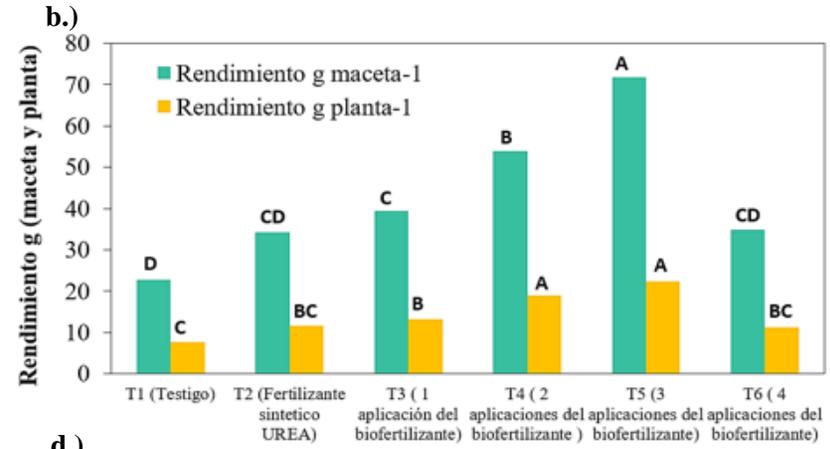
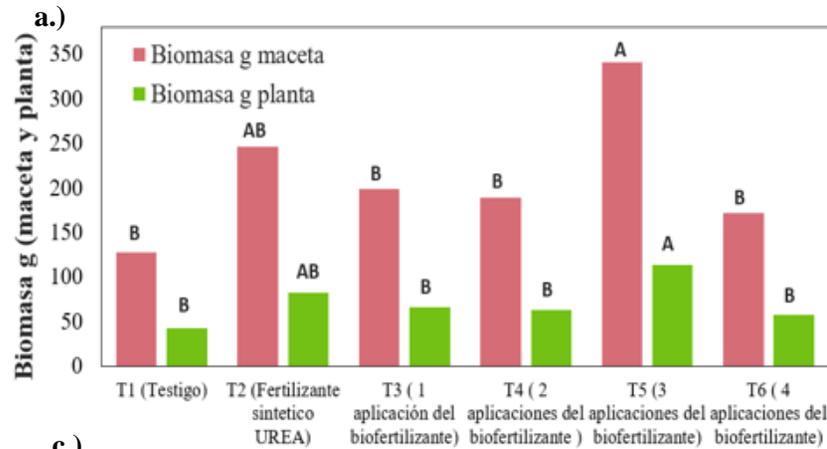
Respecto a la fluorescencia de la clorofila en los diferentes tratamientos no se observó ningún efecto significativo desde los 57 hasta 85 DDS manteniéndose hasta la etapa de Emergencia de Inflorescencia en las variables  $F_v/F_m$  (máxima eficiencia fotoquímica del PSII) y NPQ (quenching no fotoquímico). Sin embargo, a los 99 DDS hubo diferencias significativas. En la variable  $\Phi_{PSII}$  (rendimiento cuántico efectivo del PSII) presentó un efecto significativo excepto a los 85 DDS (Figura 13). Cabe recalcar que en todos los tratamientos la máxima eficiencia fotoquímica del PSII tuvieron valores similares comprendidos entre 0,77; 0,79 y 0,80. Referente al rendimiento cuántico efectivo del PSII los valores más altos fue en el T5 con tres aplicaciones siendo 0,69 a los 99 DDS en la fase Floración. También en la variable NPQ se encontraron índices altos en el T5 alcanzando un valor de 0,75. Mientras las variables  $F_v/F_m$  y  $\Phi_{PSII}$  tenían un aumento progresivo, la variable NPQ fue disminuyendo, pero a los 99 DDS el NPQ fue creciendo mientras que las variables  $F_v/F_m$  y  $\Phi_{PSII}$  los valores bajaron.



**Figura 13.** Efecto del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* sobre los parámetros de fluorescencia de la clorofila en el cultivo quinua: máxima eficiencia fotoquímica del PSII (Fv/Fm) (a), rendimiento cuántico efectivo del PSII ( $\Phi$ PSII) (b) y quenching no fotoquímico (NPQt) (c). Las diferentes letras indican diferencias significativas, (\*\*) no presenta diferencias significativas. Las barras verticales en cada símbolo muestran errores estándar.

#### **6.4. Rendimiento, componentes del rendimiento e índice de cosecha**

Referente a los parámetros de rendimiento y sus componentes en las plantas de quinua presento un efecto positivo y diferencias significativas como se puede observar en la figura 14 . De los tratamientos evaluados el T5 ( 3 aplicaciones del biofertilizante) fue el que obtuvo un valor alto en la biomasa teniendo un promedio de 341,07 g/maceta y 113,69 g/planta, en cambio el T1 Testigo la biomasa a nivel de maceta (126,79 g) y planta (42,26 g) arrojó valores bajos. Además, en las variables de rendimiento el T5 se destacó por presentar promedios altos en cuanto al rendimiento por planta (22,43 g) y maceta (71,86 g); número de granos en planta (6 358,48) y maceta (1 9075,43); el peso de 1000 granos (3,90 g); mientras que el índice de cosecha el valor fue bajo siendo de 0,24. De igual manera el T4 con dos aplicaciones del biofertilizante, se destacó por presentar un promedio de rendimiento por planta y maceta (18,96 y 54,01 g respectivamente); número de granos en planta (5 246,09) y maceta (14 902,86) y el peso de 1 000 granos fue de 3,63 g. En cuanto al índice de cosecha (IC) este tratamiento tuvo el promedio más alto con 0,33. Cabe recalcar que el testigo fue el tratamiento que presentó valores bajos en relación a los demás tratamientos.



**Figura 14.** Respuesta de los parámetros de rendimiento de grano: Biomasa g (maceta y planta) (a); Rendimiento g (maceta y planta) (b); N° granos planta y maceta (c); Peso de 1 000 granos (g); (d) índice de cosecha (e) en plantas de quinua en los diferentes tratamientos bajo la aplicación de una fertilización nitrogenada biológica y química.

### **6.5. Análisis de correlación entre las variables evaluada**

En la tabla 5 se muestra la correlación entre las variables evaluadas dentro del experimento, para lo cual se trabajó con el coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados indican que hay una correlación positiva alta entre la variable conductancia estomática y SPAD ( $r = 0,98$ ), de igual manera entre Cobertura vegetal con la conductancia estomática ( $r = 0,99$ ), así mismo el Índice de área foliar con la conductancia estomática ( $r = 0,99$ ) y cobertura vegetal ( $r = 0,99$ ). Con respecto a la variable Fv/Fm con la conductancia estomática ( $r = 0,89$ ); NPQt con la conductancia estomática ( $r = 0,96$ ) y el índice de área foliar ( $r = 0,99$ ) presentaron una correlación positiva alta. En cuanto a los parámetros de rendimiento mostró una correlación fuerte entre peso de 1000 granos con la cobertura vegetal ( $r = 0,93$ ) y el índice de área foliar ( $r = 0,91$ ); N° de granos por planta-1 con peso de 1000 granos ( $r = 0,91$ ); N° de granos por maceta-1 y cobertura vegetal ( $r = 0,97$ ); Rendimiento por planta-1 con N° de granos por planta-1 ( $r = 0,99$ ). También se presentó una correlación positiva moderada entre biomasa g maceta con la conductancia estomática ( $r = 0,69$ ); N° de granos por planta-1 y Fv/Fm ( $r = 0,53$ ); Rendimiento por maceta-1 y planta-1 con Fv/Fm ( $r = 0,57$ ) ( $r = 0,59$ ); el Índice de Cosecha con Rendimiento por planta-1 y N° de granos por planta-1 ( $r = 0,62$ ).

**Tabla 5.** Correlación de las diferentes variables medidas en las plantas de quinua bajo un biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum*.

	SPAD	Conductancia Estomática	Cobertura Vegetal	Índice de área foliar	Fv/Fm	NPQt	Φ PSII	Biomasa g maceta	Biomasa g planta	Peso 1000 granos	Nº granos planta <sup>-1</sup>	Nº granos maceta <sup>-1</sup>	Rendimiento g planta <sup>-1</sup>	Rendimiento g maceta <sup>-1</sup>
Conductancia Estomática	0.98 ***													
Cobertura Vegetal	0.98 ***	0.99 ***												
Índice de área foliar	0.98 ***	0.99 ***	0.99 ***											
Fv/Fm	0.87 *	0.89 *	0.88 *	0.88 *										
NPQt	0.91 *	0.96 **	0.94 **	0.96 **	0.89 *									
Φ PSII	0.96 **	0.98 ***	0.98 ***	0.97 **	0.96 *	0.93 *								
Biomasa g maceta	0.70 ns	0.69 ns	0.70 ns	0.74 ns	0.38 ns	0.70 ns	0.56 ns							
Biomasa g planta	0.70 ns	0.69 ns	0.70 ns	0.74 ns	0.38 ns	0.70 ns	0.56 ns	1 ***						
Peso 1000 granos	0.9 *	0.87 *	0.93 **	0.91 *	0.70 ns	0.79 ns	0.85 *	0.78 ns	0.78 ns					
Nº granos planta <sup>-1</sup>	0.82 *	0.82 *	0.85 *	0.82 *	0.53 ns	0.71 ns	0.75 ns	0.74 ns	0.74 ns	0.91 *				
Nº granos maceta <sup>-1</sup>	0.94 **	0.96 **	0.97 **	0.96 **	0.77 ns	0.91 *	0.91 **	0.77 ns	0.77 ns	0.92 **	0.93 **			
Rendimiento g planta <sup>-1</sup>	0.83 *	0.83 *	0.87 *	0.84 *	0.57 ns	0.73 ns	0.77 ns	0.76 ns	0.76 ns	0.94 **	0.99 ***	0.94 **		
Rendimiento g maceta <sup>-1</sup>	0.85 *	0.86 *	0.89 *	0.87 *	0.59 ns	0.79 ns	0.79 ns	0.81 ns	0.81 ns	0.93 **	0.99 ***	0.97 **	0.99 **	
IC	0.50 ns	0.49 ns	0.55 ns	0.46 ns	0.51 ns	0.33 ns	0.59 ns	-0.03 ns	-0.03 ns	0.56 ns	0.62 ns	0.54 ns	0.62 ns	0.54 ns

Los valores son los promedios de las variables evaluadas en cada tratamiento, donde el color verde indica la presencia de una correlación positiva alta  $0,8 < r < 1$ ; color marrón es una correlación positiva moderada  $0,4 < r < 0,6$  y el color celeste es una correlación positiva débil  $0,3 < r < 0,10$ ; (ns) efecto no significativo  $p > 0,05$ ; (\*) diferencias significativo  $p < 0,05$ ; (\*\*) efecto significativo  $p < 0,01$ ; (\*\*\*) efecto significativo  $p < 0,001$ .

## 6.6. Identificación y caracterización de *Methylobacterium* sp

Por medio de la muestra que se obtuvo de las hojas de quinua se realizó el aislamiento bacteriano bajo un medio selectivo. A través de la observación bajo un microscopio se pudo identificar la presencia de bacterias del género *Methylobacterium* sp., que se caracterizan por tener forma de bacilos y producir colonias el cual estaban pigmentadas de color rosado en su mayoría, debido a que son capaces de crecer en compuestos de un sólo carbono como el formato, el formaldehído y el metanol el cual son fuentes de carbono y energía. Son bacterias Gram-negativas dotadas de flagelos laterales que ayudan a la movilidad de la misma, tienden a ser aerobias que necesitan aire y oxígeno para crecer y el tamaño puede oscilar en 1,6  $\mu\text{m}$  y presentan un metabolismo metilotrofo facultativo (Figura 15). Estas bacterias son consideradas como bacterias promotoras del crecimiento (BGPR), pues tienen la capacidad de producir fitohormonas y fijar nitrógeno atmosférico



**Figura 15.** Identificación y caracterización de la bacteria *Methylobacterium* sp.

## 7. Discusiones

Los resultados obtenidos en la presente investigación permitieron determinar que la aplicación de un biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* una bacteria fijadora de N, en diferentes fases fenológicas de plantas de quinua, hubo un efecto favorable en las variables fisiológicas de la planta y los componentes de rendimiento. Según Hernández et al., (2022) uno de los requerimientos nutricionales que exigen los cultivos es el Nitrógeno debido a que influye en el desarrollo de las funciones básicas del metabolismo de las plantas. El género *Methylobacterium* sp. es una rizobacteria promotora del crecimiento (PGPR) que tiene la capacidad de estimular e incrementar la disponibilidad de nutrientes, tolerar los diferentes tipos de estrés ambiental, mantenimiento de la salud radicular, proporcionar fitohormonas e incluso prevenir el crecimiento de patógenos (Grossi et al., 2020). Diversos estudios han reportado un efecto positivo de la bacteria *Methylobacterium symbioticum* en el desarrollo de cultivos como el arroz, maíz, trigo, papa, chile, jitomate (Navarrete, 2024; Grossi et al., 2020; Torres et al., 2023; Longoria et al., 2020) . Esta bacteria se encarga de fijar nitrógeno atmosférico en la planta de manera foliar y evita una sobreproducción de amonio, además, ayuda a la adquisición y solubilización de fosfato, biosíntesis de sideróforos, producción de ácido indolacético (AIA), triptófano, vitamina B12 y potencia mecanismos de defensa de las plantas frente a fitopatógenos (Ortiz, 2023).

Respecto a la fenología en todos los tratamientos fue diferente a partir de la etapa reproductiva, por lo tanto, no llegaron a completar en el mismo tiempo la madurez fisiológica. EL T6 con cuatro aplicaciones del biofertilizante culminó a los 221 DDS, mientras que en el caso del Testigo fue el último con 241 DDS. Según la FAO (2013) recalca que el ciclo de crecimiento de la quinua varía de acuerdo a la amplia variación entre cultivares, siendo que en los países andinos el ciclo fenológico varía entre 150 a 240 días. Montes et al., (2018) reportó que el ciclo de cultivo de la quinua variedad Blanca de Jericó llegó a su término a los 213 días considerándolo como tardío, estos resultados coinciden con lo obtenido en este trabajo. En cambio, difiere con lo reportado por Toapanta (2016) donde la duración fenológica de la quinua variedad Tunkahuan finalizó a los 183 días. De igual manera Chinchay (2017) en su estudio realizado en Perú observó que la quinua variedad INIAP - 431 completo su fenología a los 162 días. En cuanto a la etapa vegetativa el tiempo de germinación fue de 11 días, desarrollo de las hojas 51 días, brotes laterales 71 días y el inicio de la inflorescencia 84 días. El número de días a la emergencia se encuentra en el rango reportado por Nuñez (2018) el cual esta etapa se dio a los 10 a 12 días y la fase de desarrollo

vegetativo fue entre 35 a 45 días . En la ramificación Gómez y Aguilar (2016) mencionan que esta fase está comprendida entre 45 hasta 70 días. Según Bellido (2017) el inicio a la emergencia de la inflorescencia se da en 75 a 80 días, los resultados son similares a lo obtenido pues se encuentran dentro de los rangos. Para la etapa reproductiva hubo un comportamiento diferente, el T6 en la fase de floración terminó a los 106 días, en cambio el testigo finalizó a los 118 días, generando retraso en las etapas siguientes. García (2014), en la variedad de quinua Perlada Tricolor la etapa de floración tuvo lugar entre 100 a 125 días. En cuanto al estadio desarrollo y madurez del fruto fue de 123 y 186 días respectivamente. Sahonero (2013), al evaluar el cultivo de quinua en invernadero, la madurez fisiológica se dio entre 140 y 158 días, siendo diferente a lo encontrado en este estudio. Montes et al., (2018) recalca que algunas variedades pueden ser de ciclo corto o largo.

El comportamiento fenológico estuvo influenciado por las condiciones ambientales, llegando a presentar una temperatura promedio de 20,25 °C. En cuanto a la máxima temperatura se dio en la etapa de emergencia siendo de 39,1 °C, en cambio en la floración se presentó una temperatura baja de 8 °C. La mayor humedad relativa fue en la etapa de maduración con un 80%, cabe recalcar que en la misma etapa también se presentó una baja HR del 54%. Vásquez (2018) en la variedad Jacha Grano mantuvo una temperatura promedio de 20,9 °C. Datos similares obtuvo Huillca (2019) en la fase de germinación donde la temperatura máxima para esta fase oscilo entre 16,3 y 32,1°C, para la floracion registro una mínima de 6,6 °C. La temperatura óptima para la quinua esta alrededor de 8 a 20 °C, incluso puede soportar desde – 4 °C, en determinadas etapas fenológicas , siendo la más tolerante la etapa de ramificación, excepto la germinación donde la temperatura aceptable es de 5 °C y la floración es muy sensible a heladas y tolera mínimo 2 °C (Carrasco et al ., 2023). Según el trabajo realizado por Jacobsen (2014) presento una humedad relativa promedio de 70 %. Según la FAO (2012) la quinua por su amplia variabilidad genética puede crecer con humedades relativas desde 40 hasta 100%.

Según Mahanty et al., (2016) el contenido de clorofila es un parámetro muy útil para evaluar el estado fisiológico de las plantas, ya que indica la capacidad fotosintética del cultivo, así como también la presencia de un estrés o enfermedad. En nuestra investigación la variable contenido de clorofila el T5 (tres aplicaciones del biofertilizante) presento valores altos llegando alcanzar un 68,27 en la etapa de floración. Novoa (2021) determino que un valor adecuado de clorofila para un buen rendimiento debe ser superior a las 50 unidades SPAD. En un estudio realizado por Torres

et al., (2023) registro una mayor actividad fotosintética en plantas de maíz y fresa inoculadas con *Methylobacterium symbioticum*, teniendo diferencias significativas, confirmando que la fertilización biológica permite generar una buena cantidad de clorofila en las hojas. De manera similar Ávila et al., (2019), reportó un aumento del contenido de clorofila en el cultivo de chile dulce presentando un valor de 68 unidades bajo una dosis de N superiores a los 50 mg L<sup>-1</sup>, resultados similares a los encontrados en esta investigación. Según Castellanos et al., (2017) el Nitrogeno está asociado a los cloroplastos responsables del color verde de las hojas y encargado de absorber la luz necesaria para realizar la actividad fotosintética. Además, las hojas son los órganos de la planta que responden ante los cambios en el suministro de nutrientes del suelo y los fertilizantes.

En cuanto a la variable conductancia estomática hubo una respuesta favorable con la aplicación del biofertilizante en tres momentos llegando a presentar un valor de 465,24 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>. Según Zhang et al., (2018) los biofertilizantes no solo aumentan la absorción de agua y nutrientes para mitigar el efecto negativo de la sequía, sino que también mejoran la conductancia estomática. Sousa et al. (2014) por su parte evaluaron el efecto de biofertilizantes en el intercambio gaseoso de frijol caupí bajo estrés salino y observaron que el biofertilizante a base de estiércol y compost orgánico atenuó los efectos del estrés y los niveles de conductancia estomática, lo que tuvo mejor ajuste osmótico. Así mismo Lema (2021) en el cultivo de papa bajo una fertilización nitrogenada presentó un valor estomático de 491,86 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, coincidiendo con lo obtenido en este estudio (465,24 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>). Morales (2020) recalca que la disminución en conductancia estomática se debe al cierre estomático que realizan las plantas al ser sometidas a condiciones estresantes, pues la planta desarrolla mecanismos de tolerancia que le permiten evitar pérdidas excesivas de agua. Suárez et al. (2017) describe que una mayor conductancia estomática resulta en una mayor tasa de fotosíntesis, pero al haber la disminución puede reducir el potencial de rendimiento de los cultivos. Por su parte, Gilbert et al., (2011) resalta que los factores que determinan la calidad fisiológica de las plantas se encuentran aquellos relacionados con la fotosíntesis como la fluorescencia de pigmentos fotosintéticos, conductancia estomática y la concentración de clorofilas.

Los resultados de la cobertura vegetal indican que el T5 con tres aplicaciones del biofertilizante tuvo diferencias significativas y presentó un mayor incremento en el follaje llegando alcanzar un 52,73 %. La cobertura vegetal es un indicador del estado de salud en la que se encuentra la planta y se considera la propiedad vegetal más relevante para la estimación de la productividad (Pezzola,

Orden y Bellacomo, 2021). En la investigación de Soria (2016) la cobertura foliar que registró fue de 85,3 % bajo la aplicación de un biol ovino, de igual manera con el biol bovino con 74,8 % . Por otra parte, Rincón et al., (2018) indicó que la fertilización nitrogenada aumenta la cobertura vegetal en el cultivo de trigo cuando aplicaron 55 y 110 kg N/ha, obteniendo valores de cobertura vegetal que oscilaron entre 60% al 90%. Al respecto Centellas (2018) considera que los biofertilizantes actúan como una fuente de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y hormonas (auxinas) mismo que influyen en la producción de hojas, generando un aumento en el peso de la planta. Así también, Ayala y Carámbula (2014) mencionan que la presencia del N permite estimular el crecimiento de la planta, especialmente en la etapa inicial de crecimiento vegetativo, ayudando a incrementar la cobertura foliar y prolongando el período útil de las hojas a través del tiempo. En cambio, Castellanos et al. (2010) indican que tener demasiada cobertura vegetal generada por elevadas cantidades de fertilizantes aplicadas a una planta, no necesariamente se refleja en mayor productividad, podrían tener mayor número de hojas, pero un bajo índice de cosecha.

Navarrete (2017) indica que el índice de área foliar tiene una relación indirecta con procesos vitales como la fotosíntesis, la respiración y la productividad, ya que son las estructuras foliares las que interceptan y por tanto regulan la cantidad de luz que va penetrando a niveles más bajos del dosel. Con respecto a nuestro estudio la variable índice de área foliar se observó un mayor incremento durante la etapa de floración bajo la aplicación del biofertilizante en tres momentos alcanzando un valor de 2,31 y presento diferencias significativas. Este comportamiento es similar a lo reportado por Orozco et al (2016) quienes trabajaron en plantas maíz con fertilización nitrogenada con diferentes dosis (0, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup> ), donde con el tratamiento 150 N promovió un mayor IAF teniendo un valor de 3,01 a los 60 días correspondiente a la floración. Así mismo en plantas de rábano inoculadas con *Azotobacter* A15MG con una concentración de 10<sup>8</sup> UFC, T5, en el parámetro de IAF tuvo valores altos en relación al testigo y denotó diferencias significativas, esta característica incide en una mejor capacidad fotosintética de las plantas que redundan en un mayor crecimiento y, por ende, habrá un aumento en la captación de radiación, lo cual se traduce en el incremento de la producción de biomasa. La mayor asignación de fotoasimilados hacia las hojas permite un mayor crecimiento de los órganos reproductivos cuando hay una correcta administración de N a nivel de la fertilización lo que conlleva a presentar un mayor IAF, impactando esto en el rendimiento del cultivo (Noriega et al., 2011). Al haber la ausencia del N limita el crecimiento, restringe el desarrollo del área foliar y reduce la tasa

fotosintética, esto se debe a que este nutriente estimula el aumento del número de células de la hoja, teniendo una mayor expansión foliar, esto es producto de la función de las proteínas en el crecimiento de las paredes celulares, generando la expansión de las células lo cual se refleja en el grosor de las hojas, dando como resultado el aumento del IAF (Escalante et al. 2021). Según Baracaldo (2010) menciona que el IAF en los estadios tempranos del desarrollo podría ser bajo debido a la cobertura incompleta y bajo porcentaje de luz.

En la fluorescencia de la clorofila se observó que las plantas bajo la aplicación del biofertilizante en tres momentos, los valores  $F_v/F_m$  estuvo comprendido entre 0,77 y 0,80; mientras que para  $\Phi_{PSII}$  el rendimiento cuántico efectivo del PSII el valor máximo fue de 0,69 y el NPQt presento valores bajos a lo largo del desarrollo del cultivo. En palma datilera la aplicación de biofertilizantes mejoró el parámetro  $F_v/F_m$  aumentando la fluorescencia de la clorofila en condiciones de déficit hídrico en comparación con los no inoculados (Anli et al., 2020). En otro estudio realizado por Sanclemente y Peña (2018), evaluaron la eficiencia fotosintética ( $F_v/F_m$ ) de *Ludwigia decurrens*, bajo diferentes concentraciones de nitrógeno ( $0 \text{ mg l}^{-1}$ ,  $465 \text{ mg l}^{-1}$  y  $930 \text{ mg l}^{-1}$ ) en condiciones de laboratorio, registrando un incremento en la eficiencia cuántica, cuando se aumentaba el suministro de Nitrógeno. Por su parte Pérez et al. (2020) recalca que la eficiencia fotosintética aumenta a medida que se va incrementando la concentración de nitrógeno. La eficiencia fotosintética ( $F_v/F_m$ ) típicamente se halla alrededor de 0,8 en plantas saludables, pero ante cualquier proceso de estrés como altas o bajas temperaturas, sequia o exceso de luz se puede reflejar una disminución de este índice, producto del aumento en la proporción de energía que es disipada en forma de calor, con una consecuente fotoinhibición del  $\Phi_{PSII}$  (González et al., 2015). Por lo tanto, los resultados de este trabajo indican que el cultivo de quinua no se encontró en estrés durante el periodo de evaluación, ya que los valores obtenidos  $F_v/F_m$  están dentro del rango.

Barrientos et al., (2015) menciona que el rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa como materia fresca y seca en los órganos que se destinan a la cosecha, por lo que un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantizara un mayor rendimiento. En nuestra investigación el mayor promedio de biomasa fue de 113,69 g/planta correspondiendo al T5 con tres aplicaciones del biofertilizante y presentó diferencias significativas. Sarmiento (2011), encontró que la quinua var. Tunkahuan bajo una fertilización nitrogenada ( $120 \text{ kg/ha}$ ) acumulo mayor cantidad de materia seca con un promedio de 139,14 g/planta, resultado similar a lo alcanzado en este estudio. En cultivares de quinua de valles

interandinos del altiplano peruano, boliviano, chileno las plantas con mayor biomasa era aquellas que presentaban valores altos en área foliar y tasa de fotosíntesis (Boomsma et al., 2019). De igual manera Celebi et al., (2020) en el cultivo maíz evidenció el efecto positivo de las micorrizas en la biomasa teniendo como resultado un aumento significativo de materia seca. A mayor tasa fotosintética mayor es la biomasa, siendo que las hojas que están en mayor tiempo en contacto con la radiación solar, generarán energía para activar los mecanismos de multiplicación celular expresada en el crecimiento foliar. Bertero (2022). Los biofertilizantes estimulan el desarrollo de la raíz y en consecuencia induce una mayor tasa de absorción de agua y nutrientes, por lo tanto, habrá un incremento en la biomasa (Neira, 2018).

En cuanto a los componentes de productividad el tratamiento que arrojó promedios altos en el número de granos , peso de 1000 granos y rendimiento fue el T5 con tres aplicaciones del biofertilizante y presentó diferencias significativas, en cambio, el índice de cosecha el T4 con dos aplicaciones tuvo un promedio alto de 0,33. Estos resultados son similares a lo reportado por Navarrete (2024) el cual evidenció que la aplicación de la bacteria *Methylobacterium symbioticum* favoreció al desarrollo de la planta de arroz y tuvo un incremento en la productividad del cultivo teniendo un rendimiento de 8 718,88 kg/ha. Por su parte Velasco (2023) evaluó el efecto de dos bacterias (*Methylobacterium symbioticum* y *Bradyrhizobium*) fijadoras de nitrógeno, el cual evidenció que juntas tienen mayor eficacia teniendo altos valores en el número de granos (142,18), peso de 1000 granos (32,57 g) y rendimiento (5457,82 kg/ha). Neira (2018) en su investigación observó que, en el cultivo de quinua bajo una fertilización a base de estiércol, biol y bacterias nitrificantes el rendimiento aumento alcanzando un promedio de 2 445,31 kg/ha, de igual, manera en el peso de 1000 granos con 3,65 g. Esprella (2019) en el cultivo de quinua con una fertilizacion de estiercol ovino tuvo un IC 0.46. El IC es la proporción del peso seco total de la planta que se acumula en los órganos cosechados (Kakabouki et al. 2018).

La disponibilidad adecuada de fuentes de nitrógeno, humedad y radiación, contribuyen al incremento de la tasa fotosintética de las plantas, sintetizando los carbohidratos que posteriormente se distribuirán entre los diferentes órganos. Esto permite el crecimiento vegetativo en las primeras etapas del cultivo, después en la floración y finalmente en el llenado de fruto, reflejándose en el rendimiento del cultivo (Maddonni y Otegui, 2016).

El biofertilizante BlueN a base *Methylobacterium symbioticum* tiene la capacidad de fijar nitrógeno de manera biológica, generando múltiples ventajas como el de incrementar la

biodiversidad, restaurar y solubilizar nutrientes en el suelo, mejorar la tolerancia al estrés biótico y abiótico de las plantas, restaurar la fertilidad, estimular el crecimiento de las plantas mediante la producción de fitohormonas, también el de reducir los costos de producción y el impacto ambiental asociado con la fertilización química. (Symborg, 2021).

Estos resultados son de gran relevancia ya que demuestra que la aplicación de biofertilizantes en el cultivo de quinua podría ser una alternativa de manejo amigable con el medio ambiente y ayuda a mejorar las variables fisiológicas y productivas de este cultivo andino.

## 8. Conclusiones

- La aplicación del biofertilizante *Methylobacterium symbioticum* en tres momentos en el cultivo de quinua bajo condiciones controladas, influyo de manera positiva en las variables fisiológicas como el contenido de clorofila, fluorescencia, cobertura vegetal, índice de área foliar y la conductancia estomática a partir de la etapa de Prefloración hasta el inicio de llenado de grano. Por lo tanto, el biofertilizante con *Methylobacterium symbioticum* podría ser una alternativa de manejo atractiva, factible y sostenible que estimula los procesos de fotosíntesis al aumentar la producción de clorofila y el área foliar del cultivo de quinua.
- Respecto a los componentes de rendimientos, el biofertilizante *Methylobacterium symbioticum* con tres aplicaciones permitió alcanzar valores altos en la biomasa (113,69 g/planta), rendimiento (22,43 g/planta), peso de 1000 granos (3,90 g) y número de granos (5 981,71granos/planta). Para el índice de cosecha el T4 con dos aplicaciones destaco presentado un valor superior (0,33) al resto de tratamientos. La bacteria fijadora de nitrógeno *Methylobacterium symbioticum* usada como biofertilizante en el cultivo de quinua, favoreció al desarrollo del cultivo, lo que permitió incrementar la productividad en el cultivo.

## 9. Recomendaciones

- ❖ Realizar más investigaciones sobre el efecto del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* con diferentes dosis y aplicando en otras etapas fenológicas distintas a las que se trabajó en el experimento.
- ❖ Efectuar estudios sobre el comportamiento que tiene el cultivo quinua bajo la aplicación de otros microorganismos fijadores de nitrógeno.
- ❖ Realizar estudios en otras variedades de quinua bajo condiciones controladas para comparar el efecto y el comportamiento que tienen ante la aplicación del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum*.
- ❖ Se recomienda evaluar el efecto del biofertilizante a base de *Methylobacterium Symbioticum* en cuanto a la concentración de fitohormonas en las plantas como ácido el abscísico (ABA), etileno y giberelinas en función de una fertilización con microorganismos.

## 10. Bibliografía

- Alandia, G., Jacobsen, S.-E., Kyvsgaard, N. C., Condori, B., & Liu, F. (2016). Nitrogen Sustains Seed Yield of Quinoa Under Intermediate Drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(4), 281-291. <https://doi.org/10.1111/jac.12155>
- Alfonso, G., Alvarado-Ochoa, S., & Cartagena, Y. (2017). Evaluación de deficiencias nutricionales en el cultivo de quinua ( *Chenopodium quinoa* Willd.) bajo. *Siembra*, 4(1), 093-109.
- Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A., Alejandro-Allende, F., Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A., & Alejandro-Allende, F. (2018). GALLINAZA, MICORRIZA ARBUSCULAR Y FERTILIZACIÓN QUÍMICA REDUCIDA EN LA PRODUCTIVIDAD DE CALABACITA Y PEPINO. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(2), 273-279. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.02.08>
- Anli, M., Baslam, M., Tahiri, A., Raklami, A., Symanczik, S., Boutasknit, A., ... & Meddich, A. (2020). Biofertilizers as strategies to improve photosynthetic apparatus, growth, and drought stress tolerance in the date palm. *Frontiers in plant science*, 11, 516818.
- Aracena, G. B. (2018). EVALUACIÓN DE CUATRO FERTILIZANTES EN LA PRODUCCIÓN DE QUINUA. *INTA*. Obtenido de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_evaluacin\\_de\\_cuatro\\_fertilizantes\\_en\\_la\\_produc.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_evaluacin_de_cuatro_fertilizantes_en_la_produc.pdf)
- Arévalo-Galarza, Hernández-Mendoza, T. M., Salcedo-Pérez, E., & Galvis-Spinola, A. (2016). APLICACIÓN DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS O ABONOS VERDES Y SU EFECTO SOBRE LA CANTIDAD DE NITRATO RESIDUAL EN EL SUELO. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*.
- Ariza, S. G. (2020). Evaluación de fijadores biológicos de nitrógeno libres sobre el crecimiento de gramíneas en suelo degradado. *Revista Colombiana de Biotecnología*. doi:<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.78019>
- Asencio, E. (2021). Obtenido de BlueN, la bacteria que aporta nitrógeno de forma eficaz, rentable y sin perjudicar al medio ambiente: <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/322790-BlueN-bacteria-aporta-nitrogeno-forma-eficaz-rentable-sin-perjudicar-medio-ambiente.html>
- Apolo-Apolo, O. E., Pérez-Ruiz, M., Martínez-Guanter, 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>
- Ávila Silva, L.; Condori-Apfata, J. A.; Marcelino, M. M.; Tavares, A. C. A.; Raimundi, S. C. J.; Martino, P. B.; Nunes-Nesi, A. (2019). Nitrogen differentially modulates photosynthesis, carbon allocation and yield related traits in two contrasting *Capsicum chinense* cultivars. *Plant Science*. 283: 224-237.
- Baracaldo, A.; Ibagüe, O. A. P. y Flores, R. V. J. (2010). Tasa e índice de crecimiento a segundo pico de cosecha en clavel estándar cv. Nelson cultivado en suelo y en sustrato. Colombia. *Agronomía Colombiana*. 28(2):209-217.
- Barrientos Llanos, H., del Castillo Gutiérrez, C. R., & García Cárdenas, M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 76-86.
- Bazile, D., Fuentes, F., & Mujica À. (2013). Historical Perspectives and Domestication. En: Bhargava, A. & Shilpi S., Quinoa, BOTANI, PRODUCTION AND USES (pp. 16 -35).
- Belles, R. (2021, enero 28). Fertilizantes agrícolas: Tipos de fertilizantes, usos y beneficios. *ZS España*. <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/fertilizantes-agricolas-tipos-de-fertilizantes-usos-y-beneficios/>
- Bellido E. 2017. Caracterización y rendimiento de cinco cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) De grano blanco en Canaán a 2735 msnm– Ayacucho. Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo. UNSCH. Ayacucho – Perú.
- Benavides, M. (2023, marzo 28). NITROBIOL: Fertilización de última generación con nitrógeno biológico *Methylobacterium symbioticum*. *Metroflor*. <https://www.metroflorcolombia.com/nitrobiol-fertilizacion-de-ultima-generacion-con-nitrogeno-biologico-methylobacterium-symbioticum/>
- Bojanic, A. (2011). La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Obtenido de FAO.
- Bravo, B., Miranda, M., & López, J. (2021). Economic Impact of Quinoa Consumption in the Diet of University Students Case: ESPOCH Agroindustry Career. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 648-664. <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i1.9600>
- Cabrera, O., Díaz, A., José, P., & Vera, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *SciELO*, 4-10.

- Calla, J. (2015). Manual técnico "Manejo del cultivo de quinua". Agro banco, Financiamiento, Asistencia Técnica y Capacitación, 8-10.
- Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., Paucar-Menacho, L. M., Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209-220. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>
- Cañete, A., Andrés Zurita S, S, C. M., C, C. A., P, C. V., J, C. A., R, D. C., O, J. R., G, L. L., L, L. H., A, L. R., L, R. Q., & G, S. F. (2021). *Manual técnico para el manejo orgánico, convencional e industrial del cultivo de quínoa en la zona centro sur de Chile*. <http://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/148010>
- Chávez, A. (2023). Biofertilizantes: Tipos, Funciones y Beneficios - LIDA. *LIDA Plant Research*. <https://www.lidaplantresearch.com/biofertilizantes/biofertilizantes-tipos-funciones/>
- Chavez, I., Molina, L., Cárdenas, C., Anaya, E., Ramírez, S., & Villalobo, S. (2021). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Scielo*, 4-11.
- Carrasco, J., J., C. A., R, José, O., Luis, S., & Rayentué, I. (2023). *Fertilización nitrogenada del cultivo de la quínoa recomendada para áreas de secano en la Región de O'Higgins*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/69237/NR43318.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castellanos, M. A., Valdés, R., Guridi, F. & López, A. (2017). Evaluación de formas de aplicación de fertilizante en híbrido de maíz (*Zea mays* L.) Espinal- Colombia. *Ingeniería Agrícola*, 7(3), 45- 50. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/ IAgric/article/view/771/773>
- Castellanos-Reyes, M. A., Valdés-Carmenate, R., López-Gómez, A., & Guridi-Izquierdo, F. (2010). Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 112–116.
- Ceaza. (2016). *Cultivo ancestral como una alternativa eficiente para la adaptación de la agricultura al cambio climático*. Obtenido de [http://www.ceaza.cl/wp-content/uploads/2019/04/Libro-de-la-quinua\\_FINAL.pdf](http://www.ceaza.cl/wp-content/uploads/2019/04/Libro-de-la-quinua_FINAL.pdf)
- Chinchay, M. (2017). *ADAPTABILIDAD DE TRES GENOTIPOS DEL CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium quinoa WILLD) EN LA PROVINCIA DE LAMAS*. Obtenido de

<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/2762/1/AGRONOMIA%20-%20Mar%C3%ADa%20Noris%20Chinchay%20C%C3%B3rdova.pdf>

- Colás-Sánchez, A., Díaz-Pérez, B., Rodríguez-Urrutia, A., Gatorno-Muñoz, S., Rodríguez López, O., Colás-Sánchez, A., Díaz-Pérez, B., Rodríguez-Urrutia, A., Gatorno-Muñoz, S., & Rodríguez López, O. (2018). Efecto de la biofertilización en la morfo fisiología y rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Centro Agrícola*, 45(4), 34-42
- CORTEVA. (2021). *Bacterias fijadoras de Nitrógeno*. Obtenido de [https://www.corteva.es/content/dam/dpagco/corteva/eu/es/es/files/otros-documentos/DOC-BlueN-Presentacion-Corteva\\_EU\\_ES.pdf](https://www.corteva.es/content/dam/dpagco/corteva/eu/es/es/files/otros-documentos/DOC-BlueN-Presentacion-Corteva_EU_ES.pdf)
- Curti, R., Tártara, S., Manifesto, M., & Bertero, D. (2015). Origen, prácticas de cultivo, usos y diversidad genética de quinua del Noroeste Argentino (NOA) en el contexto del conocimiento actual del germoplasma de América del Sur. *Ediunju*
- Estrada, G. (2010). Determinación del rendimiento en triticale afectado en diferentes fases de desarrollo. *Elsevier*.
- Equiza, I. (2021). *Optimización de nutrición nitrogenada en hortalizas de hoja crecidas en sistema de hidroponía pura NGS®: Uso de inoculantes microbianos*. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/40369>
- Escalante, J. (2007). *Tasa de crecimiento, componentes químicos y morfológicos bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada en ballico anual (*Lolium multiflorum*) diploide vs tetraploide en el valle de Mexicali, B. C.* [Universidad Autónoma De Baja California]. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/2562/1/AGR011323.pdf>
- Esprella, B. J. (2011). Evaluación del rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con aplicación de niveles de abono orgánico bajo condiciones de riego deficitario en el altiplano central Universidad mayor de San Andrés].
- FAO. (2012). Plan Maestro para la Celebración del Año Internacional de la Quinua. Un futuro sembrado hace Miles de Años.
- FAO. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf>
- FAO. (2020). Obtenido de Quinua, el súper alimento que ofrece oportunidades alimenticias y de exportación: <https://www.agricultura.gob.ec/quinua-el-super-alimento-que-ofrece-oportunidades-alimenticias-y-de-exportacion/>
- FAO. (2022). Obtenido de La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la

Alimentación:

Quinoa:

<https://www.fao.org/quinoa/es/#:~:text=El%20cultivo%20de%20quinoa%20se,Kenia%2C%20India%20y%20Estados%20Unidos.>

FAOSTAT. (2023). *Base de datos estadísticos de la FAO.*

<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>

Fernandez, F. (2021). Obtenido de BlueN, la bacteria que aporta nitrógeno de forma eficaz, rentable y sin perjudicar al medio ambiente: <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/322790-BlueN-bacteria-aporta-nitrogeno-forma-eficaz-rentable-sin-perjudicar-medio-ambiente.html>

Flores, M. O. C. (2023, mayo 16). *Impacto e importancia de la fertilización orgánica.* Fabricante de fertilizantes orgánicos. <https://solucionesnaturalespro.com.mx/impacto-e-importancia-de-la-fertilizacion-organica/>

Galindo-Martorell, P., Jaime, F. L., Naranjo, E. U. E., Antonio, J., & Chávez, C. (2023). *Biofertilizantes: El futuro limpio y sustentable para potenciar el desarrollo de la agricultura.*

Galvis, G. A. (2017). Evaluación de deficiencias nutricionales en el cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo invernadero. *scielo*. Obtenido de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/siembra/v4n1/2477-8850-siembra-04-01-0016.pdf>

García, S. C. (2014). *Viabilidad del cultivo de quinoa (Chenopodium quinoa Willd) en Castilla y León.* <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2014/CT%202014/1896711510.pdf>

García, P. M., Melo, O. D., Deaquiz, O. Y., & García, M. J. (2017). Obtenido de RESPUESTA AGRONÓMICA DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) VARIEDAD DULCE DE SORACÁ A LA FERTILIZACIÓN EN VENTAQUEMADA - BOYACÁ: [https://www.researchgate.net/publication/322406140\\_RESPUESTA\\_AGRONOMICA\\_DE\\_LA\\_QUINUA\\_Chenopodium\\_quinoa\\_Willd\\_VARIEDAD\\_DULCE\\_DE\\_SORACA\\_A\\_LA\\_FERTILIZACION\\_EN\\_VENTAQUEMADA\\_-\\_BOYACA](https://www.researchgate.net/publication/322406140_RESPUESTA_AGRONOMICA_DE_LA_QUINUA_Chenopodium_quinoa_Willd_VARIEDAD_DULCE_DE_SORACA_A_LA_FERTILIZACION_EN_VENTAQUEMADA_-_BOYACA)

Gilbert, M.E., N.M. Holbrook, M.A. Zwieniecki, W. Sadok, and T.R. Sinclair. 2011. Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. *Field Crops Res.* 124:85-92.

Granda Granda, G. K. (2022). *Rendimiento de dos especies de amaranto (Amaranthus spp.) en*

- asociación con fréjol (Phaseolus sp.) bajo distinto arreglo espacial en el sector La Argelia, de la ciudad de Loja* [BachelorThesis, Loja].  
<https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/24529>
- Guevara Fernández, E., Oliva Cruz, M., & Collazos Silva, R. (2019). Comportamiento agronómico de ocho genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el distrito Molinopampa, provincia Chachapoyas, Amazonas, 2017. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 1(2), 63. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i2.324>
- Gutierrez, J., Felipez, J., Navia, M., & Ortuño, N. (2018). *Selección de bacterias fijadoras de nitrógeno en plantas de Chenopodium quinoa Willd. (Quinua)*.
- Guzmán Duchén, D., Montero Torres, J., Guzmán Duchén, D., & Montero Torres, J. (2021). Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 87-101. <https://doi.org/10.53287/uyxf4027gf99e>
- Gomez, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. (pág. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima: 49-121.
- González, S., Perales, H., Salcedo, M. (2015). La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica*. Vol. 27: 119-129.
- Grossi, C. E. M., Fantino, E., Serral, F., Zawoznik, M. S., Fernandez Do Porto, D. A., & Ulloa, R. M. (2020). *Methylobacterium* sp. 2A Is a Plant Growth-Promoting Rhizobacteria That Has the Potential to Improve Potato Crop Yield Under Adverse Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00071>
- Hernández Valencia, R. D., Juárez Maldonado, A., Pérez Hernández, A., Lozano Cavazos, C. J., Zermeño González, A., González Fuentes, J. A., Hernández Valencia, R. D., Juárez Maldonado, A., Pérez Hernández, A., Lozano Cavazos, C. J., Zermeño González, A., & González Fuentes, J. A. (2022). Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova scientia*, 14(28). <https://doi.org/10.21640/ns.v14i28.3032>
- Huillca, M. (2019). *COMPARATIVO DE RENDIMIENTO DE GRANO, CARACTERIZACIÓN BOTÁNICA, COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO Y CONTENIDO DE SAPONINA DE*

- 11 LÍNEAS PROMISORIAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willdenow) BAJO CONDICIONES DEL CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA - CUSCO. Obtenido de [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/3570/253T20190015\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/3570/253T20190015_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jacobsen, S.-E. (2014). The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Seed Science and technology*. Vol. 26. N° 2. Páginas: 515-523.
- Jiménez-Suanca, S. C., Alvarado S., O. H., & Balaguera-López, H. E. (2015). Fluorescencia como indicador de estrés en *Helianthus annuus* L. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 149. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3753>
- Kaur, G., Singh, G., Motavalli, P. P., Nelson, K. A., Orłowski, J. M., & Golden, B. R. (2020). Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: A review. *Agronomy Journal*, 112(3), 1475-1501. <https://doi.org/10.1002/agj2.20093>
- Kakabouki, I. P., Hela, D., Roussis, I., Papastylianou, P., Sestras, A. F., & Bilalis, D. J. (2018). Influence of fertilization and soil tillage on nitrogen uptake and utilization efficiency of quinoa crop (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of soil science and plant nutrition*, 18, 220-235. <https://doi.org/https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005000901>
- Lastra Vásquez, G. L., & Paucar Varela, I. M. (2023). *Evaluación del Blue-N (Methylobacterium symbioticum SB23) en la producción sostenible de papa (Solanum tuberosum L.) var. Única*. <https://hdl.handle.net/20.500.12935/260>
- Laurente Blanco, L. F., & Mamani Huanacuni, A. (2020). Modelamiento de la producción de quinoa aplicando ARIMA en Puno-Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 19(19), 205-230
- Lema, C. (2021). *EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE PAPA (Solanum tuberosum. L) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15648/1/13T00929.pdf>
- Leòn, R. (2014). *RESPUESTA DEL CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd.)*. Lima-Peru 106 p: Línea mutante La Molina a tres regímenes de riego en condiciones de la Molina.
- Longoria-Espinoza, R. M., Félix-Gastélum, R., & Cordero-Ramírez, J. D. (2020). Diversity of

- endophytic bacteria associated with tomato plants (*Solanum lycopersicum*). *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 38(2).  
<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2002-7>
- Maddonni, G. A. and Otegui, M. E. 2006. Intra-specific competition in maize: contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. *Field Crops. Res.* 97:155-166
- Mahanty T, Bhattacharjee S, Goswami M, Bhattacharyya P, Das B, Ghosh A, Tribedi P (2016) Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environ Sci Pollut Res* 24(4):3315–3335
- MAGAP. (2013). Obtenido de “Año Internacional de la Quinoa 2013” se presenta en Ecuador:  
<https://www.agricultura.gob.ec/ano-internacional-de-la-quinoa-2013-se-presenta-en-ecuador/>
- Matus, I. (2015). *El cultivo de la quínoa en Chile*. Obtenido de  
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6727/Bolet%C3%ADn%20INIA%20N%C2%B0%20362?sequence=1&isAllowed=y>
- Medina-Rios, M., Ceja Torres, L. F., López-Díaz, S., Venegas-González, J., & Sánchez-Hernández, C. V. (2019). Efecto de *Methylobacterium extorquens* en el desarrollo del tomate en presencia o ausencia de *Fusarium oxysporum*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1469-1479. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.644>
- MIDAGRI. (2023). *Pronóstico de producción de quinoa al 2023*.  
<http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/1460>
- Minh, N., Hoang, D., Anh, D., & Long, N. (2022). Effect of Nitrogen and Potassium on Growth, Yield, and Seed Quality of Quinoa in Ferralsols and Acrisols under Rainfed Conditions. *Journal of Ecological Engineering*, 23(4), 164-172.  
<https://doi.org/10.12911/22998993/146515>
- Montesinos, E. A. E. (2016). Adaptación del cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) al cambio climático en los Andes del Perú. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 19(37), Article 37.  
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v19i37.12950>
- Montes-Rojas, C., Burbano-Catuche, G. A., Muñoz-Certuche, E. F., Calderón-Yonda, Y., Montes-Rojas, C., Burbano-Catuche, G. A., Muñoz-Certuche, E. F., & Calderón-Yonda, Y. (2018).

- DESCRIPCIÓN DEL CICLO FENOLOGICO DE CUATRO ECOTIPOS DE (*Chenopodium quinua* Willd.), EN PURACE - CAUCA, COLOMBIA. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(2), 26-37. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v16n2.1163>
- Morales-Morales, E. J., Rubí-Arriaga, M., López-Sandoval, J. A., Martínez-Campos, Á. R., Morales-Rosales, E. J., Morales-Morales, E. J., Rubí-Arriaga, M., López-Sandoval, J. A., Martínez-Campos, Á. R., & Morales-Rosales, E. J. (2020). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1875-1886. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1732>
- Moreno, A. G. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v20n1/0123-3475-biote-20-01-68.pdf>
- Neira, J. (2018). *Efecto de la fertilización bioorgánica en el rendimiento del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*. Obtenido de <https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c7c3cb5f-8ee5-4422-8027-fb137ec60744/content>
- Muñoz, D. B. (2017). *Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: Mecanismos y aplicaciones*.
- Mujica, A. (2019). *El origen de la quínoa y la historia de su domesticación*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67723/NR40344.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- Navarrete, N. (2024). *EFFECTO DE BACTERIA FIJADORA DE NITRÓGENO (Methylobacterium symbioticum), EN DOS VARIEDADES DE ARROZ, CANTÓN DAULE PROVINCIA DEL GUAYAS*. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RONQUILLO%20NAVARRETE%20NORBERTO%20ANGEL.pdf>
- Noriega, L. A.; Preciado, R. E.; Andrio, E.; Terrón, A. D. y Covarrubias, J. 2011. Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM h-374c. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(2):489-500.
- Novoa R, Villagran A. (2021). Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica* 62 (1):165-171
- Nuñez, W. C. (2018). *Fenología de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa W.) en dos épocas de siembra. Canaán – INIA a 2735 msnm – Ayacucho*.

- [https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3093/1/TESIS%20AG1222\\_Nu%c3%b1.pdf](https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3093/1/TESIS%20AG1222_Nu%c3%b1.pdf)
- Orchardson, E. (2020). El nitrógeno en la agricultura. *CIMMYT*.  
<https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>
- Orozco-Vidal, J. A., Ramírez-Torres, R., Segura-Castruita, M. Á., Yescas-Coronado, P., Trejo-Valencia, R., & Vidal-Alamilla, J. A. (2016). Fuentes de nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(1), 185-194.
- Peralta, E. (2010). *INIAP Tunkahuan variedad mejorada. Estación Experimental Santa Catalina. Plegable Divulgativo NO 345. INIAP*. Obtenido de [coin.fao.org/coinstatic/cms/media/16/13709687510440/6.quinua\\_inia](https://coin.fao.org/coinstatic/cms/media/16/13709687510440/6.quinua_inia)
- Pérez, J., Peña, E., Torres, C. (2020). Efecto del nitrógeno y la irradianza en la eficiencia fotosintética del anamú *Petiveria alliacea* (Phytolaccaceae). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* Vol. 31(118): 49-55.
- Pezzola, A., Orden, L., & Bellacomo, C. (2021). *Estudio satelital en cebolla: variables biofísicas como herramienta de fertilización*. Obtenido de [https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/11468/INTA\\_CRBsAsSur\\_EEAHilarioAscasubi\\_Pezzola\\_NA\\_Cebolla\\_estudio\\_satelital\\_variables\\_biofísicas\\_para\\_fertilizacion\\_nitrogenada.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/11468/INTA_CRBsAsSur_EEAHilarioAscasubi_Pezzola_NA_Cebolla_estudio_satelital_variables_biofísicas_para_fertilizacion_nitrogenada.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pineda, S. 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. (*Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja*).
- Rincón, Á., Flórez, H., Ballesteros, H., & León, L. M. (2018). Effects of fertilization of *Brachiaria humidicola* cv. Llanero on pasture productivity in the foothills region of the Llanos Orientales, Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajés Tropicales*, 6(3), 158–168.  
[https://doi.org/10.17138/TGFT\(6\)158-168](https://doi.org/10.17138/TGFT(6)158-168)
- Rives, N., Acebo, Y., & Hernández, A. (2019). *BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL EN EL CULTIVO DEL ARROZ (Oryza sativa L.). PERSPECTIVAS DE SU USO EN CUBA*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217731004.pdf>
- Rojas, W. (2011). *La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>

- Saboor, A., Ali, M. A., Ahmed, N., Skalicky, M., Danish, S., Fahad, S., Hassan, F., Hassan, M. M., Brestic, M., EL Sabagh, A., & Datta, R. (2021). Biofertilizer-Based Zinc Application Enhances Maize Growth, Gas Exchange Attributes, and Yield in Zinc-Deficient Soil. *Agriculture*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040310>
- Sahonero, R. 2013. Estudio de la morfología y viabilidad de semilla de 8 taxones de quinua silvestre de Bolivia. In: Vargas, M. (eds.). Congreso Científico de la Quinoa (Memoria). La Paz, Bolivia. pp. 31-41.
- Sanclemente, M., Peña, E. (2018). Crecimiento y eficiencia fotosintética de *Ludwigia decurrens* Walter (Onagraceae) bajo diferentes concentraciones de nitrógeno. *Acta biol. Colomb.* Vol. 13 (1): 175 – 186.
- Sandaña, P., & Calderini, D. (2014). *Applications for Genetic Improvement and Agronomy (2nd ed., Voll)* . Crop Physiology: Academic Press-Elsevier. Obtenido de <https://www.elsevier.com/books/crop-physiology/sadras/978-0-12-417104-6>
- Santana, D. C. (2017). Microorganismos Fijadores De Nitrógeno Y Su Acción Complementaria A La Fertilización Química En El Cultivos De Coffea arabica L. *eujournal*. Obtenido de <https://eujournal.org/index.php/esj/article/download/8683/8297>
- Silva, B. (2021). ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE EXPORTACIÓN DE LA QUINUA ORGÁNICA ECUATORIANA AL MERCADO INTERNACIONAL. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/19013/AN%20C3%81LISIS%20DEL%20POTENCIAL%20DE%20EXPORTACI%20C3%93N%20DE%20LA%20QUINUA%20ORG%20C3%81NICA%20ECUATORIANA%20AL%20MERCADO%20INTERNACIONAL.pdf?sequence=1>
- Soria, G. C. E. (2016). EFECTO DEL BIOL COMO FERTILIZANTE FOLIAR EN LA PRODUCCION DE LECHUGA SUIZA (*Valerianella locusta* L.) CON DIFERENTES CONCENTRACIONES EN AMBIENTE ATEMPERADO EN EL MUNICIPIO DE TIWANAKU – LA PAZ. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5049/T-1357.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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>

- Sousa-Montes, E.; Alejos-de la Fuente, J. I.; Pro-Martínez, A.; González-Cerón, F.; Enríquez-Quiroz, J. F. & Torres-Cardona, María G. Composición química y digestibilidad de cuatro leguminosas tropicales mexicanas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 11 (spe24):211-220, 2014. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2371>. [ Links ]
- Suárez-Salazar, J. C., Duran-Bautista, E. H., Rojas-Castillo, J. A., & Ortiz-Cifuentes, N. (2017). Pigmentos fotosintéticos y conductancia estomática en ecotipos de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. Ex. Spreng K. Schum.). *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 199-206.
- Symborg. (2021). La nueva forma de aportar nitrógeno a los cultivos, *Methylobacterium symbioticum*. *BlueN Technology*. Obtenido de <https://symborg.com/es/download/bluen-revolucion-agricola-methylobacterium-symbioticum/?wpdmdl=13639&refresh=62a3f76b9f0441654912875>
- Toapanta Sánchez, I. D. P. (2016). *Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa), var. Tunkahuán en el sector Querochaca, catón Cevallos, provincia Tungurahua* (Bachelor's thesis).
- Torres Vera, R., Bernabé García, A. J., Carmona Álvarez, F. J., Martínez Ruiz, J., & Fernández Martín, F. (2023). Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. *Folia Microbiologica*, 69(1), 121-131. <https://doi.org/10.1007/s12223-023-01078-4>
- Valle, L., Ulloa, M. C., & Valle, L. (2021). Índice de cosecha con macro-nutrientes 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>
- Vásquez, D. (2018). Estudio comparativo en rendimiento de quinua variedad INIA 415 Pasankalla (*Chenopodium quinoa*), con niveles de fertilización sintético. En la localidad Cocairo – Kaquiabamba – Andahuaylas. (Tesis de pregrado) Universidad Tecnológica de los Andes de Abancay – Apurímac, Perú.
- Vásquez, A., Pimentel, V., Fuentes, F., & Días, R. (2019). Obtenido de La hoja de quinua como alternativa nutricional: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-16202019000200137](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202019000200137)
- Velazco, M. (2023). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE Methylobacterium symbioticum Y Bradyrhizobium spp EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ (Oryza sativa)*.

- Veas, E., & Cortés, H. (2016). *Manual del cultivo de quinua: Cultivo ancestral como una alternativa eficiente para*. Chile: CEAZA.
- Vesperinas, I. (2021). Obtenido de Optimización de nutrición nitrogenada en hortícolas de hoja crecidas en sistema de hidroponía pura NGS®: Uso de inoculantes microbianos.
- Villavicencio, E. (2021). Periodo Crítico para el Rendimiento y la Calidad del Grano de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) mediante la aplicación de Sombra en Distintos Estados Fenológicos, en el Sector La Argelia, Loja. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. *Repositorio Digital - Universidad Nacional de Loja*. Obtenido de [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24449/1/EdwinIsrael\\_VillavicencioSanchez.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24449/1/EdwinIsrael_VillavicencioSanchez.pdf)
- YACTAYO, P. (2018). Obtenido de “RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) CON DIFERENTES FUENTES DE FERTILIZACIÓN EN CONDICIONES DE LA MOLINA: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3673/yactayo-coyutupa-piero-moises.pdf?sequence=1>
- Yang, A., Akhtar, S. S., Iqbal, S., Amjad, M., Naveed, M., Zahir, Z. A., Jacobsen, S.-E., Yang, A., Akhtar, S. S., Iqbal, S., Amjad, M., Naveed, M., Zahir, Z. A., & Jacobsen, S.-E. (2016). Enhancing salt tolerance in quinoa by halotolerant bacterial inoculation. *Functional Plant Biology*, 43(7), 632-642. <https://doi.org/10.1071/FP15265>
- Zhang, W., Liang, Z., He, X., Wang, X., Shi, X., Zou, C., & Chen, X. (2018). The effects of controlled release urea on maize productivity and reactive nitrogen losses: a meta-analysis. *Environmental Pollution*, 246, 559–565.

## 11. Anexos

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

<b>Código BBCH</b> <b>Dos dígitos</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Etapa de crecimiento principal 0: germinación</b>	
<b>00</b>	Siembra
<b>01</b>	Inicio de la imbibición de las semillas
<b>03</b>	Finalizada la imbibición de semillas
<b>05</b>	Emergencia de la radícula de la semilla
<b>07</b>	Aparición del hipocótilo
<b>08</b>	Hipocótilo con cotiledones creciendo hacia la superficie del suelo
<b>09</b>	Emergencia de los cotiledones a través del suelo
<b>Etapa principal de crecimiento 1: desarrollo foliar</b>	
<b>10</b>	Cotiledones completamente emergidos
<b>11</b>	Primer par de hojas visibles
<b>12</b>	Segundo par de hojas visibles
<b>1.</b>	La codificación continúa con el mismo esquema
<b>19</b>	Nueve pares de hojas visibles.
<b>Estado de desarrollo principal 2: formación de brotes laterales</b>	
<b>20</b>	Yemas laterales visibles u hojas expandidas sin tallos laterales
<b>21</b>	Un brote lateral visible
<b>22</b>	Dos brotes laterales visibles
<b>2.</b>	La codificación continúa con el mismo esquema
<b>29</b>	Nueve brotes laterales visibles
<b>Estado principal de desarrollo 3: alargamiento del tallo (omitido)</b>	
<b>Estado principal de desarrollo 4: desarrollo de las partes vegetativas cosechables</b>	
<b>Estado principal de desarrollo 5: aparición de la inflorescencia</b>	
<b>50</b>	Inflorescencia presente pero aún encerrada por las hojas.
<b>51</b>	Hojas que rodean la inflorescencia separada, la inflorescencia es visible desde arriba.
<b>59</b>	Inflorescencia visible, pero todas las flores siguen cerradas
<b>Estado de crecimiento principal 6: Floración.</b>	

<b>60</b>	Comienzo de la antesis: inflorescencia principal de las flores con las primeras anteras extruidas.
<b>67</b>	Comienzo de la antesis: principal inflorescencia de las flores con las primeras anteras senescentes
<b>69</b>	Antesis completa: flores principales inflorescentes con anteras senescentes
<b>Estado principal de desarrollo 7: Desarrollo del fruto</b>	
<b>70</b>	Cuajado: engrosamiento del ovario y primeros granos visibles en el tallo principal
<b>Estado de desarrollo principal 8: Maduración</b>	
<b>81</b>	Grano lechoso, fácil de aplastar con las uñas, contenido líquido y pericarpio verde.
<b>85</b>	Grano grueso, fácil de aplastar con las uñas, contenido pastoso blanco, pericarpio verde, beige, rojo o negro.
<b>89</b>	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.
<b>Fase principal de crecimiento 9: Senescencia</b>	
<b>91</b>	Sólo las hojas basales están secas
<b>93</b>	Las hojas de la primera mitad de la planta, empezando por la base, están muertas
<b>95</b>	Todas las hojas están muertas; el color del tallo pasa de amarillo a marrón
<b>97</b>	Planta muerta y seca
<b>99</b>	Producto cosechado

**Fuente:** (Sosa et al., 2017).

**Anexo 2.** Cálculos del plan de fertilización para el cultivo de quinua.

❖ **Requerimientos del cultivo**

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
120	80	60

**NITRÓGENO (N)**

➤ **Cálculo de requerimiento del cultivo**

**Datos**

- Profundidad del muestreo: 0,20 m
- Densidad aparente: 1,3 t/m<sup>3</sup>

$$\text{Peso suelo/ha} = \text{área m}^2 \text{ (ha)} * \text{profundidad (0,20)} * \text{densidad aparente (1200 kg/m}^3)$$

$$\text{Peso suelo/ha} = 10\,000 \text{ m}^3 * 1,3 \text{ tn} * 0,2 \text{ m} = 2\,600 \text{ t/ha} * 1000 \text{ kg/t} = \mathbf{2\,600\,000 \text{ kg/ha}}$$

**Convertir de N a kg/ha**

$$\begin{array}{ccc} 100 \text{ kg / suelo} & \times & 1,77 \text{ kg MO} \\ 2600000 \text{ kg} & & x \end{array}$$

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

$$\text{N.T (Total) 5 \%} = 46,020 * 0,05 = 2301 \text{ kg de MO}$$

$$\text{ND (Disponible) 2\%} = 2301 \text{ kg} * 0,02 = 46,02 \text{ kg de N}$$

❖ **Cálculo del nitrógeno por hectárea**

**Fertilizante:** Urea 46% de N

$$120 - 46,02 = 73,98 \text{ kg de N}$$

$$\begin{array}{ccc} 100 \text{ kg} & \times & 46 \text{ N} \\ x & & 73,98 \text{ kg /N} \end{array}$$

$$\frac{100 \text{ kg} * 73,98 \text{ kg/N}}{46 \text{ N}} = \mathbf{160 \text{ kg/ha de N}}$$

❖ **Cálculo de N para el ensayo (3 m<sup>2</sup>):**

$$\begin{array}{r} 160 \text{ kg / ha} \\ \times \\ 10\,000 \text{ m}^2 \\ \hline 3 \text{ m}^2 \end{array}$$
$$\frac{160 \text{ kg} * 3 \text{ m}^2}{10\,000 \text{ m}^2} = \boxed{0.048 \text{ kg}}$$

❖ **Transformar en gramos:**

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

**FÓSFORO (P)**

❖ **Cálculo de fosforo por hectárea**

$$2,80 \times 2.29 = 183,2 \text{ P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

**Fertilizante:** Superfosfato triple 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg/ha} \\ \times \\ 46 \text{ P}_2\text{O}_5 \\ \hline 183,2 \text{ P}_2\text{O}_5/\text{ha} \end{array}$$
$$\frac{100 \text{ kg} * 183,2 \text{ P}_2\text{O}_5}{46 \text{ P}_2\text{O}_5} = \boxed{399 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5}$$

❖ **Cálculo de P para el ensayo (3 m<sup>2</sup>):**

$$\begin{array}{r} 399 \text{ kg / ha} \\ \times \\ 10\,000 \text{ m}^2 \\ \hline 3 \text{ m}^2 \end{array}$$
$$\frac{399 \text{ kg/ha} * 3 \text{ m}^2}{10000 \text{ m}^2} = \boxed{0,1197 \text{ kg de P}}$$

❖ **Transformar en gramos:**

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

## POTASIO (K)

CIC → 11,54

$$\begin{array}{ccc} 11,54 & \times & 100\% \\ 0.10 & & x \end{array}$$

$$x = 0.86 \% \text{ de déficit}$$

K = 2% - 0.86

K = 1.14 de déficit

Déficit de K:

$$\begin{aligned} \% \text{ déficit de K } \left( \frac{mg}{kg} \right) &= CIC \times \left( \% \frac{deficit}{100} \right) \times 390 \text{ mg de kmol} \\ &= 11,54 \times \left( \frac{1.14}{100} \right) \times 390 \\ &= 51,3 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

Dosis de K<sub>2</sub>O (kg/ha)

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

### ❖ Cálculo de Potasio por hectárea

Fertilizante: muriato de potasio 60%

Dosis de aplicar: 137.5 kg/ha

$$\begin{array}{ccc} 100 \text{ kg} & \times & 60 \text{ K}_2\text{O} \\ x & & 137.5 \text{ kg/ha} \end{array}$$
$$\frac{100 \text{ kg} * 137,5 \text{ kg/ha}}{60 \text{ K}_2\text{O}} = 229,16 \text{ kg/ha}$$

❖ **Cálculo de N para el ensayo (3 m<sup>2</sup>):**

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

❖ **Transformar en gramos:**

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

**Resumen de las dosis de fertilizante**

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	229,16	0,069	69	1,64

**Anexo 3.** Preparación del sustrato a base de tierra, arena y compost, llenado de fundas.



**Anexo 4 .** Establecimiento y siembra del cultivo de quinua variedad Tunkahuan.



**Anexo 6 .** Unidades experimentales con 3 plantas por funda.



**Anexo 5 .** Control fitosanitario y riego en las plantas de quinua.



**Anexo 7 .** Aparición de las primeras hojas verdaderas y desarrollo de hojas.



**Anexo 8 .** Estadio vegetativo del cultivo de quinua.



**Anexo 9 .** Aparición del boton floral, emergencia de la florescencia y Floración.



**Anexo 10 .** Etapa reproductiva del cultivo de quinua.



**Anexo 12 .** Aplicación de la fertilización sintética (Urea, Superfosfato triple y Muriato de potasio).



**Anexo 13 .** Aplicación del biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum*.



**Anexo 14 .** Toma de datos de la variable contenido de clorofila (SPAD).



**Anexo 15 .** Toma de datos de la variable conductancia estomática con el porómetro.



**Anexo 16 .** Medición de la variable Índice de área foliar la cámara Go pro9 y cobertura vegetal.



**Anexo 17.** Toma de datos de la variable fluorescencia de la clorofila con el fluorómetro MultispeQ



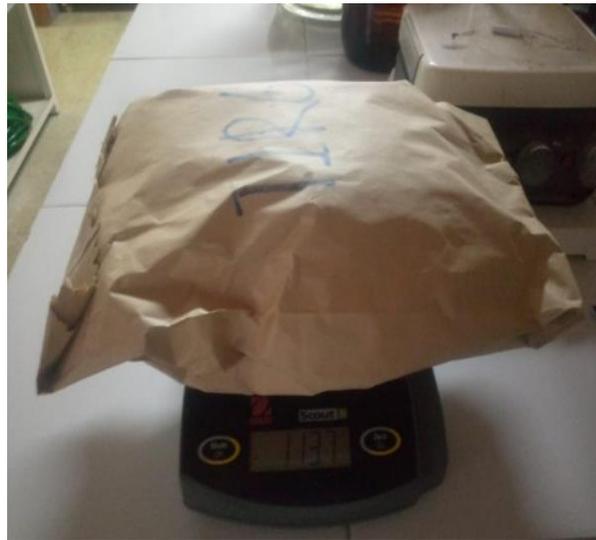
**Anexo 18.** Madurez fisiológica y cosecha de las plantas de quinua.



**Anexo 19.** Separación de las diferentes partes de la planta y peso de la muestra antes de ponerse en la estufa.



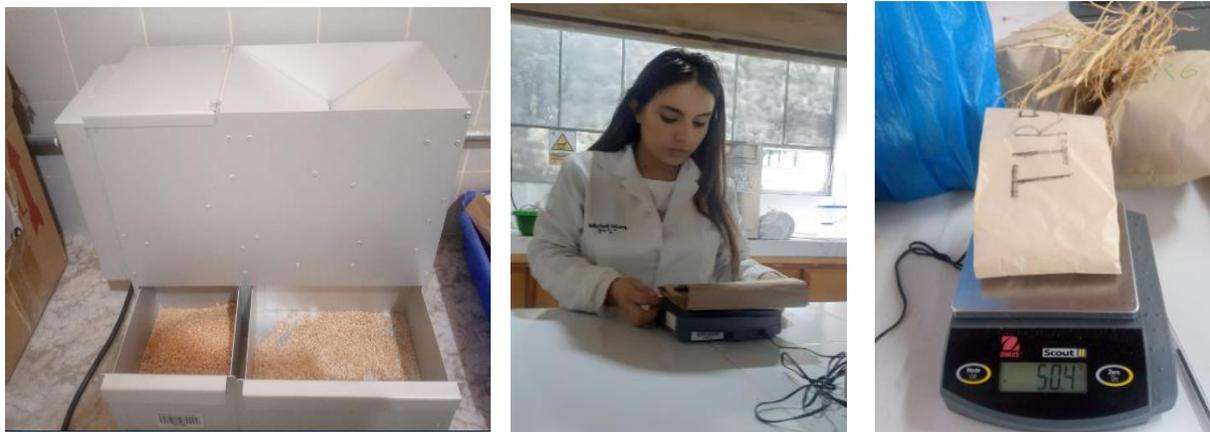
**Anexo 20.** Colocación de las fundas de papel en la estufa y peso de las muestras sacadas de la estufa en la balanza.



**Anexo 21.** Limpieza de la quinua en tamizadores.



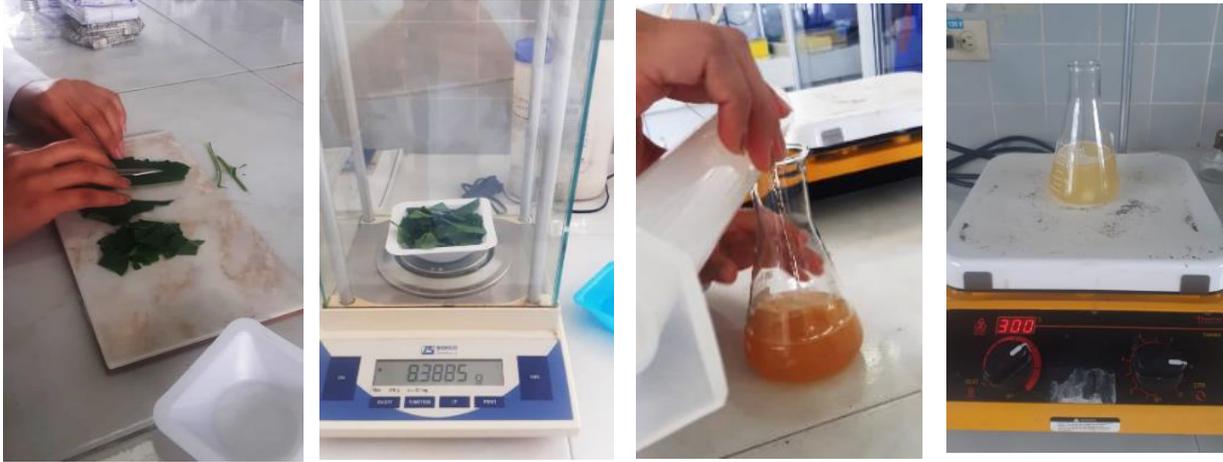
**Anexo 22.** Colocación y obtención de los granos en la máquina limpiadora de quinua y peso del número total de granos.



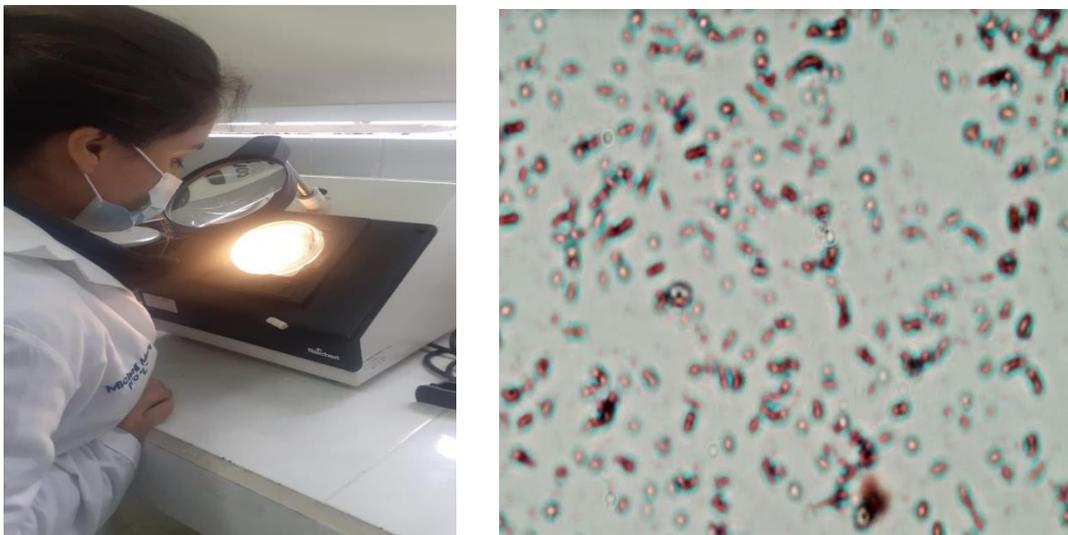
**Anexo 23 .** Conteo y peso en la balanza analítica de los 1000 granos



**Anexo 24.** Procedimiento para el aislamiento bacteriano de una muestra vegetal.



**Anexo 25 .** Caracterización de la bacteria *Methylobacterium* sp.



**Anexo 25.** Certificación de la traducción del resumen.

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

[andrea.s.carrión@unLedu.ec](mailto:andrea.s.carrión@unLedu.ec)

Loja-Ecuador

Loja, 13 de mayo 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: **Johanna Ibeth Mora Armijos** con cédula de ciudadanía No. **1150035853**, cuyo tema de investigación se titula: **"Respuesta agrofisiológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) con el uso de biofertilizante a base de *Methylobacterium symbioticum* bajo condiciones controladas en la Argelia."** 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**

Firmado digitalmente  
por ANDREA STHEFANIA  
CARRION FERNANDEZ  
Fecha: 2024.05.13  
16:30:48 -05'00'

**Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.**

**English Professor**