



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

“Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja”.

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

AUTOR:

Carlos David Valarezo Ramos

DIRECTORA:

Dra. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 24 de febrero de 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: **“Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja”**. previo a la obtención de título de **Ingeniero Agrónomo**, de la autoría del estudiante **Carlos David Valarezo Ramos**, con **cédula de identidad Nro.1105136491**. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo su presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa

Dra. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

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



Firma:

Cédula: 1105136491

Fecha: 9 de septiembre de 2023

Correo electrónico: carlos.d.valarezo@unl.edu.ec

Teléfono: 0994381678

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

Yo, **Carlos David Valarezo Ramos**, declaro ser el autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: “Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja”, como requisito para optar el título de **Ingeniero Agrónomo**, por lo que autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre a mundo la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden hacer uso de este trabajo investigativo en las redes de información del país (RID) y del exterior, con las que mantenga convenio la Universidad.

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

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

Firma:



Autor: Carlos David Valarezo Ramos

Cédula: 1105136491

Dirección: Av. Cuxibamba y Tulcán (0476)

Correo electrónico: carlos.d.valarezo@unl.edu.ec

Teléfono: 0994381678

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Dra. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Mirian Ramos y Davi Valarezo, a mis hermanos Edin y Madelyn, a alguien muy especial en mi vida Alexandra Jiménez, por todo el amor, sacrificio y por el apoyo que me han brindado de manera incondicional para ver cristalizado este sueño, no solo mío porque también es de ellos, pues sin su ayuda no habría podido sobresalir y afrontar todos los obstáculos que se me han atravesado en el camino, y que junto con ellos he logrado superarlos.

A mis abuelitos Julia, Carlos, Genoveva, Segundo, que por sus raíces de agricultores me han hecho amar el campo y todas las actividades que se realizan en la agricultura, que me han sabido enseñar y darme su cariño.

Finalmente dedico el presente trabajo a toda mi familia en general, a mis tíos/as y a primos/as.

Carlos David Valarezo Ramos

Agradecimiento

Agradezco a Dios por habernos dado vida y salud, y poder estudiar , a mi familia que con su apoyo en todos los sentidos de la palabra me hayan ayudado a cumplir esta gran propuesta en mi vida, al igual que agradezco a todos/as mis amigos/as que siempre pendientes y me han estado dando ánimos para seguir con mis estudios, en especial a mi mejor amiga Jessica Rosales.

También doy gracias a cada uno de los docentes de todas las materias cursadas durante la carrera, que con sus conocimientos y experiencias compartidas me dieron el aprendizaje necesario para formarme en el campo profesional y desempeñar mis funciones en mi futuro empleo.

A mi directora del Trabajo de Integración Curricular la Dra. Mirian Irene Capa Morocho PhD, por su asesoramiento y orientación académica durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Carlos David Valarezo Ramos

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de Autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Índice de anexos.....	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	6
4.1. Cultivo de quinua.....	6
4.1.1. <i>Importancia cultural y producción</i>	6
4.1.2. <i>Taxonomía</i>	7
4.1.3. <i>Fenología</i>	7
4.1.4. <i>Condiciones edafoclimáticas</i>	8
a. <i>Altitud y suelo</i>	8
b. <i>Humedad</i>	9
c. <i>Temperatura</i>	9
d. <i>Precipitación</i>	9
4.1.5. <i>Requerimientos nutricionales</i>	9
4.1.6. <i>Importancia del nitrógeno en el crecimiento y rendimiento</i>	9
4.2. Fertilización.....	10
4.2.1. <i>Fertilización química</i>	10
a. <i>Fuente nitrogenada</i>	10
b. <i>Fuente de fósforo</i>	10
c. <i>Fuente de potasio</i>	10
4.2.2. <i>Biofertilización</i>	11
4.2.3. <i>Bacterias como biofertilizantes</i>	11
4.2.4. <i>Bacterias fijadoras de nitrógeno</i>	11
4.2.5. <i>Methylobacterium simbyoticum como fijadora de nitrógeno</i>	12

4.3. Antecedentes.....	13
5. Metodología.....	14
5.1. Localización del estudio.....	14
Fig. 1.Ubicación de la investigación del uso de Methylobacterium symbioticum en el cultivo de quinua (Villavicencio, 2021).	14
5.2. Metodología general	14
5.2.1. <i>Tipo de investigación y alcance</i>	14
5.2.2. <i>Diseño experimental</i>	15
Fig. 2.Esquema del DCA de la investigación del uso de Methylobacterium symbioticum en el cultivo de quinua	16
5.2.4. <i>Manejo del cultivo</i>	16
5.3. Metodología para el primer objetivo específico. “Describir el crecimiento de la quinua usando <i>Methylobacterium symbioticum</i> como fuente fijadora de nitrógeno”	17
• <i>Altura de la planta</i>	17
• <i>Diámetro del tallo</i>	18
• <i>Número de hojas</i>	18
• <i>Número de ramas</i>	18
• <i>Cobertura del área foliar</i>	18
• <i>Índice SPAD</i>	18
5.4. Metodología para el segundo objetivo específico. “Determinar el efecto de <i>Methylobacterium symbioticum</i> como fuente fijadora de nitrógeno sobre el rendimiento de la quinua”	19
• <i>Número de granos por planta</i>	19
• <i>Número de granos por m²</i>	19
• <i>Peso de 1000 granos</i>	19
• <i>Rendimiento (R)</i>	19
• <i>Índice de cosecha</i>	19
6. Resultados	21
6.1. Variables de Crecimiento.....	21
• <i>Altura de la planta</i>	21

Fig. 3. Altura de plantas(cm) las plantas de quinua bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, Methylobacterium simbioticum en 1 momento (M.s 1), Methylobacterium simbioticum en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + Methylobacterium Simbioticum en 2 momentos (Urea + Ms), durante diferentes días después de la siembra (DDS). Líneas cobre las barras indican el error

estándar medio. Letras diferentes en cada tiempo indican diferencias estadísticas con $p < 0,05$ 21

- *Diámetro del tallo* 21

Fig. 4. Diámetro del tallo (mm) de las plantas de quinua bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* en 2 momentos (Urea + M.s), durante los 114 y 129 días después de la siembra (DDS). Líneas cobre las barras indican el error estándar medio. Letras diferentes en cada tiempo indican diferencias estadísticas con $p < 0,05$ 22

- *Número de hojas* 22

Fig. 5. Número de hojas de las plantas de quinua bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* en 2 momentos (Urea + M.s), durante los 129 días después de la siembra (DDS). Letras diferentes en cada tiempo indican diferencias estadísticas con $p < 0,05$ 22

- *Número de ramas* 23

Fig. 6. Número de ramas de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium symbioticum* en dos momentos (Urea + Ms.), durante los 129 días después de la siembra (DDS). 23

- *Cobertura del área foliar* 23

Fig. 7. Cobertura de Área Foliar de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* (Urea + M.s 2), a los 69, 84, 99, 114 y 129 días después de la siembra (DDS). 24

- *Índice SPAD* 24

Fig. 8. Índice SPAD de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* en dos momentos (Urea + M.s), durante la etapa 6 (fase de antesis) del cultivo de quinua según la escala BBCH de Sosa et al. (2017). Letras diferentes en cada tiempo indican diferencias estadísticas con $p < 0,05$ 24

- *Índice de Área Foliar (IAF)* 25

6.2. Variables de Rendimiento 25

- *Número de granos por planta* 25

- *Número de granos por m²* 25

- *Peso de 1000 granos* 26

Fig. 9. Peso de 1000 granos de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, Methylobacterium simbioticum en 1 momento (M.s 1), Methylobacterium simbioticum en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + Methylobacterium Simbioticum en dos momentos (Urea + M.s), en la cosecha. ... 26

• <i>Rendimiento (R)</i>	26
• <i>Índice de cosecha</i>	27
7. Discusión	28
8. Conclusiones	32
9. Recomendaciones	33
10. Bibliografía	34
11. Anexos	39
<i>Anexo 1. Delimitación de las parcelas</i>	39

Índice de tablas:

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la Quinoa según Apaza (2014).	7
Tabla 2. Etapas fenológicas de la escala BBCH en quinua según Sosa et al. (2017).	8
Tabla 3. Tratamientos con el factor fertilización y momento de aplicación de la investigación del uso de <i>Methylobacterium symbioticum</i> en el cultivo de quinua.	15
Tabla 4. Índice de Área Foliar (IAF) de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 1 momento (M.s 1), <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + <i>Methylobacterium Symbioticum</i> (Urea + M.s), en la etapa 8 del cultivo de quinua según la escala BBCH de Sosa et al. (2017). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$).	25
Tabla 5. Número de granos por planta bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 1 momento (M.s 1), <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + <i>Methylobacterium Symbioticum</i> (Urea + M.s), en la cosecha.. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$).	25
Tabla 6. Número de granos por m ² de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 1 momento (M.s 1), <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + <i>Methylobacterium Symbioticum</i> (Urea + M.s), en la cosecha. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$).	26
Tabla 7. Rendimiento de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 1 momento (M.s 1), <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + <i>Methylobacterium Symbioticum</i> en dos momentos (Urea + M.s), en la cosecha.	27
Tabla 8. Índice de cosecha de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 1 momento (M.s 1), <i>Methylobacterium symbioticum</i> en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + <i>Methylobacterium Symbioticum</i> en dos momentos (Urea + M.s), en la cosecha.	27

Índice de figuras:

- Fig. 1.** Ubicación de la investigación del uso de *Methylobacterium symbioticum* en el cultivo de quinua (Villavicencio, 2021). _____ 14
- Fig. 2.** Esquema del DCA de la investigación del uso de *Methylobacterium symbioticum* en el cultivo de quinua _____ 16
- Fig. 3.** Altura de plantas(cm) las plantas de quinua bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium simbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium simbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Simbioticum* en 2 momentos (Urea + Ms), durante diferentes días después de la siembra (DDS). _____ 21
- Fig. 4.** Diámetro del tallo(mm) de las plantas de quinua bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium simbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium simbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Simbioticum* en 2 momentos (Urea + M.s), durante los 114 y 129 días después de la siembra (DDS). _____ 22
- Fig. 5.** Número de hojas de las plantas de quinua bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium simbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium simbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Simbioticum* en 2 momentos (Urea + M.s), durante los 129 días después de la siembra (DDS). ____ 22
- Fig. 6.** Número de ramas de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium simbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium simbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium simbioticum* en dos momentos (Urea + Ms.), durante los 129 días después de la siembra (DDS). _____ 23
- Fig. 7.** Cobertura de Área Foliar de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium simbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium simbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Simbioticum* (Urea + M.s 2), a los 69, 84, 99, 114 y 129 días después de la siembra (DDS). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$) _____ 24
- Fig. 8.** Índice SPAD de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium simbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium simbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Simbioticum* en dos momentos (Urea + M.s), durante la etapa 6 del cultivo de quinua según la escala BBCH

de Sosa et al. (2017). _____ 24

Fig. 9. Peso de 1000 granos de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium* simbioticum en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium* simbioticum en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium* Simbioticum en dos momentos (Urea + M.s), en la cosecha. _____ 26

Índice de anexos:

<i>Anexo 1. Delimitación de las parcelas</i>	39
<i>Anexo 2. Instalación de sistema de riego por aspersión</i>	39
Anexo 3. Cultivo en etapa vegetativo	40
Anexo 4. Aplicación foliar de <i>Methylobacterium</i>	40
Anexo 5. Toma de muestras para llevar a laboratorio.....	40
Anexo 6. Medición de Área Foliar con el medidor CI-202.....	41
Anexo 7. Peso de biomasa.....	41
Anexo 8. Producto químico HELCORE con ingrediente activo Difenoconazole para combatir la enfermedad fungosa provocada por el mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>).....	42
Anexo 9. Producto comercial BlueN que contiene la bacteria <i>Methylobacterium symbioticum</i>	42
Anexo 10. Certificado de traducción del resumen	43

1. Título

“Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja”.

2. Resumen

Por muchos años el cultivo de quinua ha sido de gran importancia en la agricultura familiar y campesina, principalmente en países como: Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia, debido a la gran fuente de ingresos y de trabajo a los productores, además de aportar a la soberanía. El nitrógeno es un elemento limitante, su baja disponibilidad disminuye el crecimiento vegetativo y el potencial de rendimiento. El fertilizante nitrogenado más utilizado es la urea (químico y de alto costo). Una opción para la sustitución de este producto es el uso de microorganismos como las bacterias. Por esto, el objetivo del presente estudio permitió evaluar el crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno. El ensayo se estableció en la Quinta Experimental Docente La Argelia (QEDA) de la Universidad Nacional de Loja, ubicada cantón Loja, bajo un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo unifactorial, con 5 tratamientos y 3 repeticiones con un total de 15 parcelas. Los tratamientos incluyeron T1 (testigo), la aplicación de *Methylobacterium* $3 * 10^7$ UFC/g T3 (etapa 4) y T4 (etapa 4 y 6), T2 (aplicación urea (N) en etapas 4 y 6) y T5 (aplicación combinada de nitrógeno + *Methylobacterium* en etapas 4 y 6). Las variables altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas y número de ramas, la toma de datos se realizó a partir de la etapa 4 de la escala BBCH del cultivo de quinua. Por otro lado, para las variables índice SPAD, y biomasa aérea, se tomaron las mismas plantas que fueron 2 de los surcos centrales, durante las etapas 4, 5, 6 y 8 de la fenología del cultivo. Los análisis estadísticos ANAVA y prueba de test de Tukey se realizaron con el programa INFOSTAT. Los mayores valores se obtuvieron en altura con el T2 (156.82 cm) y T5 (156.11 cm), en el diámetro de tallo el T2 (9.93 mm). En cuanto al número de hojas, índice SPAD y peso de 1000 granos el tratamiento T5 presentó los mayores valores con 894 hojas, 50.54 unidades SPAD y 3.23 g de peso en 1000 semillas. Este trabajo proporciona nuevas herramientas de manejo cultivo de quinua, realizándolo de una manera más ecológica y a la vez reduciendo los gastos económicos para los productores.

Palabras clave: quinua, bacterias nitrificantes, urea, rendimiento, crecimiento.

2.1. Abstract

For many years the cultivation of quinoa has been of great importance in family and peasant agriculture, mainly in countries such as Peru, Bolivia, Ecuador and Colombia, due to the great source of income and work for producers, in addition to contributing to sovereignty. Nitrogen is a limiting element; its low availability reduces vegetative growth and yield potential. The most commonly used nitrogen fertilizer is urea (chemical and expensive). One option for the substitution of this product is the use of microorganisms such as the bacteria. Therefore, the objective of this study was to evaluate the growth and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using *Methylobacterium symbioticum* as a nitrogen-fixing source. The trial was established in “Quinta Experimental Docente La Argelia” (QEDA) at National University of Loja, located in Loja canton, under a completely randomized design (CRD) with a unifactorial arrangement, with 5 treatments and 3 replications with a total of 15 plots. Treatments included T1 (control), application of *Methylobacterium* 3×10^7 CFU/g T3 (stage 4) and T4 (stage 4 and 6), T2 (urea (N) application in stages 4 and 6) and T5 (combined application of nitrogen + *Methylobacterium* in stages 4 and 6). The variables plant height, stem diameter, number of leaves and number of branches were collected from stage 4 of the BBCH scale of the quinoa crop. On the other hand, for the variables SPAD index and aerial biomass, the same plants were taken from the central furrows during stages 4, 5, 6 and 8 of the crop phenology. ANOVA statistical analysis and Tukey's test were carried out with the INFOSTAT program. The highest values were obtained in height with T2 (156.82 cm) and T5 (156.11 cm), in stem diameter T2 (9.93 mm). Regarding the number of leaves, SPAD index and weight of 1000 grains, the T5 treatment presented the highest values with 824 leaves, 50,54 SPAD units and 3,23 g of weight in 1000 seeds. This work provides new management tools for quinoa cultivation, doing it in a more ecological way and at the same time reducing economic expenses for producers.

Key words: *quinoa, nitrifying bacteria, urea, yield, growth.*

3. Introducción

Por muchos años el cultivo de quinua ha sido de gran importancia en la agricultura familiar y campesina, principalmente en países como: Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia, debido a que ha generado una gran fuente de ingresos y de trabajo a los productores, además de aportar a la soberanía alimentaria (García & Plazas, 2018). Esto debido a la gran cantidad de aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas que posee el grano de quinua al no contener gluten (Gómez & Aguilar, 2016).

Las zonas de producción de quinua en Ecuador se encuentran en las provincias de la Región Sierra (Calvache & Valle, 2021), con un rendimiento a nivel nacional de 0,93 t/ha en el 2021, demasiado bajo comparado con la producción obtenida por Perú de 1,48 t/ha en el mismo año (MAG, 2021). En su mayoría la quinua es sembrada en suelos con bajos contenidos de nutrientes, y sin fertilización, lo que repercute en bajos rendimientos observados frente a la fertilización nitrogenada, fosforada y potásica en suelos con deficiencias de estos nutrientes (Alvarado & Cartagena, 2017).

El nitrógeno es un elemento limitante para el crecimiento de especies vegetales, ya que su nivel de disponibilidad es bajo debido al alto grado de solubilidad que presenta este y se pierde fácilmente por lixiviación y volatilización principalmente. Ante el insuficiente nitrógeno disponible, habrá cantidades mínimas de clorofila en las plantas (Ariza et al., 2020), disminuyendo el crecimiento vegetativo y la capacidad fotosintética de la planta, por lo tanto, el potencial de rendimiento también podría reducirse (Gómez & Aguilar, 2016).

El principal fertilizante nitrogenado utilizado en la producción de cultivos es la urea, que es de origen químico y de alto costo. Una opción para la sustitución de este producto como nutrición nitrogenada es la incorporación de biofertilizantes, elaborados a base de microorganismos como lo son las bacterias fijadoras de nitrógeno (Castañeda et al., 2021). Una alternativa muy útil podría ser la bacteria *Methylobacterium symbioticum*, quien produce enzimas que toman el nitrógeno en su forma gaseosa de la atmósfera y con los azúcares que obtiene de la planta, fija el nitrógeno dentro de la biomasa bacteriana, produciendo nitrógeno en niveles efectivos y controlados de manera que sean asimilables para las plantas (Santana et al., 2017).

En la actualidad es poca la información e investigación generada sobre el uso de los microorganismos captadores de nitrógeno atmosférico (Santana et al., 2017), específicamente de la bacteria *Methylobacterium symbioticum*, y más aún en el cultivo de

quinua, por lo que se desconocen los resultados que se podrían obtener en el crecimiento y en el rendimiento al ser aplicada en dicho cultivo.

El presente proyecto se ubica en el Segundo Objetivo de Desarrollo Sostenible declarado por la Organización de las Naciones Unidas (ODS 2), denominado “Hambre cero”, debido a que contribuye al incremento del rendimiento de la quinua procurando la soberanía alimentaria. En lo que respecta al Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador “Creando Oportunidades”, pertenece al Objetivo 3 del Eje Económico denominado “Fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícola, industrial, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de la economía circular” (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

El proyecto de investigación tiene relación con la línea de investigación de “Sistemas Agropecuarios Sostenibles Para la Soberanía Alimentaria” de la Universidad Nacional de Loja; y se encuentra vinculado a la Sublínea 3 de Investigación de la Carrera de Agronomía, denominada “Las tecnologías para la producción y posproducción agrícola sostenible”. Además, este trabajo es parte del 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”, código: 05-DI-FARNR-2021.

El objetivo general del proyecto de investigación es:

- Evaluar el crecimiento y rendimiento de la quinua usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno.

Por su parte, se consideraron los siguientes objetivos específicos:

- Describir el crecimiento de la quinua usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno.
- Determinar el efecto de *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno sobre el rendimiento de la quinua.

4. Marco teórico

4.1. Cultivo de quinua

4.1.1. Importancia cultural y producción

La quinua es originaria de la región de Suramérica (García & Plazas, 2018), cultivada desde los años 2000 a.C, de manera principal en Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia, caracterizada por las comunidades ancestrales como símbolo de cultura, religiosidad y abundancia (Andrews, 2017). Por muchos años ha sido un eslabón en el fortalecimiento de la agricultura familiar y campesina, ya que aporta a la seguridad, soberanía y autonomía alimentaria de los territorios (García & Plazas, 2018).

Se tienen datos de que Ecuador tiene una producción de 1,296 toneladas mientras que otros datos señalan que Perú y Bolivia presentan conjuntamente al mercado unas 80 mil toneladas (Vargas et al., 2019). Las zonas de producción de quinua en Ecuador se encuentran en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, con un rendimiento promedio de 30 quintales por hectárea (Calvache & Valle, 2021). En su mayoría la quinua es sembrada por el agricultor pequeño (< 1 ha) y mediano (1 a 5 ha) en suelos con bajos contenidos de nutrientes, y comúnmente sin recibir fertilización. Esta falta de manejo adecuado de la fertilidad de los suelos y la nutrición del cultivo se constituye en uno de los factores críticos para los bajos rendimientos observados, considerando que se reportan respuestas significativas en el rendimiento del cultivo frente a la fertilización nitrogenada, fosforada y potásica en suelos con deficiencias de estos nutrientes (Alvarado & Cartagena, 2017).

4.1.2. Taxonomía

La clasificación taxonómica de la quinua se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la Quinua según Apaza (2014).

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Amaranthaceae
Subfamilia:	Chenopodioideae
Tribu:	Chenopodieae
Género:	<i>Chenopodium</i>
Especie:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

4.1.3. Fenología

Se describen las etapas fenológicas (Tabla 2), con una escala estandarizada para la quinua, basada en el sistema de codificación de la BBCH descrita por Sosa et al., (2017).

Tabla 2. *Etapas fenológicas de la escala BBCH en quinua según Sosa et al. (2017).*

<i>Etapas Fenológicas</i>	<i>Características</i>	<i>Inicio (Días después de la Siembra DDS)</i>
0. Germinación	Hinchado de semilla y germinado	3 – 5
V1. Fase cotiledonar	Emergencia de la planta sobre el suelo.	3 - 10
V2. 2 hojas verdaderas	Inicio del periodo vegetativo; se presenta un rápido desarrollo radicular	10– 20
V3. 5 hojas alternas	Estado vegetativo temprano; sensible a la competencia con malezas.	35– 45
V4.13 hojas alternas	Se presenta importante ramificación	45- 50
V5. Pre-floración (desarrollo el botón floral)	Pueden distinguirse inflorescencias laxas o glomeruladas.	55– 70
V6. Floración	Inicia la floración en la parte superior de la inflorescencia y continúa hasta la base. Etapa sensible al granizo, sequía, helada y enfermedades.	90– 130 (50% de flores)
V7. Inicio de llenado de grano(pastoso)	Los granos están todavía suaves y húmedos (50% humedad); etapa sensible al granizo, sequía, heladas y enfermedades.	100– 130
V8. Llenado de granopastoso	El color específico de la variedad se desarrolla y los granos están más secos(25% humedad).	130– 160
V9. Madurez fisiológica	Se observan granos duros y secos (15% humedad).	130– 180

4.1.4. Condiciones edafoclimáticas

a. Altitud y suelo.

La quinua puede cultivarse desde los 500 m.s.n.m hasta los 3.500 m.s.n.m (Gómez & Aguilar, 2016).

La quinua puede crecer en un rango amplio de diferentes tipos de suelos, siendo los más óptimos los de buen drenaje o francos, semi profundo, y con un alto contenido de materia orgánica. Se debe evitar suelos con problemas de anegamiento o inundación porque dificultan el establecimiento inicial del cultivo y luego a lo largo del ciclo

propician la podredumbre radicular. Otro factor que influye muy fuertemente es el pH, la quinua prospera muy bien en un rango de pH de 5,5 a 7,8 (Gómez & Aguilar, 2016).

b. Humedad.

La humedad relativa apta para la quinua varía dependiendo la variedad a cultivar, donde de manera general se puede desarrollarse desde 40 % a 100 % (Mujica, 2001).

c. Temperatura.

Las temperaturas óptimas de crecimiento y desarrollo, dependiendo de las variedades, están en el rango de 15 °C a 25°C. Puede tolerar las heladas y temperaturas altas durante las fases de desarrollo vegetativo, al igual que puede controlar la formación o no formación de la inflorescencia, esto lo puede realizar desde la floración hasta el estado de grano (Gómez & Aguilar, 2016).

d. Precipitación.

La quinua se cultiva dentro de un rango de precipitación de 300 mm a 1000 mm. Se considera que el rango de precipitación óptima es de 500 mm a 800 mm (Gómez & Aguilar, 2016).

4.1.5. Requerimientos nutricionales

La quinua es una planta exigente en nutrientes, necesita sobre todo macroelementos como el oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. También necesita pequeñas cantidades de microelementos como hierro, boro, zinc, cobre, sodio, molibdeno, cloro, cobalto y sílice (Gómez & Aguilar, 2016), por ello requiere un buen abono y fertilización. Las dosis a utilizar dependerán de la riqueza y contenido de nutrientes de los suelos donde se instalará la quinua, de la rotación utilizada y también del nivel de producción que se desea obtener (Aracena & Bitancor, 2018).

La falta de incentivos, conocimiento, y formulación de programas agroecológicos, entre otros factores, han llevado a la comunidad a un mal manejo de la fertilización química; estos aspectos están causando daño ambiental e importantes pérdidas económicas (Gutierrez et al., 2018).

4.1.6. Importancia del nitrógeno en el crecimiento y rendimiento

El nitrógeno es un elemento importante para la quinua, debido a que incrementa el crecimiento vegetativo y la capacidad fotosintética de la planta; es decir, determina el número de hojas, el número de semillas por inflorescencia y por lo tanto determina el potencial de rendimiento. Una importante cantidad del nitrógeno absorbido por la planta llega a los granos a la madurez y contribuye a la cantidad de proteína (Gómez & Aguilar, 2016).

La quinua requiere un importante aporte de nitrógeno para incrementar el rendimiento y calidad del grano (Kakabouki et al., 2018). Es así, que el nitrógeno es un elemento limitante para los cultivos, ya que su nivel de disponibilidad es bajo, y ante el insuficiente nitrógeno disponible, habrá cantidades mínimas de clorofila, disminuyendo crecimiento, rendimiento y producción de cultivos (Ariza et al., 2020).

4.2. Fertilización

4.2.1. Fertilización química

Los fertilizantes químicos son productos de origen inorgánico, que contienen, por los menos, un elemento químico que la planta necesita para su ciclo de vida. La urea es el fertilizante nitrogenado sólido, de origen químico, con mayor concentración de nitrógeno, 46 % (Aracena & Bitancor, 2018). En sí, se tienen las siguientes fuentes de fertilizantes químicos, que generalmente se aplican a los cultivos convencionales de quinua:

a. Fuente nitrogenada.

- Urea, con 46 % de nitrógeno.
- Fosfato diamónico, que tiene aproximadamente 18 % de nitrógeno.
- Nitrato de calcio, que provee 15,5 % de nitrógeno y 26,5 % de calcio.

b. Fuente de fósforo.

- Fosfato diamónico, que proporcionará 46 % de fósforo.
- Fosfato simple de calcio, que tiene 24 % de fósforo y 8,5 % de calcio.
- Fosfato triple de calcio, con 46 % de fósforo y 10 % de calcio.

c. Fuente de potasio.

- Sulfato de potasio, con 50 % de potasio y 18 % de azufre.
- Nitrato de potasio, con 13 % de nitrógeno y 44 % de potasio (Gómez & Aguilar, 2016).

4.2.2. Biofertilización

Una opción agroecológica para la nutrición de los cultivos es la incorporación de biofertilizantes, elaborados a base de microorganismos como hongos y bacterias, útiles para el crecimiento, protección fitosanitaria, rendimiento y mejoramiento de la fertilidad del suelo, propuestos como alternativa la reducción de fertilizantes químicos sintéticos en los cultivos, mediante una combinación con biofertilizantes para optimizar la eficiencia de uso de nutrientes contenidos en los fertilizantes químicos sintéticos y el suelo (Castañeda et al., 2021).

Para mejorar la disponibilidad del nitrógeno, se emplean microorganismos fijadores de nitrógeno, dentro de los que se distinguen dos grupos: los microorganismos “simbióticos” y los de tipo “asimbiótico”. Los “simbióticos” fijan nitrógeno en asociación con plantas, estos microorganismos llamados rizobios colonizan y forman nódulos en las raíces de las plantas, donde el nitrógeno gaseoso se reduce a amonio. Por otra parte, los microorganismos de tipo “asimbióticos” (o de vida libre) proporcionan al medio compuestos nitrogenados como amonio, aprovechados por los vegetales (Ariza et al., 2020).

4.2.3. Bacterias como biofertilizantes

Los mecanismos directos ocurren cuando las bacterias sintetizan metabolitos que facilitan a las plantas, o bien cuando estas incrementan la disponibilidad de diferentes elementos nutritivos, requeridos para su metabolismo y para mejorar su proceso de nutrición (Moreno et al., 2018).

Entre los mecanismos directos destacan: la fijación de nitrógeno; la síntesis de fitohormonas, vitaminas y enzimas, la solubilización de fósforo inorgánico y la mineralización de fosfato orgánico, la oxidación de sulfuros, el incremento en la permeabilidad de la raíz, la producción de nitritos, la acumulación de nitratos, la reducción de la toxicidad por metales pesados y de la actividad de la enzima ACC desaminasa, la secreción de sideróforos, la reducción de los niveles de etileno en los suelos, y el incremento de la permeabilidad de las raíces (Moreno et al., 2018).

4.2.4. Bacterias fijadoras de nitrógeno

Las bacterias fijadoras de nitrógeno son componentes muy importantes del suelo, para desarrollar su fertilidad y aumentar el contenido del nitrógeno en las condiciones medioambientales adecuados. Las bacterias fijadoras de nitrógeno producen enzimas que toman el nitrógeno en su forma gaseosa de la atmósfera y con los azúcares que obtienen

de la planta, fijan el nitrógeno dentro de la biomasa bacteriana; si las bacterias satisfacen sus necesidades de nitrógeno pasan a la planta y tienen la capacidad de absorber niveles elevados de proteína en las plantas (Santana et al., 2017).

Algunas bacterias que contribuyen a la fijación de nitrógeno, al incremento de la toma de nutrientes, a la síntesis y fijación de fitohormonas, pueden estar vinculadas con el desarrollo vegetal y se les considera en el grupo de bacterias promotoras de crecimiento (Medina et al., 2019).

4.2.5. *Methylobacterium symbioticum* como fijadora de nitrógeno

Methylobacterium symbioticum es una especie de bacteria fijadora de nitrógeno única. A diferencia de otras especies ya conocidas es endófito, es decir, vive dentro de la planta. Su hábitat preferido es la hoja, en concreto en el interior de las células fotosintéticas, en las zonas más próximas al cloroplasto donde se alimenta principalmente de metanol, un producto de desecho de la fotosíntesis. Esta característica le confiere una ventaja competitiva respecto a sus colegas que habitan en el suelo puesto que *Methylobacterium symbioticum* desarrolla su actividad en un ambiente de baja competencia sin apenas gasto energético para la planta (BlueN, 2021).

Aplicada de manera foliar, *Methylobacterium symbioticum* se introduce en la planta a través de las estomas de las hojas y penetra hasta el interior de las células fotosintéticas, situándose en las zonas más próximas al cloroplasto. Esta característica única permite a *Methylobacterium symbioticum*:

- Colonizar eficazmente la planta: Coloniza la planta estableciéndose en un ambiente de baja competencia y resguardado frente a amenazas externas.
- Intensificar la fotosíntesis: Capaz de intensificar la fotosíntesis gracias a unas vesículas llamadas cromóforos 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 (BlueN, 2021).

Methylobacterium symbioticum captura el nitrógeno (N_2) del aire y lo convierte en amonio (NH_4^+) mediante el complejo nitrogenasa, por el cual se consigue separar los dos átomos de N_2 y reducirlo de manera constante en NH_4^+ . El amonio reducido se metaboliza ya directamente en la planta en forma del aminoácido glutamina gracias a la acción de las

enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintasa (GS/GOGAT). 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 (BlueN, 2021).

4.3. Antecedentes

No se encontraron investigaciones ni información de la aplicación de *Methylobacterium symbioticum* en quinua, pero sí sobre la utilización de otros microorganismos. Cabe recalcar que sí hay trabajos de investigación en la que se aplica la bacteria, pero es empleada en otros cultivos.

Según Choque (2017), el abonamiento con estiércol descompuesto más la inoculación de las cepas fijadoras de nitrógeno el cultivo de quinua en La Paz – Bolivia, dieron lugar a mejores resultados en variables agronómicas como: altura de planta, altura de panoja, diámetro de panoja y aumentaron significativamente el rendimiento.

En la investigación realizada en Perú por León et al. (2021), se obtuvo un mayor rendimiento de quinua con el empleo del producto comercial Microorganismos Eficaces, seguido por el tratamiento con la aplicación de *Trichoderma sp*, mientras que el menor rendimiento se registró con el tratamiento testigo.

León et al. (2019), en su trabajo realizado en Cochabamba – Bolivia, obtuvo un crecimiento y rendimiento significativamente superior en las plantas de quinua con las bacterias nativas del género *Bacillus*, en comparación al producto comercial TRICOBAL.

Equiza (2021), en su trabajo de investigación realizada en España aplicando *Methylobacterium simbioticum*, no observo ningún efecto positivo en plantas de borraja y acelga, frente al tratamiento testigo.

Marchetti (2022), en su investigación realizada en Bragança – Portugal aplicando *Methylobacterium simbioticum* al cultivo de lechuga, obtuvo mayores resultados en cuanto a: materia seca, área foliar y lecturas spad, frente a la fertilización nitrogenada (Nitrato 27) y el tratamiento testigo.

5. Metodología

5.1. Localización del estudio

El presente proyecto se realizó en la Quinta Experimental Docente La Argelia (QEDA) de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en el barrio la Argelia, parroquia Punzara, cantón Loja de la provincia de Loja, con coordenadas geográficas 4°02'19,2"S, 79°12'006"W, y a una altitud de 2 150 msnm (Figura 1), la temperatura promedio es de 18 °C, la precipitación anual es de 1 058 mm y posee un suelo franco limoso con pH de 4,5 a 6 (Villavicencio, 2021).

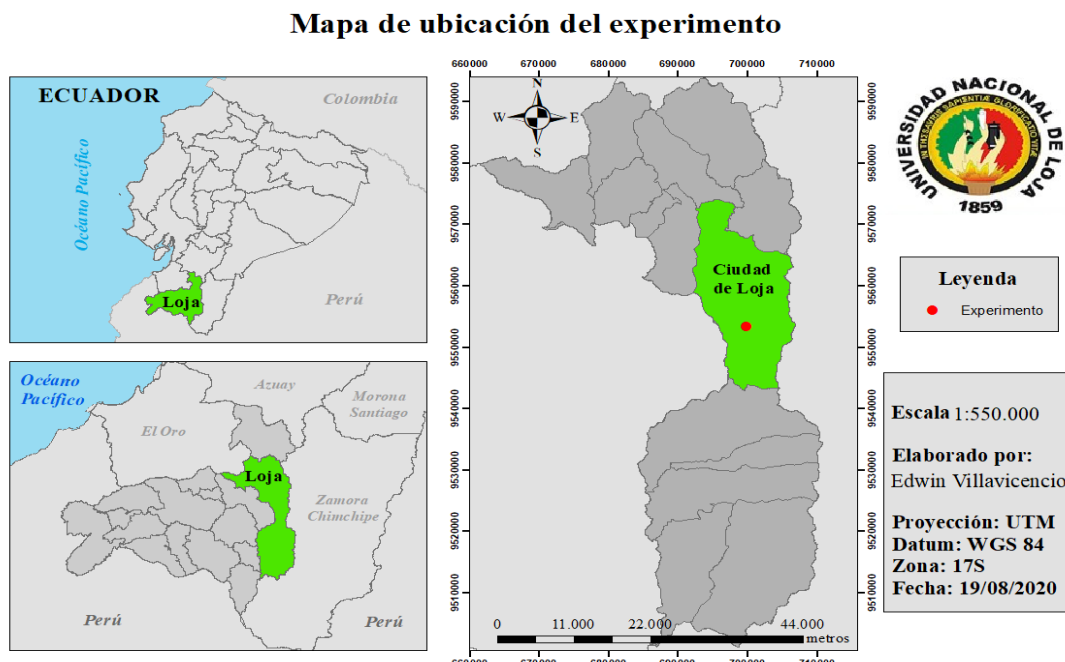


Fig. 1. Ubicación de la investigación del uso de *Methylobacterium symbioticum* en el cultivo de quinua (Villavicencio, 2021).

5.2. Metodología general

5.2.1. Tipo de investigación y alcance

El tipo de investigación fue experimental debido a que se implementó un diseño experimental, con tratamientos y variables a medir. Además, fue de tipo cuantitativa debido a que las mediciones realizadas arrojaron datos numéricos que fueron analizados mediante métodos estadísticos. Tuvo un alcance explicativo-causal, puesto que se describió la respuesta de cada una de las variables de los tratamientos de manera univariada.

5.2.2. Diseño experimental

Se usó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo unifactorial, con 5 tratamientos y 3 repeticiones con un total de 15 parcelas. Los tratamientos incluyeron un testigo, la aplicación de *Methylobacterium* $3 * 10^7$ UFC/g en 1 y 2 momentos, la aplicación de nitrógeno ureico (N) en 2 momentos y la aplicación combinada de nitrógeno + *Methylobacterium* en 2 momentos (Tabla 3).

La aplicación de la urea se la realizó al voleo, mientras que para el caso de *Methylobacterium* se usó el fertilizante comercial Blue N® fabricado por la empresa Symborg (Anexo 9), que contiene $3 * 10^7$ UFC/g de *Methylobacterium* en una dosis de 70 g ha^{-1} , la aplicación se realizó de manera foliar (Anexo 4) y en las primeras horas de la mañana cuando los estomas estaban completamente abiertos, de manera que penetrara en las hojas de la planta a través de ellos hacia las hojas y se instalaran principalmente en las células fotosintéticas.

Tabla 3. Tratamientos con el factor fertilización y momento de aplicación de la investigación del uso de *Methylobacterium symbioticum* en el cultivo de quinua.

Tratamientos	Momento de aplicación	Repeticiones
1	Testigo	3
2	N corregido (V4, V6)	3
3	<i>Methylobacterium</i> en 1 momentos (V4)	3
4	<i>Methylobacterium</i> en 2 momentos (V4, V6,)	3
5	Mitad de N corregido + <i>Methylobacterium</i> en 2 momentos (V4, V6)	3

Las parcelas experimentales tuvieron un área de 4 m^2 ($2 \text{ m} * 2 \text{ m}$) con una distancia de separación entre parcelas de 1 m. (Anexo 1). En total el área experimental fue de 112 m^2 , como se lo muestra en la Figura 2:

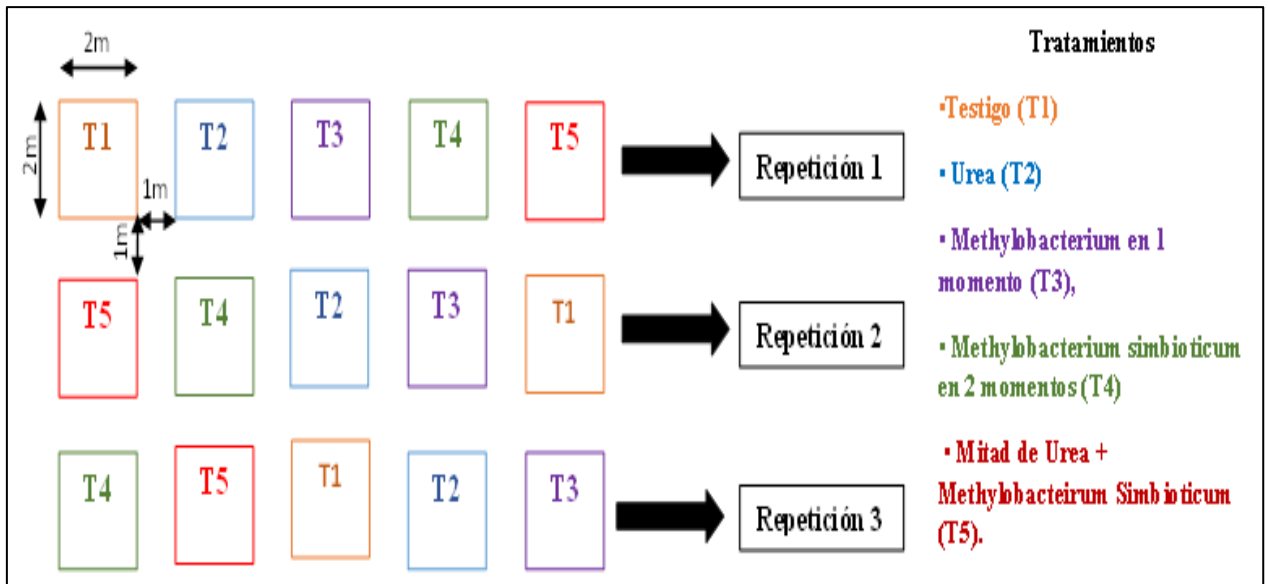


Fig. 2. Esquema del DCA de la investigación del uso de *Methylobacterium symbioticum* en el cultivo de quinua

5.2.3. Modelo matemático

Se utilizó el siguiente modelo matemático:

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

En donde:

- i , es el número de tratamientos.
- j , es el número de repeticiones.
- Y_{ij} , es la j -ésima observación del i -ésimo tratamiento.
- μ , es la media general común a todos los tratamientos.
- τ_i , es el efecto fijo del tratamiento i .
- ϵ_{ij} , es una variable aleatoria normal (error) independientemente distribuida con esperanza 0 y varianza σ^2 , que representa la variabilidad

5.2.4. Manejo del cultivo

En el terrero se realizó un análisis de suelo para realizar la respectiva corrección de macro y micronutrientes, se tomaron 4 submuestras en zigzag a una profundidad aproximada de 0.2 a 0.3 m, se mezclaron todas para posteriormente utilizar 1 kg para su análisis químico en el laboratorio.

La corrección de nutrientes del suelo se realizó con base en la necesidad del cultivo según Sosa et al. (2017), debido a que la quinua necesita gran cantidad de N, el cual es uno de los elementos de mayor importancia para poder realizar su producción. Además,

según el análisis de suelo, el mismo se encontró en muy bajas cantidades de N. Dado que el N se volatiliza, por lo cual para el T2 se realizaron dos aplicaciones de 30 g/parcela, y para el T5 dos aplicaciones de 15 g/parcela, esto a los 60 dds (días después de la siembra) durante el desarrollo de partes vegetativas cosechables (etapa 4) y en la fase de antesis (etapa 6), esto según las etapas fenológicas de la escala BBCH descritos por Sosa et al. (2017), para que no carezca del mismo. La fórmula utilizada para determinar la dosis de N fue:

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

Para preparar el terreno se usó el arado y la rastra, posteriormente se procedió a delimitar las unidades experimentales. La siembra se la realizó a chorro, en hileras, con la variedad INIAP Tunkahuan. Se realizó la aplicación del producto químico HELCORE (Anexo 8) cuyo ingrediente activo es el Difenconazole para combatir la enfermedad fungosa provocada por el mildiú (*Peronospora variabilis*). En cuanto al riego, se lo realizó cuando existió escasez de lluvias (Anexo 2), mediante aspersión. El control de malezas se lo hizo de manera manual cuando se lo requería.

5.3. Metodología para el primer objetivo específico. “Describir el crecimiento de la quinua usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno”

Para las variables altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas y número de ramas, la toma de datos se realizó a partir de la etapa 4 de la escala BBCH del cultivo de quinua establecida por Sosa et al. (2017), para su medición se tomaron las mismas plantas que fueron 5 de las hileras centrales de cada unidad experimental, con una frecuencia de 15 días, llegando con estas mismas plantas hasta la etapa de cosecha, para determinar los indicadores de rendimiento.

Por otro lado, para las variables índice SPAD, y biomasa aérea, se tomaron las mismas plantas que fueron 2 de los surcos centrales, se evaluaron en cuatro momentos durante la fenología del cultivo: 60 dds durante el desarrollo de partes vegetativas cosechables (etapa 4) que fue cuando se aplicaron los tratamientos, el segundo durante la aparición de inflorescencias (etapa 5), el tercero en las fases de antesis (etapa 6) y finalmente durante la madurez filológica (etapa 8), esto según las etapas fenológicas de la escala BBCH descritos por Sosa et al. (2017).

- *Altura de la planta*

Se tomó la longitud del tallo en cm, tomando como referencia desde el cuello de la planta hasta el ápice terminal.

- ***Diámetro del tallo***

Se midió el diámetro del tallo en mm, utilizando un calibrador Vernier. Se midió a una altura de 5 cm del nivel del suelo.

- ***Número de hojas***

Mediante observación directa se contó el número de hojas por planta.

- ***Número de ramas***

Mediante la manipulación directa se contaron las ramas de las plantas.

- ***Cobertura del área foliar***

Se estimó la cobertura del área foliar del cultivo tomando fotografías con un teléfono inteligente con la aplicación llamada CANOPEO, la misma que dio el dato en forma de porcentaje, esto se realizó a cada unidad experimental con una frecuencia de 15 días.

- ***Índice SPAD***

Se seleccionaron 5 hojas totalmente expandidas en el tercio medio superior de la planta, a las cuales se les realizaron 3 mediciones (evitando el contacto con su nervadura) y se sacó un promedio con el clorofilómetro SPAD Minolta-502.

- ***Índice de área foliar (IAF)***

Se seleccionaron 5 hojas totalmente expandidas en el tercio medio superior de la planta y en el laboratorio en donde se registró el área foliar de todas plantas muestreadas con el medidor de Área Foliar CI-202 (Anexo 6), a partir de las áreas determinadas se realizó un promedio y se consideró la distancia entre hileras y plantas como superficie. Esto se realizó en la etapa 8 del cultivo, según las etapas fenológicas de la escala BBCH descritos por Sosa et al. (2017).

Con los datos obtenidos del área foliar, además de considerar la distancia entre hileras y plantas como superficie, se calculó el índice de área foliar (IAF):

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

5.4. Metodología para el segundo objetivo específico. “Determinar el efecto de *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno sobre el rendimiento de la quinua”

Se utilizaron las mismas plantas empleadas para las variables altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas y número de ramas. En la época de cosecha se determinaron los siguientes indicadores:

- **Número de granos por planta**

Se contó el número de granos obtenidos por planta.

- **Número de granos por m²**

Ya determinado el número de granos por planta, se multiplicó el número de granos por planta por el número de plantas por m².

- **Peso de 1000 granos**

Se determinó eligiendo al azar una muestra representativa de 100 granos del total de granos cosechados en las plantas, se llevaron las muestras a horno a 65 °C por tres días, luego se los pesó llevándolos a la balanza digital. Posteriormente se aplicó una regla de 3 para calcular el peso de 1 000 granos, en relación con los 100 granos ya pesados.

- **Rendimiento (R)**

Ya obtenidos los componentes del rendimiento de la quinua, se determinó el rendimiento aplicando la siguiente fórmula:

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

Donde:

- R= rendimiento
- NG m⁻²= número de granos por metro cuadrado
- PG= peso de grano

- **Índice de cosecha**

El índice de cosecha se determinó mediante la relación rendimiento del grano y peso total de la planta (biomasa aérea total), por ende, se aplicó la siguiente fórmula:

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

5.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa INFOSTAT versión libre, los cuales fueron sometidos a un análisis de varianza (ANAVA) unifactorial en función de los tratamientos y comparaciones múltiples. Primeramente, se comprobaron los supuestos, después se utilizó el test de Tukey con un nivel de significancia del 5%, en donde se determinó el grado estadístico de significancia de las variables.

6. Resultados

6.1. Variables de Crecimiento

- *Altura de la planta*

En la variable altura de la planta (cm) se encontró diferencias estadísticamente significativas a los 84 DDS (p -valor de 0,0267), en donde la mayor media la presenta *Methylobacterium simbioticum* aplicados en 2 momentos (*M.s 2*). De igual manera, a los 99 y 129 DDS se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos (p valor de 0,0028 y 0,0164 respectivamente), donde los tratamientos Urea y Urea+*M.s* presentan las mayores medias (Figura 3).

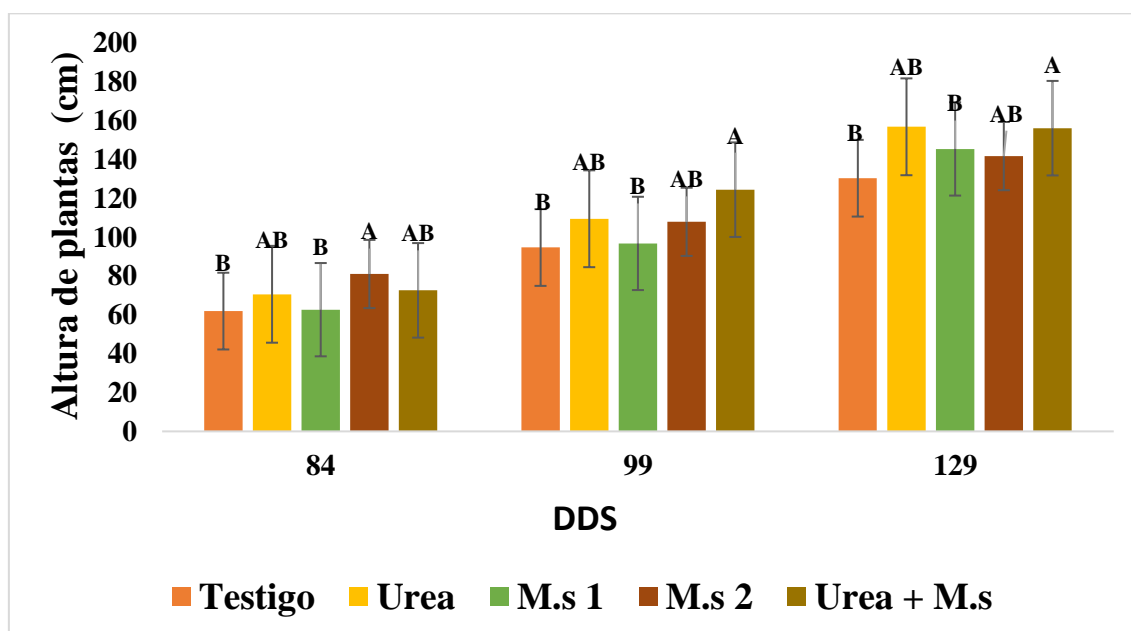


Fig. 3. Altura de plantas(cm) las plantas de quinua bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium simbioticum* en 1 momento (*M.s 1*), *Methylobacterium simbioticum* en 2 momentos (*M.s 2*) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Simbioticum* en 2 momentos (Urea + Ms), durante diferentes días después de la siembra (DDS). Líneas sobre las barras indican el error estándar medio. Letras diferentes en cada tiempo indican diferencias estadísticas con $p < 0,05$.

- *Diámetro del tallo*

En el diámetro del tallo (mm) se encontraron diferencias estadísticamente significativas a partir de los 114 DDS (p -valor de 0,0111), siendo los tratamientos Urea y Urea+*M.s* quienes tienen una mayor media. A los 129 DDS también se tienen diferencias estadísticamente significativas (p -valor de 0,0224), el tratamiento con urea

tiene mayor media de diámetro de tallo (Figura 4).

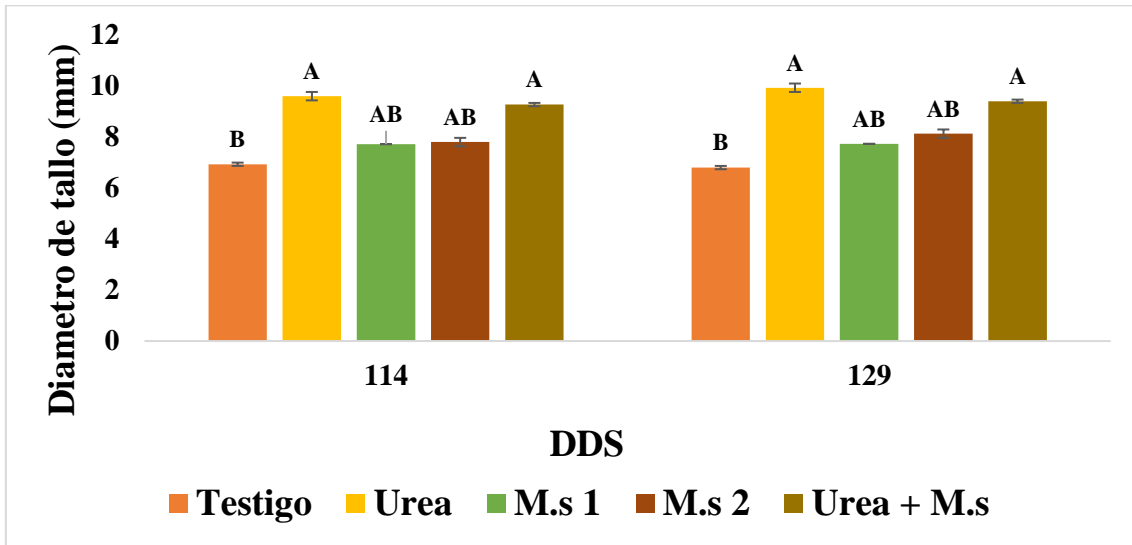


Fig. 4. Diámetro del tallo (mm) de las plantas de quinua bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, Methylobacterium simbioticum en 1 momento (M.s 1), Methylobacterium simbioticum en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + Methylobacterium Simbioticum en 2 momentos (Urea + M.s), durante los 114 y 129 días después de la siembra (DDS). Líneas sobre las barras indican el error estándar medio. Letras diferentes en cada tiempo indican diferencias estadísticas con $p < 0,05$.

- *Número de hojas*

Existieron diferencias estadísticamente significativas a los 129 DDS (p -valor de 0,0439) entre los tratamientos, en donde la mayor media la presentó el tratamiento Urea+M.s con 849 hojas por plantas (Figura 5).

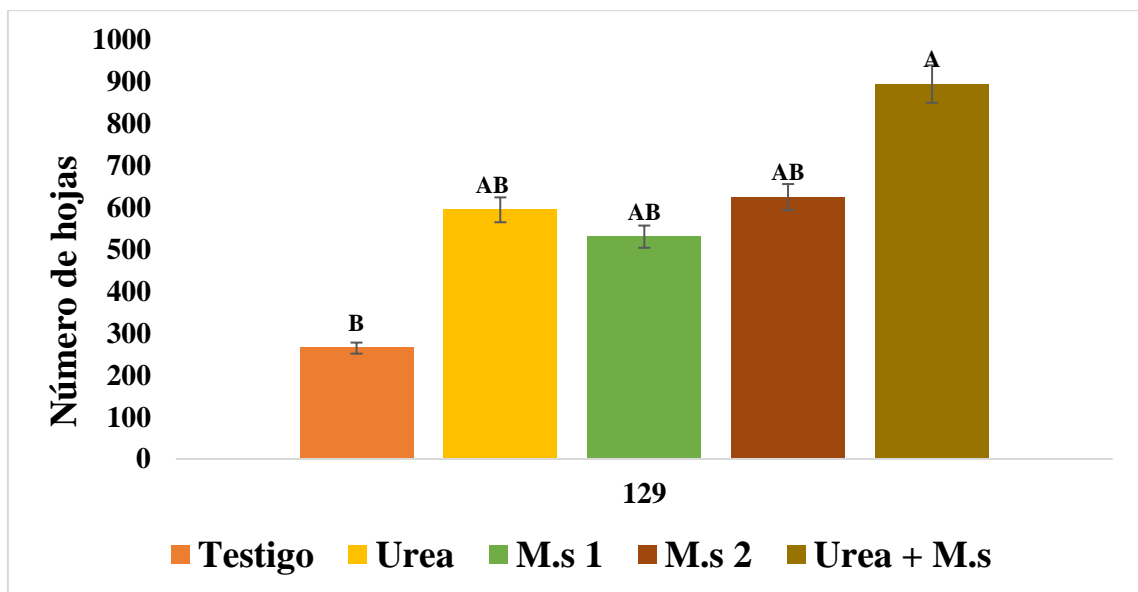


Fig. 5. Número de hojas de las plantas de quinua bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, Methylobacterium simbioticum en 1 momento (M.s 1), Methylobacterium simbioticum en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + Methylobacterium Simbioticum

en 2 momentos (Urea + M.s), durante los 129 días después de la siembra (DDS). Letras diferentes en cada tiempo indican diferencias estadísticas con $p < 0,05$.

- *Número de ramas*

En el número de ramas no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos durante todo ciclo del cultivo (Figura 6). Al final del ensayo el número de ramas por planta varió entre 34,2 y 40,8.

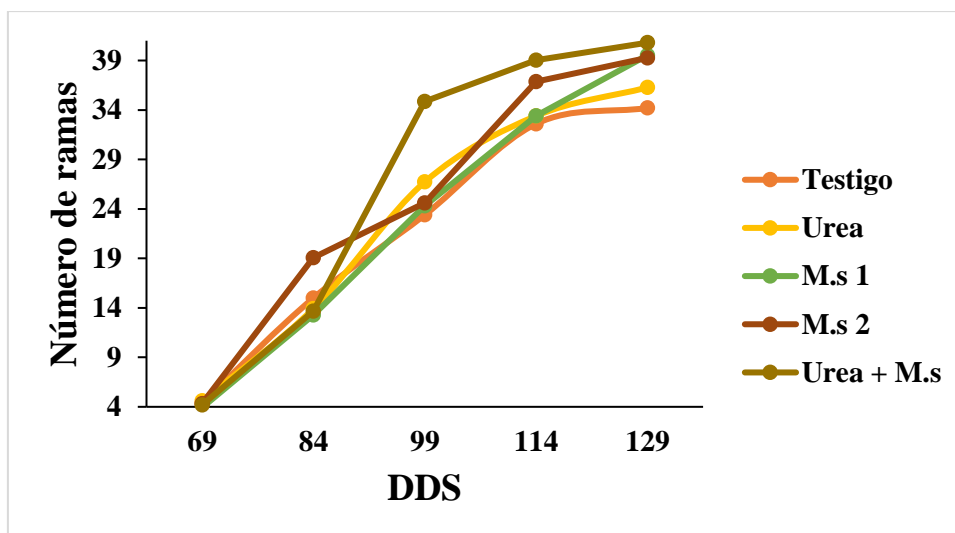


Fig. 6. Número de ramas de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium symbioticum* en dos momentos (Urea + Ms.), durante los 129 días después de la siembra (DDS).

- *Cobertura del área foliar*

En la cobertura foliar realizada con CANOPEO, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Figura 7) entre los tratamientos. Al final del ensayo la cobertura del área foliar fue de promedio 72,4 %.

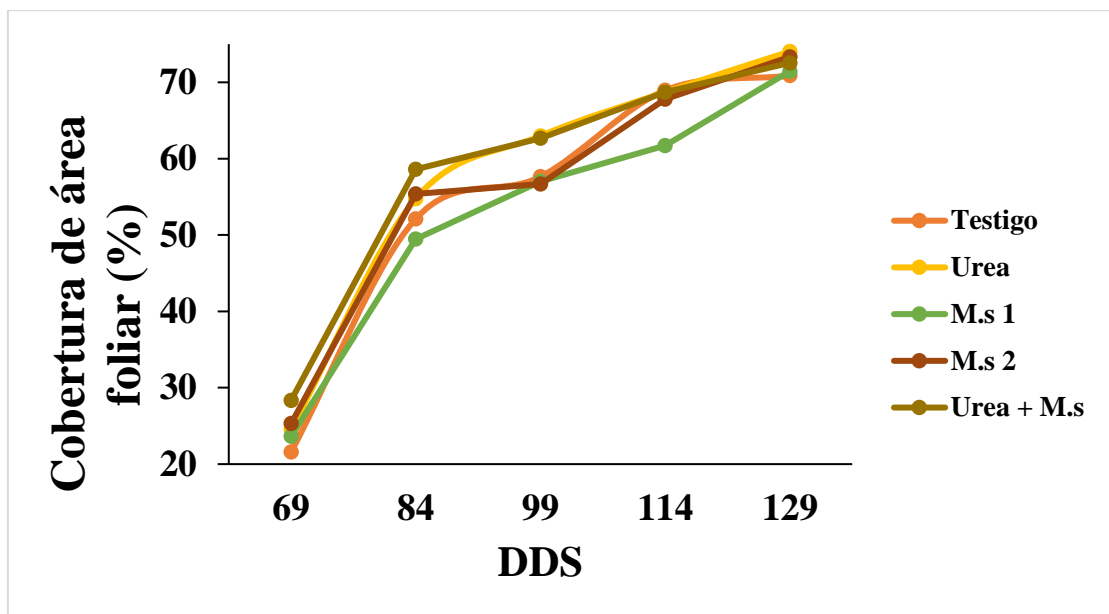


Fig. 7. Cobertura de Área Foliar de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, Methylobacterium simbioticum en 1 momento (M.s 1), Methylobacterium simbioticum en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + Methylobacterium Simbioticum (Urea + M.s 2), a los 69, 84, 99, 114 y 129 días después de la siembra (DDS).

- **Índice SPAD**

En cuanto al índice SPAD (Figura 8), se observaron diferencias significativas solamente en la etapa 6 del cultivo (p -valor de 0,0049), siendo el tratamiento Urea+M.s 2 el que presentó una mayor media con 50 unidades SPAD.

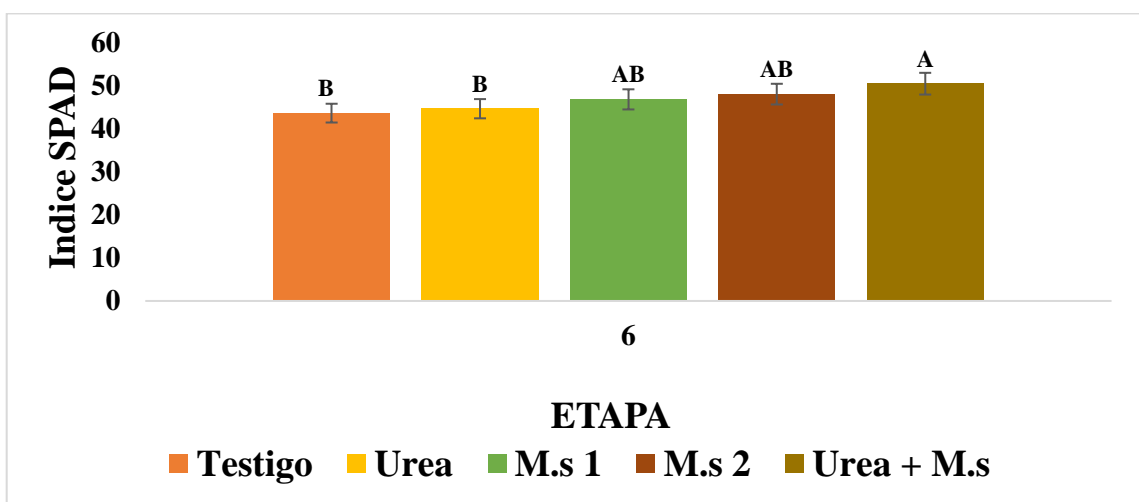


Fig. 8. Índice SPAD de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, Methylobacterium simbioticum en 1 momento (M.s 1), Methylobacterium simbioticum en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + Methylobacterium Simbioticum en dos momentos (Urea + M.s), durante la etapa 6 (fase de antesis) del cultivo de quinua según

la escala BBCH de Sosa et al. (2017). Letras diferentes en cada tiempo indican diferencias estadísticas con $p < 0,05$.

- **Índice de Área Foliar (IAF)**

En el IAF realizado en la etapa 8 del cultivo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de Área Foliar (IAF) de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* (Urea + M.s), en la etapa 8 del cultivo de quinua según la escala BBCH de Sosa et al. (2017).

Tratamiento	Media	Error estándar medio
M.s 1	0.04	0.01
M.s 2	0.04	0.01
Urea + M.s	0.04	0.01
Urea	0.03	0.01
Testigo	0.03	0.01

6.2. Variables de Rendimiento

- **Número de granos por planta**

En la variable de número de granos por planta no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Tabla 5).

Tabla 5. Número de granos por planta bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* (Urea + M.s), en la cosecha..

Tratamiento	Media	Error estándar medio
Urea	14133.68	1233.82
M.s 1	11471.56	1233.82
M.s 2	10428.74	1233.82
Urea + M.s	10402.52	1233.82
Testigo	8438.03	1233.82

- **Número de granos por m²**

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la variable de número

de granos por m² entre los tratamientos (Tabla 6).

Tabla 6. Número de granos por m² de las plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* (Urea + M.s), en la cosecha.

Tratamiento	Media	Error estándar medio
Urea	282673.58	24676.36
M.s 1	229431.23	24676.36
M.s 2	208574.71	24676.36
Urea + M.s	208050.38	24676.36
Testigo	168760.49	24676.36

- **Peso de 1000 granos**

En cuanto al peso de 1000 granos (Figura 9), se tiene diferencias estadísticamente significativas (p-valor de 0,0498), siendo el tratamiento Urea+M.s (3,23g) el que presentó la mayor media (2,7g).

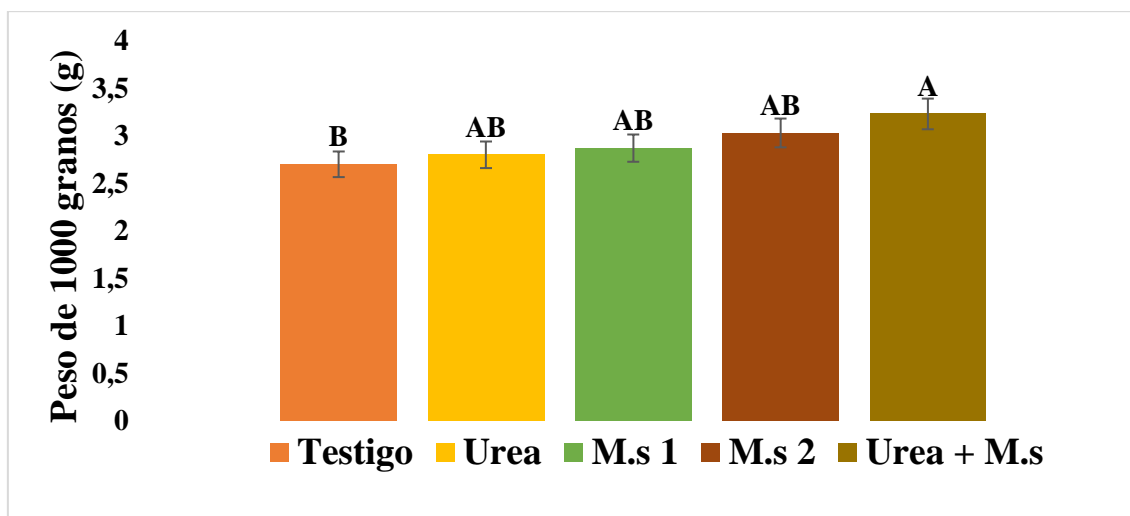


Fig. 9. Peso de 1000 granos de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* en dos momentos (Urea + M.s), en la cosecha.

- **Rendimiento (R)**

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la variable rendimiento de las plantas (Tabla 7).

Tabla 7. Rendimiento de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* en dos momentos (Urea + M.s), en la cosecha. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$).

Tratamiento	Media (g/m ²)	Error estándar medio
Urea	788.8	69.42
Urea + M.s	675	69.42
M.s 1	653.57	69.42
M.s 2	625.35	69.42
Testigo	455.65	69.42

- **Índice de cosecha**

En el índice de cosecha no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Tabla 8).

Tabla 8. Índice de cosecha de plantas bajo los tratamientos Testigo, Urea en 2 momentos, *Methylobacterium symbioticum* en 1 momento (M.s 1), *Methylobacterium symbioticum* en 2 momentos (M.s 2) y Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* en dos momentos (Urea + M.s), en la cosecha.

Tratamiento	Media (g)	Error estándar medio
M.s 1	0.32	3.88
M.s 2	0.31	3.88
Urea	0.31	3.88
Urea + M.s	0.28	3.88
Testigo	0.26	3.88

7. Discusión

En este estudio se evaluó la influencia de la bacteria nitrificadora *Methylobacterium symbioticum* en el crecimiento y rendimiento de la quinua. Se observó un efecto significativo de la aplicación de *Methylobacterium symbioticum* en el cultivo de quinua, en las variables: altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas, índice SPAD y peso de 1000 granos. Sin embargo, el número de ramas por planta, cobertura del área foliar, índice de área foliar, número de granos por planta, número de granos por m², rendimiento e índice de cosecha no fueron afectados por la aplicación de esta bacteria.

Según Van Dommelent (2003), las bacterias como *Azospirillum* influyen positivamente en el crecimiento de las plantas, el rendimiento de los cultivos y el contenido de N de la planta, este efecto estimulante de las plantas se ha atribuido a la fijación biológica de N₂.

Al igual que otras especies de bacterias como: *P. polymyxa*, *P. macerans*, *P. durus* (sinónimos: *Paenibacillus azotofixans*, *Bacillus azotofixans*, *Clostridium durum*), *P. peoriae*, *P. borealis*, *P. brasilensis*, *P. graminis* y *P. odorifer*, se consideran importantes para la agricultura ya que influyen directamente en el crecimiento (Coelho et al., 2003).

En la variable de altura de las plantas se tuvo una mayor media (156.11 cm) con la aplicación combinada de Mitad de Urea + *Methylobacterium Symbioticum* (Urea + Ms.), resultado que es superior a los demás tratamientos. Estos resultados difieren de los resultados obtenidos por Alcón (2018), pues en su investigación realizada en Bolivia en el cultivo de quinua en un suelo franco arenoso, obtuvo una mayor altura de planta (100,96 cm) con el tratamiento de Urea frente al tratamiento orgánico (estiércol de *Ovis aries*). Además, manifiesta que el tener mejores resultados en el cultivo de quinua con la urea, es debido a que la misma es rica en nitrógeno y es de fácil solubilidad para la planta aun en condiciones de baja humedad, mientras que la materia orgánica y la actividad microbiana necesita una humedad adecuada en el suelo para que la planta realice la asimilación de nutrientes, lo que se ve afectada tanto por sequía como por las elevadas temperaturas. La aplicación de microorganismos parece influir de manera positiva sobre el crecimiento de la quinua. Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por León (2019), en la que al cultivo de quinua en Bolivia se le aplicaron bacterias endófitas como lo son *Bacillus pumilus* y *Paenibacillus polymyxa*, las cuales influyeron positivamente en la altura de la planta, obteniéndose la mayor altura de 104,138 cm.

En el diámetro de tallo, las mayores medias fueron de los tratamientos Urea (9.93 mm) y por el tratamiento Mitad de Urea + *Methylobacterium Simbioticum* (9.4 mm). Estos resultados son similares a los presentados por Torres et al., (2020) en Perú en el cultivo de quinua, en la cual observó que el mayor diámetro de tallo fue el tratamiento en el cual se combinó Materia Orgánica + Microorganismo (*Trichoderma harzianum*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae*) (10,5 mm). Valores que contrastan con los obtenidos por Quispe (2014), quien reportó en Bolivia en un suelo heterogéneo (suelo arcilloso, limoso y franco arenoso) un valor mínimo 2,8 mm en el tratamiento Testigo, y un máximo valor de 5,2 mm en el tratamiento que aplicó conjuntamente abonamiento orgánico y la cepa BBAP001 (*Pseudomonas*).

En cuanto al número de hojas, no se obtuvo diferencias estadísticamente significativas hasta los 129 DDS, en la cual sobresalió el tratamiento Mitad de Urea + *Methylobacterium Simbioticum* (Urea + Ms), con un promedio de 880 hojas por planta respectivamente. Estos resultados contrastan con el estudio de García et al (2017), quien obtuvo diferencias significativas ($P < 0.05$) en el número de hojas de cultivo de quinua, en donde tratamientos T2 (fertilizante químico) y T3 (fertilizante orgánico) mostraron un incremento del follaje en el día 72 alcanzando un promedio de hojas de 85,5 y 112,5 respectivamente, de manera contraria el tratamiento con menor número de hojas el T0 (testigo).

Castellanos et al. (2021), manifestaron en su trabajo que el alto índice de área foliar generada por elevadas cantidades de fertilizantes aplicadas a una planta, no necesariamente indica el obtener una mayor productividad, puesto que las plantas altas, podrían tener mayor número de hojas pero un bajo índice de cosecha. Además, enfatiza la importancia de la aplicación de fuentes nitrogenadas pues influyen directamente en la división celular, aumentando el área foliar, ya que las hojas son órganos productores de carbono, que exportan asimilados hacia los tejidos vertederos como semillas.

En el índice SPAD, se obtuvo diferencias estadísticamente significativas en la antesis (etapa 6) del cultivo en donde el mayor promedio fue el del tratamiento Mitad de Urea + *Methylobacterium Simbioticum* (Urea + Ms.). García et al (2017), en su estudio en el cultivo de quinua presentó diferencias estadísticamente significativas en las cuatro etapas fenológicas (hojas verdaderas, ramificación, antesis y llenado de grano) de la

planta, donde fue mayor estadísticamente el T2 (fertilizante químico), debido a que el contenido de clorofila está estrechamente relacionada con la condición nutricional de la misma, principalmente cuando los contenidos de nitrógeno disponible aumentan; sin embargo, se evidencia una reducción de clorofila en la etapa de anthesis para todos los tratamientos, esto por el proceso de llenado de grano.

En el rendimiento, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, obteniendo un valor máximo con el tratamiento de Urea (78,9 kg/ha) y el valor mínimo con el tratamiento Testigo (45,6 kg/ha). Estos rendimientos fueron bajos, y contrastan con lo obtenido por Quispe (2014), quien aplicando la cepa bacteriana BBAP001 (*Pseudomona*) tuvo un rendimiento de 212,0 kg/ha, mientras que al aplicar la cepa BBAR001 (*Rhizobia*) obtuvo un rendimiento de 189,7 kg/ha. De igual manera, los resultados de este estudio contrastan con lo obtenido por Choque (2017), que en Bolivia sí obtuvo diferencias estadísticamente significativas, aplicando solamente cepas de bacterias fijadoras de nitrógeno, reportó 401,75 kg/ha. Además, con la aplicación combinada de abonamiento (estiércol de ovino) y cepas de bacterias fijadoras de nitrógeno presento el mayor rendimiento llegando a 500,18 kg/ha, mientras que el menor valor fue el del tratamiento testigo con 289,49 kg/ha.

Las bacterias al igual que otros microorganismos fijadores de N₂ son capaces de expresar la enzima nitrogenasa, siendo una oxidorreductasa que catalizan reacciones de tipo óxido-reducción, específicamente la reducción de nitrógeno molecular; y que son de especial importancia para las plantas ya que efectúan en ellas el proceso de fijación de nitrógeno convirtiéndolo en amoníaco fácilmente asimilable (Castellanos & Abril, 2007).

El nitrógeno es un elemento importante, debido a que incrementa el crecimiento vegetativo y la capacidad fotosintética de la planta, y por lo tanto determina el potencial de rendimiento (Gómez & Aguilar, 2016). En el estudio de deficiencia de N en las plantas de quinua realizado por Alfonso et al.(2017), obtuvo que la deficiencia del mismo inicia con una clorosis en las hojas viejas para luego avanzar a las hojas jóvenes, hasta que la planta presenta una clorosis general; el crecimiento de la planta se redujo, además de presentar un tallo más delgado de lo normal y el rendimiento disminuye. En este trabajo se ha observado que la aplicación de nitrógeno (urea) en interacción con bacterias fijadoras de nitrógeno, como lo es *Methylobacterium symbioticum*, pueden contribuir a una mejor

eficiencia del nitrógeno mejorando el crecimiento y las variables productivas de la quinua en Loja. Este manejo podría ser un manejo alternativo al cultivo de quinua.

8. Conclusiones

- *Methylobacterium symbioticum* tuvo efectos positivos en el crecimiento (altura, diámetro de tallo, número de hojas, índice SPAD) del cultivo de quinua, dado que la aplicación de la bacteria tiene resultados similares e incluso superiores a el tratamiento químico (urea) y al testigo. Por lo tanto, el fertilizante químico (urea) podría ser reemplazado por *Methylobacterium symbioticum* y una alternativa de uso en la producción agroecológica.
- *Methylobacterium symbioticum* no afectó significativamente el rendimiento, obteniéndose 65,13 kg/ha en promedio bajo las condiciones de Loja, sin embargo, el uso de esta bacteria afectó positivamente al peso de mil granos de quinua que fue superior al testigo.

9. Recomendaciones

- Realizar trabajos de investigación con diferentes momentos y dosis de aplicación de *Methylobacrium symbioticum*, para determinar el momento exacto a aplicar y dosis adecuada, y se aproveche de mejor manera.
- Hacer estudios de diferentes especies de microorganismos fijadores de N₂ aplicados en el cultivo de quinua, de manera que elimine el uso de fertilizantes químicos y realizarlo de una manera más saludable como lo es la agroecología.

10. Bibliografía

- Alcón, G., & Flores, A. (2018). EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES AGRONÓMICAS DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) Y CALIDAD DE GRANO CON APLICACIÓN DE NIVELES DE ESTIÉRCOL OVINO Y UREA. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5, 37-46.
- Alfonso, G., Alvarado Ochoa, S., & Cartagena, Y. (2017). Evaluación de deficiencias nutricionales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo invernadero. *Siembra*, 4(1), 93-109. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.504>
- Alvarado, S., & Cartagena, Y. (2017). Evaluación de deficiencias nutricionales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo invernadero. *Revista Siembra*, 4(1), 93-109. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.504>
- Andrews, D. (2017). Race, Status, and Biodiversity: The Social Climbing of Quinoa. *Culture, Agriculture, Food and Environment*, 39(1), 15-24. <https://doi.org/10.1111/cuag.12084>
- Apaza, J. (2014). *Caracterización y variabilidad de progenies s3 autofecundadas, procedentes de cruzas simples genéticamente distantes y cercanas, en seis cultivares de quinua (Chenopodium Quinoa Willd)* [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional - Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Aracena, G., & Bitancor, M. (2018). Evaluación de cuatro fertilizantes en la producción de quinua. *Revista INTA*, 5.
- Ariza, S., González, O., & López, J. (2020). Evaluación de fijadores biológicos de nitrógeno libres sobre el crecimiento de gramíneas en suelo degradado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 22(1), 87-97.

<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.78019>

- BlueN. (2021). La nueva forma de aportar nitrógeno a los cultivos, *Methylobacterium symbioticum*. *BlueN Technology*, 6.
- Calvache, M., & Valle, L. (2021). Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista Alfa*, 5(13), 15-28. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.95>
- Castañeda, E., Vásquez, M., Martínez, G., Robles, C., Lozano, S., & Villegas, Y. (2021). Valoración sustitutiva de biofertilizantes en el cultivo de maíz en cinco regiones del Estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8, 11.
- Choque, R. (2017). *Influencia de tres bacterias fijadoras de nitrógeno con y sin abonamiento en suelos degradados, en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en la Estación Experimental de Patacamaya* [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio institucional- Universidad Mayor de San Andrés.
- Coelho, M. R. R., von der Weid, I., Zahner, V., & Seldin, L. (2003). Characterization of nitrogen-fixing *Paenibacillus* species by polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism analysis of part of genes encoding 16S rRNA and 23S rRNA and by multilocus enzyme electrophoresis. *FEMS Microbiology Letters*, 222(2), 243-250. [https://doi.org/10.1016/S0378-1097\(03\)00300-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1097(03)00300-8)
- Equiza, I. (2021). *Optimización de nutrición nitrogenada en hortícolas de hoja crecidas en sistema de hidroponía pura NGS®: Uso de inoculantes microbianos* [Tesis Ingeniero Agrolimentario y del Medio Rural, Universidad Pública de Navarra, Repositorio institucional- Universidad Pública de Navarra]. <https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/40369/120733TFGequiza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- García, M., García, J., Melo, D., & Deaquiz, Y. (2017). RESPUESTA AGRONÓMICA DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) VARIEDAD DULCE DE SORACÁ A LA FERTILIZACIÓN EN VENTAQUEMADA-BOYACA. *Granja Victoria*, 66-77.
- García, M., & Plazas, N. (2018). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en los sistemas de producción agraria. *Revista Producción + Limpia*, 13(1), 112-119. <https://doi.org/10.22507/pml.v13n1a6>
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua* (2° Edición). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Gutierrez, J., Felipez, J., Navia, M., & Ortuño, N. (2018). Selección de bacterias fijadoras de nitrógeno en plantas de *Chenopodium quinoa* Willd. (Quinua). *Revista de Agricultura*, 8.
- Kakabouki, I., Hela, D., Roussis, I., Papastylianou, P., Sestras, A., & Bilalis, D. (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*, ahead, 2. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005000901>
- Leon, B., Mendoza, P., Soto, J., & Borja, Y. (2021). *Trichoderma* sp. Endófito y microorganismos eficaces en el control de kcona kcona (*Eurysacca* sp.) y mejora del rendimiento de *Chenopodium quinoa*. *Revista Alfa*, 5(14), 346-355. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.122>
- León, M., Mancilla, J., & Ortuño, F. (2019). Evaluación de bacterias endófitas promotoras de crecimiento en el cultivo de quinua Evaluation of endophytic growth promoting bacteria in quinoa cultivation. *Journal of the Selva Andina Biosph*, 7(2), 12.

- MAG. (2021). Boletín situacional—Cultivo de quinua. *Gobierno del Ecuador*, 7.
- Marchetti, J. (2022). *EFEITO DE MICRORGANISMOS FIXADORES DE NITROGÊNIO QUE HABITAM A FILOSFERA NA NUTRIÇÃO DA ALFACE* [Tesis Maestría en Agroecología, Instituto Politécnico de Bragança]. Repositorio institucional - Instituto Politécnico de Bragança.
- Medina, M., Ceja, L., López, S., Venegas, J., & Sánchez, C. (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>
- Moreno, A., García Mendoza, V., Reyes, J., Vásquez, J., & Cano, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: Una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68-83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Mujica, A. (2001, mayo 25). *Orígenes e historia- International Year of Quinoa 2013*. https://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/origin-and-history/es/?no_mobile=1
- Quispe, A. (2014). *USO DE BACTERIAS FIJADORAS DE NITROGENO CON DIFERENTES NIVELES DE ABONAMIENTO ORGÁNICO EN EL CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd.), COMUNIDAD VILLA PATARANI, ALTIPLANO CENTRAL* [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Mayor de San Andrés, Repositorio institucional- Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/5574/T-1999.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santana, D., Colina, E., Castro, C., Cadena, D., Sotomayor, A., Galarza, E., & López, M. (2017). Microorganismos fijadores de nitrógeno y su acción complementaria a la

- fertilización química en el cultivos de Coffea arabica L. *European Scientific Journal*, 13(3), 12. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v13n3p211>
- Secretaria Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo*.
- Sosa, V., Brito, V., Fuentes, F., & Steinfort, U. (2017). Phenological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 8. <https://doi.org/doi:10.1111/aab.12358>
- Torres, Y., Vásquez, W., & Ramírez, J. (2020). Efecto de tres dosis de materia orgánica con la inoculación de microorganismos mejoradores del suelo en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Will.), variedad Pasankalla, en centro poblado de Huanchac, Independencia-Ancash. *Aporte Santiaguino*, 118-1129. <https://doi.org/10.32911/as.2020.v13.n2.738>
- Van Dommelen, A., Keijers, V., Wollebrants, A., & Vanderleyden, J. (2003). Phenotypic Changes Resulting from Distinct Point Mutations in the *Azospirillum brasilense* glnA Gene, Encoding Glutamine Synthetase. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(9), 5699-5701. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.9.5699-5701.2003>
- Vargas, P., Arteaga, R., & Cruz, L. (2019). Análisis bibliográfico sobre el potencial nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa*) como alimento funcional. *Revista Centro Azúcar*, 46(4), 12.

11. Anexos

Anexo 1. Delimitación de las parcelas



Anexo 2. Instalación de sistema de riego por aspersión



Anexo 3. Cultivo en etapa vegetativa



Anexo 4. Aplicación foliar de Methylobacterium



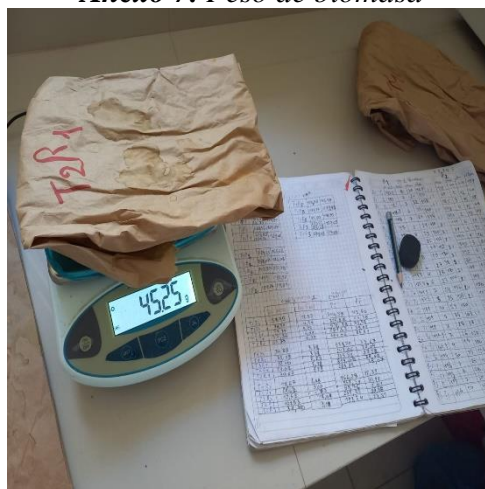
Anexo 5. Toma de muestras para llevar a laboratorio



Anexo 6. Medición de Área Foliar con el medidor CI-202



Anexo 7. Peso de biomasa



*Anexo 8. Producto químico HELCORE con ingrediente activo Difenconazole para combatir la enfermedad fungosa provocada por el mildiú (*Peronospora variabilis*).*



*Anexo 9. Producto comercial BlueN que contiene la bacteria *Methyñobscterium symbioticum**



Anexo 10. Certificado de traducción

Lic. Andrea Sthefania Carrión Mgs

0984079037

andrea.s.carrion@unl.edu.ec

Loja-Ecuador

Loja, 16 de agosto del 2023

La suscrita, Andrea Sthefania 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 el señor: Carlos David Valarezo Ramos con cédula de ciudadanía No. 1105136491, cuyo tema de investigación se titula: "Evaluación del crecimiento y rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja" ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefania Carrión Fernández, Mgs. Docente de Educación Superior en la enseñanza del inglés como lengua extranjera.

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: 2023.08.16
18:15:57 -06'00'

Andrea Sthefania Carrión Fernández. Mgs.

English Professor

CarlosDavid_ValarezoRamos