



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica

“Evaluación del crecimiento y rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja”

Trabajo de Titulación, previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrónomo

AUTOR:

Holger Ismael Cruz Ormaza

DIRECTORA:

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 29 de febrero de 2024

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Evaluación del crecimiento y rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja”**. previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrónomo** de autoría del estudiante: **Holger Ismael Cruz Ormaza**, con cédula de identidad Nro.**1104669161**, 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. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Holger Ismael Cruz Ormaza**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes Jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Autor: Holger Ismael Cruz Ormaza

Cédula: 1104669161

Fecha: 19/12/2024

Correo electrónico: holger.cruz@unl.edu.ec

Teléfono: 0967217919

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

Yo, **Holger Ismael Cruz Ormaza** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **“Evaluación del crecimiento y rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) 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**, 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 Digital 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 Titulación que realice un tercero.

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

Firma:



Autor: Holger Ismael Cruz Ormaza

Cédula: 1104669161

Dirección: Daniel Alvarez, Loja

Correo electrónico: holger.cruz@unl.edu.ec

Celular: 0997404708

Datos complementarios

Directora de Trabajo de Titulación: Ing. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

Dedicatoria

Primeramente, dedico este proyecto una vez concluido a Dios, mis padres que me apoyaron incondicionalmente, a mis queridos hermanos, mis sobrinos, y mis compañeros que con sus consejos y sugerencias me ayudaron e impulsaron para seguir adelante y alcanzar esta meta de fundamental importancia en mi vida.

Holger Ismael Cruz Ormaza

Agradecimiento

Haber llegado a cumplir con este objetivo y verlo plasmado en la realidad, es una enorme satisfacción que no todos los días se la puede vivir y que representa un acontecimiento en mi vida de gran importancia; por lo tanto, es necesario expresar mi más profundo agradecimiento a todos quienes me apoyaron en todo momento, de una u otra manera para hacer esto realidad.

Primero agradecer a Dios por darme la fortaleza necesaria de no abandonar mis sueños a pesar de las dificultades que se me presentaron.

Un eterno agradecimiento a mis padres Jacob Cruz y Lucia Ormaza, que me impulsaron y ayudaron para llegar a este momento importante en mi vida.

Gracias a todos mis familiares, compañeros de clase, amigos que de alguna forma han ayudado a mi desarrollo, formación y me han dado todo el apoyo para alcanzar mis metas.

Agradecer de manera especial a la Ing. Marlene Lorena Molina Müller PhD, directora de Trabajo de Titulación, por haber colaborado y asesorado en la realización del presente proyecto. Y por último agradecer a la Universidad Nacional de Loja y a mis profesores por su contribución a mi formación como profesional.

Holger Ismael Cruz Ormaza

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos.....	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
3.1. Objetivo General.....	5
3.2. Objetivos Específicos.....	5
4. Marco teórico	6
4.1. Generalidades del cultivo de maíz	6
4.2. Clasificación taxonómica del maíz	6
4.3. Fenología.....	7
4.4. Descripción botánica.....	8
4.4.1. <i>Raíz</i>	8
4.4.2. <i>Tallo</i>	9
4.4.3. <i>Hojas</i>	9
4.4.4. <i>Inflorescencia</i>	9
4.4.5. <i>Flores</i>	9
4.5. Condiciones edafoclimáticas	10
4.5.1. <i>Suelo</i>	10
4.5.2. <i>Clima</i>	10

4.6.	Características del maíz variedad INIAP – 180.....	10
4.7.	Problemas derivados de la aplicación irracional de fertilizantes minerales	11
4.8.	Microorganismos promotores del crecimiento vegetal.....	11
4.9.	Bacterias fijadoras de nitrógeno.....	12
4.10.	Características de <i>Methylobacterium symbioticum</i>	12
4.11.	<i>Methylobacterium symbioticum</i> su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico.....	12
4.12.	Antecedentes.....	13
5.	Metodología.....	14
5.1.	Ubicación del lugar de estudio:.....	14
5.2.	Manejo del experimento	14
5.3.	Diseño experimental	16
5.4.	Detalles del esquema en campo	17
5.5.	Esquema de Unidad Experimental.....	18
5.6.	Modelo matemático	18
5.7.	Análisis estadístico.....	18
5.8.	Metodología para el primer objetivo.....	19
5.8.1.	<i>Desinfección de las semillas de maíz (Variedad INIAP 180)</i>	19
5.8.2.	<i>Fertilización</i>	19
5.8.3.	<i>Evaluaciones</i>	19
5.8.4.	<i>Altura de la planta</i>	20
5.8.5.	<i>Diámetro de tallo</i>	20
5.8.6.	<i>Número de hojas</i>	20
5.8.7.	<i>Cobertura del área foliar</i>	20
5.8.8.	<i>Índice de área foliar (IAF)</i>	20
5.8.9.	<i>Clorofila relativa SPAD</i>	21
5.9.	Metodología para el segundo objetivo.....	21
5.9.1.	<i>Peso fresco y seco del follaje</i>	21
5.9.2.	<i>Rendimiento de grano del híbrido INIAP 180</i>	21
6.	Resultados	22

6.1. Resultados del primer objetivo:	22
6.1.1. Altura de la planta	22
6.1.2. Diámetro del tallo.....	23
6.1.3. Numero de hojas.....	23
6.1.4. Cobertura de área foliar.....	24
6.1.5. Índice de Área foliar.....	25
6.1.6. Índice SPAD.....	26
6.2. Resultados del segundo objetivo	28
6.2.1. Longitud de la mazorca	28
6.2.2. Número de hileras por mazorcas.....	29
6.2.3. Número de granos por mazorca	30
6.2.4. Rendimiento kg/ha	31
7. Discusión	33
8. Conclusiones	36
9. Recomendaciones	36
10. Bibliografía	37
11. Anexos	42

Índice de tablas

Tabla 1. La clasificación taxonómica del maíz es la siguiente	6
Tabla 2. Etapas fenológicas de la escala BBCH en maíz	7
Tabla 3. Tratamientos con el factor fertilización y momento de aplicación	17

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del experimento en el cantón Loja, ciudad de Loja, sector la “Argelia”..	14
Figura 2. Croquis del diseño experimental empleado para el análisis de variables en campo.	17
Figura 3. Esquema del diseño de siembra por parcela	18
Figura 3. Altura de la planta de maíz	22
Figura 4. Diámetro del tallo de maíz.....	23
Figura 5. Número de hojas por planta de maíz	24
Figura 6. Cobertura de área foliar por planta de maíz	25
Figura 7. Índice de área foliar de maíz.....	26
Figura 8. Índice SPAD (Soil Plant Analysis Development) en la hoja de maíz	27
Figura 9. Peso fresco y peso seco del follaje en maíz	28
Figura 10. Longitud de la mazorca de maíz	29
Figura 11. Longitud de la mazorca de maíz.....	30
Figura 12. Numero de granos por mazorca de maíz.	31
Figura 13. Rendimiento en kg/ha de maíz	32

Índice de anexos

Anexo 1. Evidencias fotográficas realizadas en campo.....	42
Anexo 2. Evidencias fotográficas realizadas en laboratorio.....	44
Anexo 3. Análisis de suelo realizado en la Estación Experimental Santa Catalina.....	45
Anexo 4. Calculo para fertilización en el cultivo de maíz.....	48
Anexo 5. Certificado de traducción del abstract.....	49

1. Título

Evaluación del crecimiento y rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja.

2. Resumen

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) tiene una creciente demanda a nivel global. Sin embargo, a nivel nacional y sobre todo provincial el bajo rendimiento es un problema evidente que afecta al sector maicero. Entre los factores que limitan la producción de maíz se encuentra el mal manejo del cultivo, basado en no proporcionar las condiciones potenciales para que se desarrolle el cultivo. Dentro de las opciones de manejo, el uso de biofertilizantes es una herramienta en boga que permite cuidar el medioambiente y fomentar la producción orgánica, sin embargo, se requiere evaluar la eficiencia de los productos liberados al mercado. El objetivo de la presente investigación consistió en evaluar el crecimiento y rendimiento del maíz, variedad INIAP 180, usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector La Argelia de la ciudad de Loja. El ensayo se estableció bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 5 tratamientos y 3 repeticiones cada uno. Los tratamientos fueron T1 Nitrógeno corregido, T2: *Methylobacterium* en 2 momentos, T3: *Methylobacterium* en 3 momentos, T4 Nitrógeno corregido + *Methylobacterium* en 2 momentos y un tratamiento Testigo. Se midieron variables morfofisiológicas como altura de planta, hojas por planta, diámetro del tallo, contenido relativo de clorofila SPAD, peso fresco y seco de follaje. Para variables productivas se tomó en cuenta longitud de la mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por mazorca y por último se procedió a desgranar y pesar las semillas para luego calcular el rendimiento expresado en kilogramos por hectárea. El inoculo tuvo un efecto significativo en la altura de la planta y diámetro de tallo fue mayor cuando se aplicó *Methylobacterium* en 2 y 3 momentos ya que estas bacterias ayudan a fijar nitrógeno atmosférico para que las planta y estas independientes de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. El mayor contenido relativo de clorofila se presentó cuando se aplicó *Methylobacterium* en 3 momentos ya que esta bacteria se fija en los cloroplastos para así utilizar su complejo nitrogenasa y proveer de nutrientes a la planta. En cuanto a los parámetros de rendimiento, se encontraron diferencias estadísticas significativas, destacando el tratamiento con tres aplicaciones de *Methylobacterium* que alcanzo cerca de 8 t/ha, lo que indica que la variedad INIAP 180 puede verse beneficiada por la inoculación de este microorganismo.

Palabras clave: INIAP 180, desarrollo, producción, microorganismos benéficos

Abstract

The corn (*Zea mays* L.) crop is in increasing demand globally. However, at the national and especially at the provincial level, low yields are an evident problem affecting the corn sector. Among the factors limiting corn production is poor crop management, based on not providing the potential conditions for the crop to develop. Among the management options, the use of biofertilizers is a tool in vogue to protect the environment and promote organic production; however, it is necessary to evaluate the efficiency of the products introduced in the market. The objective of this research was to evaluate the growth and yield of corn, INIAP 180 variety, using *Methylobacterium symbioticum* as a nitrogen-fixing source in the La Argelia sector of the city of Loja. The trial was established under a Completely Randomized Block Design (CSBD) with 5 treatments and 3 replicates each. The treatments were T1 corrected nitrogen, T2: *Methylobacterium* at 2 times, T3: *Methylobacterium* at 3 times, T4 corrected nitrogen + *Methylobacterium* at 2 times and a control treatment. Morphophysiological variables such as plant height, leaves per plant, stem diameter, relative chlorophyll content SPAD, fresh and dry weight of foliage were measured. For productive variables, ear length, number of rows per ear, number of grains per ear were taken into account, and finally the seeds were shelled and weighed to calculate the yield expressed in kilograms per hectare. The inoculum had a significant effect on plant height and stem diameter was greater when *Methylobacterium* was applied in 2 and 3 times due to these bacteria help to fix atmospheric nitrogen for the plant and these independent of the availability of nitrogen in the soil. The highest relative chlorophyll content was presented when *Methylobacterium* was applied at 3 times since this bacterium fixes in the chloroplasts in order to use its nitrogenase complex and provide nutrients to the plant. Regarding the performance parameters, significant statistical differences were found, highlighting the treatment with three applications of *Methylobacterium* which reached close to 8 t/ha, indicating that the INIAP 180 variety can benefit from the inoculation of this microorganism.

Keywords: INIAP 180, development, production, beneficial microorganisms

3. Introducción

El maíz, se encuentra entre los cultivos más importantes para la seguridad alimentaria, puesto que se constituye una de las vitales fuentes de alimento, debido a sus altos contenidos en vitaminas, proteínas y carbohidratos; en comparación con otros cereales es considerado un rubro trascendente dentro de los ingresos económicos de los agricultores (Romero et al., 2022). Como producto de valor, ha evolucionado positivamente a lo largo de su historia, con el pasar de los años, las industrias vinculadas a la cadena del maíz se han ido desarrollando en forma progresiva, transformando un grano cuyo único destino era la alimentación humana en una materia prima esencial para el desarrollo de múltiples procesos industriales (Rosales et al., 2017).

La región sur del Ecuador y precisamente en la provincia de Loja, el maíz es uno de los cultivos más importantes (Aguilar et al., 2015). Para garantizar los niveles de producción es indispensable el uso de fertilizantes nitrogenados, y para este cultivo en la provincia de Loja se destinan alrededor de 182 kg/ha de urea, dando un total de 8 558 598 kg por cada campaña de siembra, generando gasto en fertilizantes por parte de los productores de 10 270 317 dólares reportándose una producción total de 92 454 t (INEC, 2021).

Es así que una opción agroecológica para la nutrición nitrogenada de los cultivos es la incorporación de biofertilizantes, elaborados a base de microorganismos como lo son las bacterias y hongos fijadores de nitrógeno (Abadi et al., 2021), siendo una opción muy útil la bacteria *Methylobacterium symbioticum*, quienes 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, produciendo nitrógeno en niveles elevados asimilables para las plantas (Palberg et al., 2022). De esta manera, se mejora el crecimiento, protección fitosanitaria, rendimiento, mejoramiento de la fertilidad del suelo y del cultivo, siendo una alternativa para la reducción de fertilizantes químicos sintéticos en los cultivos y el suelo.

El uso de esta bacteria podría reducir las pérdidas de producción por la ausencia de conocimiento al momento de fertilizar el cultivo, de igual manera evita un uso excesivo de agroquímicos a la par de generar contaminación del medio ambiente matan a insectos no benéficos e insectos benéficos (Franche et al., 2009). Esta es una alternativa amigable con el medio ambiente y saludable para la alimentación.

Frente a estas consideraciones desde el punto de vista de la agricultura sostenible en estos últimos años el estudio de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV) como *Methylobacterium symbioticum* ha sido una área activa de investigación en busca de tecnologías que suministren los nutrientes de nitrógeno y otros en forma biológica, a fin de promover los sistemas agrícolas sustentables (Avis et al., 2008). A partir de lo anterior, se formularon los siguientes objetivos de investigación:

3.1.Objetivo General

Evaluar el crecimiento y rendimiento del maíz usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja.

3.2.Objetivos Específicos

- Describir el crecimiento del maíz usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno.
- Determinar el efecto de *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno sobre el rendimiento del maíz INIAP – 180

4. Marco teórico

4.1. Generalidades del cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es una gramínea que fue conocida hace 7 000 años, y apareció en México y América central, antes de la llegada de los españoles. Según el Padre Juan de Velasco, en “Crónicas de las indias” los nativos ya conocían y comercializaban esta gramínea con países asiáticos, africanos y vecinos de este mismo territorio. No hay un acuerdo sobre cuándo se empezó a domesticar el maíz, pero los indígenas mexicanos dicen que esta planta representa para ellos diez mil años de cultura (Acosta, 2009).

El maíz es el cereal de los pueblos y culturas del continente americano. Las más antiguas civilizaciones de América desde los olmecas y teotihuacanos en Mesoamérica, hasta los incas y quechuas en la región andina de Sudamérica estuvieron acompañadas en su desarrollo por esta planta (Hernández, 2009). En los años 90, parecía haberse logrado un consenso entre científicos sobre la prevalencia de la teoría del teocintle; sin embargo, de vez en cuando emergían investigaciones relacionadas con el maíz silvestre extinto en la línea de argumentación (Cervantes et al., 1978).

Aunque no se han resuelto por completo todos los detalles que permitan explicar su origen y domesticación, Sin embargo, durante más de 70 años, antes de llegar a esa conclusión se generó un riquísimo debate que contribuyó al avance del conocimiento en muchas áreas del quehacer científico. Tan es así que algunos de los más grandes científicos del siglo XX han sido estudiosos del maíz, de su origen y su diversificación. Por ejemplo, en 1983 la investigadora estadounidense Bárbara McClintock recibió el Premio Nobel en Fisiología, por el descubrimiento de los elementos genéticos móviles en los cromosomas del maíz (Anderson & Cutler, 1942).

4.2. Clasificación taxonómica del maíz

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz (Acosta, 2009) :

<hr/> Reino: Plantae <hr/>
Clase: Equisetopsida <hr/>

Subclase: Magnoliidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Maydeae

Género: Zea

Especie: Zea mays.

4.3.Fenología

Se describe las etapas de crecimiento fenológicas ,con una escala estandarizada para el maíz (*Zea mays*), basada en el sistema de codificación de la BBCH descrita por Lancashire et al., (1991) de la siguiente manera (Tabla 2):

Tabla 2. Etapas fenológicas de la escala BBCH en maíz

Etapas Fenológicas	Características	Inicio (entre Días después de Siembra DDS)
0. Germinación	Hinchado de semilla y germinado	3 – 5
V1. Desarrollo de las hojas del tallo principal	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 Crecimiento Longitudinal del tallo principal	Estado vegetativo temprano; sensible a la competencia con malezas.	35 – 45
V6. Pre-floración (desarrollo el botón floral)	Aparece el órgano floral (penacho) en el extremo superior del tallo	55 – 70

V9. Floración	Inicia la floración en la parte superior de la inflorescencia y continua hasta la base. Desarrollo de la floración a lo largo del tallo principal	90 – 130 (50% de flores)
R1. Inicio de llenado de grano	Los granos están todavía suaves y húmedos (50 % humedad); etapa sensible al granizo, sequia, heladas, y enfermedades.	100 – 130
R2. Llenado de grano pastoso	Estadio del grano pastoso temprano: el grano continúa blando y con un contenido de materia seca entre un 45 y un 50 %. granos están más secos(25 % humedad).	130 – 160
R3. Senescencia	Se observan granos duros y secos. Planta totalmente muerta; los tallos se quiebran. (15 % humedad) (Lancashire et al., 1991).	130 – 180

4.4. Descripción botánica

4.4.1. Raíz

Está compuesta por tres clases de raíces las cuales son: las raíces seminales, raíces secundarias o adventicias y raíces aéreas (Baghdadi et al., 2018).

Las raíces seminales: Se desarrollan a partir de la radícula de la semilla, el crecimiento de esas raíces disminuye después que la plúmula emerge por encima de la superficie del suelo y detiene su crecimiento en la etapa de tres hojas de la plántula. El sistema de raíces seminales mencionado antes puede continuar activo durante toda la vida de la planta, pero sus funciones son insignificantes (Yzarra & López, 2017).

Raíces secundarias o adventicias: Comienzan a formarse a partir de la corona por encima de las raíces primarias hasta llegar a siete y diez nudos, todos debajo de la superficie del suelo (Rosales et al., 2017). Estas raíces se desarrollan en una red espesa de raíces fibrosas, que son el principal sistema de fijación de la planta al suelo y además absorben agua y nutrimentos (Yzarra & López, 2017).

4.4.2. Tallo

Se origina en la plúmula del embrión, es cilíndrico, formado por nudos y entrenudos, el número es variable pero la mayoría tienen entre 12 y 15 entrenudos. La altura también depende de la variedad y las condiciones de la región. La mayoría de plantas son de un solo tallo con una longitud entre 0,8 m y 3,5 m (Campesinos, 2002).

4.4.3. Hojas

Están formadas por la vaina, cuello y lámina foliar; siendo largas, anchas, flexuosas, de bordes y superficies ásperas, con nerviación paralela. La vaina es una estructura cilíndrica, abierta hasta la base, que envuelve el tallo. El cuello es la zona de transición entre la vaina y la lámina, en el que se halla una lígula. La lámina propiamente dicha mide hasta 1,5 m de largo por 10 cm de ancho, terminada en un ápice agudo (Deras, 2012)

4.4.4. Inflorescencia

El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta, las flores masculinas son terminales solitarias en grupos de dos a veintiséis de coloración amarilla que produce una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen, las flores femeninas se ubican en las axilas de una o más hojas; la inflorescencia femenina se encuentra envuelta entre 8 o 13 brácteas largas, duras y finamente pubescentes, los estilos son largos colgantes, morados o blanco negruzcos, con un estigma morado bífido que sobresale considerablemente de las brácteas. Las semillas son ovoides con un ápice agudo obtuso redondeado y comprimido (Aguilar et al., 2015).

4.4.5. Flores

Estas son de dos tipos en la planta: las estaminadas, que se distribuyen en las ramas de la inflorescencia llamada espiga, y las flores pistiladas, que se encuentran en una inflorescencia con soporte central llamado tusa, estas flores después de la fecundación forman granos tiernos y lechosos convirtiéndose finalmente en la mazorca (Campesinos, 2002). En lo que concierne al fruto

es una cariópside o grano constituido por el pericarpio, capa de células de aleurona, endospermo y el embrión (Ayala, 2013).

4.5. Condiciones edafoclimáticas

4.5.1. Suelo

El maíz se adapta a diferentes tipos de suelos, prefiere pH comprendido entre 6 y 7, pero se adapta a condiciones de pH más bajo y más elevado, e incluso se da en terrenos calizos, siempre que el exceso de cal no implique el bloqueo de microelementos, suelos franco-limosos o franco - arcillosos, fértiles y profundos, ricos en materia orgánica con buena capacidad de retención de agua, pero bien drenados para no producir encharques que originen asfixia radicular (Gray et al., 2009)

4.5.2. Clima

Requiere una temperatura de 25 a 30 °C, bastante incidencia de luz solar y en aquellos climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20 °C, llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8 °C y a partir de los 30 °C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua. Para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32 °C (Gao et al., 2020).

La cantidad óptima de lluvia es de 550 mm; la máxima de 1 000 mm, las fuertes necesidades de agua del maíz condicionan también el área del cultivo. Las mayores necesidades corresponden a la época de la floración, comenzando 15 ó 20 días antes de ésta, período crítico de necesidades de agua. Serán oportunos en especial durante el espigado y llenado de granos (Jiménez et al., 2019).

4.6. Características del maíz variedad INIAP – 180

- **Grano:** grande, amarillo harinoso
- **Días a la cosecha en choclo:** 125
- **Días a la cosecha en seco:** 205
- **Altura de la planta:** 195 cm
- **Altura a la mazorca:** 94 cm
- **Rendimiento:** de 5 500 a 8 860 kg/ha, de acuerdo a la altitud, temperatura y suelo del lugar.
- **Altitud:** de 2 200 a 3 000 m s.n.m
- **Usos:** alimentación consumo humano en forma de “choclo” (mazorca de maíz cocido al

vapor en estado semitierno o lechoso) o como tostado (grano seco cocido al fuego con o sin manteca.

- **Zonas:** se cultiva en los valles de la provincia de Loja y Manabí
- **Fuente:** (Caviedes, 2003)

4.7. Problemas derivados de la aplicación irracional de fertilizantes minerales

El sector agrícola Ecuatoriano requiere anualmente cerca de 4 millones de toneladas de fertilizantes, los altos costos de los fertilizantes sintéticos provocan que, en el caso del cultivo de maíz y papa, la aplicación de fertilizantes químicos represente el 30 % y 40 % de los costos de producción en sistemas de riego y hasta el 50 % en los sistemas de temporal (SIPA, 2021).

El uso de los fertilizantes es uno de los indicadores claves de la intensificación de la agricultura y del desarrollo agrícola, donde el nutriente más utilizado es el nitrógeno, ya que éste afecta directamente los rendimientos y la calidad de los productos (Li et al., 2021). Cabe observar con preocupación el efecto de la acumulación de nitrógeno sobre el medio ambiente.

También se ha establecido que como consecuencia de las actividades antrópicas destinadas a obtener incrementos en rendimiento de las cosechas, se ha contaminado el suelo con una serie de productos altamente resistentes y acumulativos, como herbicidas y metales pesados (Maúre et al., 2021), además de otros contaminantes, que, sin ser acumulativos (como es el caso de los nitratos), se lixivian fácilmente y contaminan otros medios más sensibles e indefensos como el acuático (Maúre et al., 2021).

4.8. Microorganismos promotores del crecimiento vegetal

Conocidos comúnmente como MPCV (Microorganismo Promotores del Crecimiento Vegetal), son microorganismos de suelo e incluyen especies de *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Azorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Gluconacetobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* entre otras. Estas RPCV afectan el crecimiento de la planta de forma directa o indirecta (Glick et al., 2007)

El AIA (ácido indól-acético) producido por las cepas inoculadas y la fijación de N, son los principales componentes que inducen el crecimiento de las plantas, al aumentar la división celular y la diferenciación de los tejidos, efectos que se ven reflejados en un mayor contenido de biomasa (Bhattacharyya & Jha, 2012).

4.9. 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 (Franché et al., 2009). 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 (Torres et al., 2024), si las bacterias satisfacen sus necesidades de nitrógeno pasan a la planta y pueden absorber niveles elevados de proteína en las plantas (Yang et al., 1999).

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 (Yan et al., 2008).

4.10. Características de *Methylobacterium symbioticum*

Methylobacterium symbioticum es una especie de bacteria fijadora de nitrógeno única. A diferencia de otras especies ya conocidas es endófitas, 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 (Van Dien et al., 2003).

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 (Maeng et al., 2021).

4.11. *Methylobacterium symbioticum* su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico

Los microorganismos como *Methylobacterium symbioticum* son capaces de fijar N de la atmósfera, colectivamente llamados diazotófos, capturan 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^+ amonio (Ochsner et al., 2015)

Estas bacterias son Gram-negativas, con forma de bastón, estrictamente aeróbicas y son parte de la clase *Alphaproteobacteria*. Se caracterizan por una pigmentación rosada debido a la

síntesis de carotenoides (Valente et al., 2024). Para el crecimiento, *Methylobacterium* puede utilizar compuestos orgánicos que contienen solo un carbono (C1), como metanol o metilamina (Arrobas et al., 2024).

4.12. Antecedentes

La fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México, por ser de reacción inmediata, superó a los tratamientos de biofertilización con semilla inoculada con *Azospirillum*, el efecto positivo de los biofertilizantes se atribuye principalmente al mejoramiento en el desarrollo de la raíz y al incremento subsecuente en la tasa de asimilación de agua. Al realizar el análisis de varianza con el peso de mazorcas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas, sin embargo, hubo mayor cuantificación en los tratamientos Fertilización química 160-46-30, seguido de *Azospirillum brasilense* + fertilización química 80-23-15 (Martínez et al., 2018).

En la comparación de medias entre tratamientos con y sin biofertilizante para las demás variables evaluadas (materia seca, biomasa aérea, rendimiento de grano, altura de planta y peso de mazorca), no hubo diferencias significativas para ninguna de ellas. En todos los casos, la expresión de las variables en los tratamientos con y sin aplicación de biofertilizante fue similar. Sin embargo, es recomendable aplicar biofertilizante en otras condiciones, por ejemplo, haciendo combinaciones de biofertilizantes que tengan un efecto en los materiales (Tadeo Robledo et al., 2017)

En el caso de *Methylobacterium* no se encuentran investigaciones en las que se ponga a prueba su efectividad por eso esta investigación es de suma importancia, ya que llevará a cabo estudios de esta bacteria fijadora de nitrógeno que ayudaría a disminuir de manera considerable el uso de fertilizantes nitrogenados.

5. Metodología

5.1. Ubicación del lugar de estudio:

La presente investigación se llevará a cabo en la Quinta Experimental Docente de la Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables, ubicado en el sector La Argelia, de la parroquia Punzara del cantón Loja. Sus coordenadas son: latitud de 4°05'35.2"S, longitud de 79°12'00.6"W y una altitud de 2 137 m s.n.m, como se observa en la (Figura 1). Dicho lugar presenta una temperatura media anual de 16,7 °C y una humedad relativa media anual del 84 %.



Figura 1. Ubicación del experimento en el cantón Loja, ciudad de Loja, sector “La Argelia”

5.2. Manejo del experimento

Preparación del suelo para el ensayo

La preparación del suelo consiste en limpiar el campo de malezas, se dio un pase de arado en sentido cruzado, para que el suelo quede adecuado para recibir la semilla, de igual manera se midió con un metro cada parcela a establecerse en el terreno con ayuda de una cinta métrica.

Siembra

El trazado del diseño se realizó utilizando estacas de madera de 80 cm, cinta de 50 m, combo y piola. Se procederá a delimitar el área total del ensayo de 507,3 m² luego se trazaron 15 parcelas de 5 m por 5 m, formando caminos de 0,7 m, el área de cada parcela es de 25 m² obteniendo un área cultivada de 375 m², las parcelas se distribuyeron con los tratamientos y repeticiones con su respectivo letrero de identificación.

Hoyado

Para realizar esta actividad de acuerdo al diseño se procedió a trazar 9 surcos por parcela a 50 cm de separación entre ellos, luego se abrieron 15 hoyos de 10 cm de profundidad en cada surco a una distancia de 25 cm, obteniendo 200 hoyos por parcela.

Control de malezas.

El control de malezas se realizó con deshierbas manuales durante todo el ciclo del cultivo.

Controles fitosanitarios.

El control de plagas y enfermedades, dependiendo de la severidad de su incidencia se realizó mediante la utilización de insecticidas: Tiametoxam 106 g/L, “BALA” a una dosis de 300 mL/200 L Piretrina y como fungicida: Propineb “Antracol” Dosis 1 kg/200L, apropiados para el cultivo de maíz.

Riego

El sistema de riego se empleó por aspersión con una frecuencia de 8 días, esto dependió de las condiciones ambientales del lugar.

Fertilización Foliar

Para el caso de *Methylobacterium*, se usó el fertilizante comercial Blue N® fabricado por la empresa Symborg, que contiene 3×10^7 UFC/g de *Methylobacterium* en una dosis de 333 g/ha. La aplicación se realizó de manera foliar y en las primeras horas de la mañana cuando los estomas están completamente abiertos, de manera que penetre en las hojas de la planta a través de ellos hacia las hojas y se instalen principalmente en las células fotosintéticas (Fernández, 2020).

Fertilización edáfica en el cultivo de maíz

Se planificó considerando los resultados del análisis químico del suelo. La disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo que arrojó el análisis de laboratorio se comparó con los requerimientos del cultivo de maíz y con los cuales se procedió hacer la corrección de nutrientes en déficit (FAO, 2002). se realizaron los cálculos para aplicar la dosis correcta que demanda el cultivo como se observa en el (Anexo 4).

Cosecha

La cosecha según lo recomienda el INIAP, es a los 120 días después de la siembra tomando en cuenta el ciclo vegetativo de esta variedad. También, para la cosecha se tomó en cuenta características como el follaje, que toma una coloración amarillenta y también el de las mazorcas y observar bien estos detalles según la maduración del grano

5.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar, en el que se probaron 5 tratamientos en tres repeticiones, conformando un total de 15 unidades experimentales, cada unidad experimental tubo una superficie de 25 m² (5 x 5 m) con un espaciado de 0,70 m entre parcelas (Figura 2).

Los tratamientos incluyen un testigo, la aplicación de *Methylobacterium* $3 * 10^7$ UFC/g en 2 y 3 momentos, la aplicación de nitrógeno ureico (N) en 2 momentos, y la aplicación combinada de nitrógeno + *Methylobacterium* en 2 momentos (Tabla 3). La corrección se realizará en base a la necesidad del cultivo, debido a que el maíz 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, se encuentra en bajas cantidades, sumado a esto cierta parte del N se volatiliza, razón por la que se debe de realizar varias aplicaciones en el cultivo para que no carezca del mismo. La razón por la cual se realizó la fertilización en un tratamiento con nitrógeno corregido y otro combinatorio con *Methylobacterium* fue para determinar cuál arreglo tuvo mejores respuestas en el cultivo. La fórmula a utilizar para determinar la dosis de nitrógeno fué:

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

Tabla 3. Tratamientos con el factor fertilización y momento de aplicación

Tratamientos	Momento de aplicación	Código	Repeticiones
1	Nitrógeno corregido (V3, V6)	NC	3
2	<i>Methylobacterium</i> en 2 momentos (V3, V6)	MB-2	3
3	<i>Methylobacterium</i> en 3 momentos (V3, V6, V9)	MB-3	3
4	N corregido + <i>Methylobacterium</i> en 2 momentos (V3, V6)	NC+MB2	3
5	Testigo	T	3

5.4. Detalles del esquema en campo

Para la aplicación de los fertilizantes se realizó un diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con cinco tratamientos de fertilización en diferentes etapas fenológicas con tres repeticiones respectivamente.

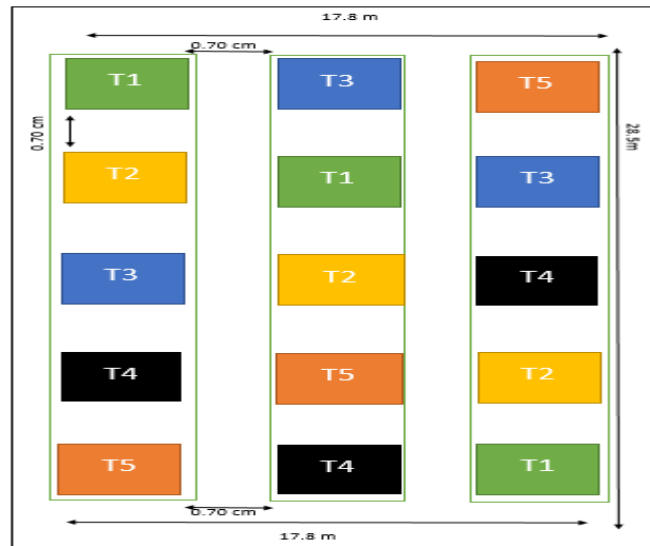


Figura 2. Croquis del diseño experimental empleado para el análisis de variables en campo.

5.5. Esquema de Unidad Experimental

Diagrama de cómo se encuentra estructurada cada unidad experimental con 200 plantas por parcela con un marco de plantación de 0,50 x 0,25 m entre surco y planta.

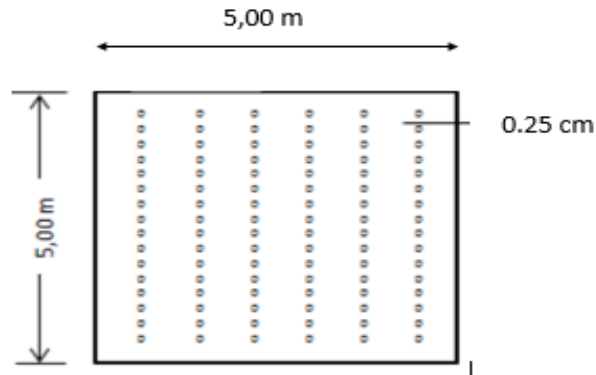


Figura 3. Esquema del diseño de siembra por parcela

5.6. Modelo matemático

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

- Y_{ij} : Variable respuesta
- μ : Media global de la variable respuesta
- τ_i : Efecto del factor tratamiento: 1,2, 3..n
- β_j : Efecto del factor bloque:1,2,3..n
- ϵ_{ij} : Error experimental.

5.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se procesaron utilizándose el programa Infostat ver 10. Se realizó análisis de normalidad de datos y homogeneidad de varianzas para posteriormente determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos para cada variable evaluada, mediante un análisis de varianza simple (ANOVA), utilizándose la prueba de Tuckey HSD 5 % y también un análisis de correlación entre variables (Martínez et al., 2018).

5.8. Metodología para el primer objetivo

Describir el crecimiento del maíz usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno.

5.8.1. Desinfección de las semillas de maíz (Variedad INIAP 180)

Las semillas de variedad INIAP 180 se colocaron en un recipiente y se tratara con etanol al 70 % con el fin de no dañar las semillas durante 5 minutos empleando movimientos circulares para favorecer el contacto de los agentes de esterilización. Posteriormente, se retiraron el etanol por decantación y se adiciono Hipoclorito de sodio al 5 % durante 10 minutos, retirándolo al término de este periodo. Las semillas lavadas se colocarán en una toalla de papel seca y estéril.

5.8.2. Fertilización

La aplicación de la urea se la realizo al voleo. Mientras que para el caso de *Methylobacterium*, se usó el fertilizante comercial Blue N® fabricado por la empresa Symborg, que contiene $3 * 10^7$ UFC/g de *Methylobacterium* en una dosis de 70 g/ha¹. La aplicación se realizó de manera foliar y en las primeras horas de la mañana cuando los estomas están completamente abiertos, de manera que penetre en las hojas de la planta a través de ellos hacia las hojas y se instalen principalmente en las células fotosintéticas (Fernández, 2020).

5.8.3. Evaluaciones

A los 15 días después de la siembra se seleccionaron 5 plantas al azar por tratamiento, de estas se tomaron la altura de la planta (cm) con cinta métrica a ras del suelo hasta la hoja bandera, diámetro del tallo (cm) con calibrador y el número de hojas de las plantas. Estas evaluaciones se continuaron a los 30, 45, 60 y 90 días.

5.8.4. Altura de la planta

Se seleccionaron 5 plantas de las hileras centrales de cada unidad experimental y se tomaron la longitud del tallo utilizando una cinta métrica desde el cuello de la planta hasta el ápice terminal (Elizondo, 2011), registrándolo en metros, aplicándolo con una frecuencia de 15 días.

5.8.5. Diámetro de tallo

Seleccionaremos 5 plantas de las hileras centrales de cada unidad experimental y se midieron el diámetro del tallo utilizando un calibrador Vernier, se medirá a una altura de 5 cm del nivel del suelo, se lo realizará con una frecuencia de 15 días (Castañeda et al., 2021).

5.8.6. Número de hojas

Se escogieron 5 plantas de las hileras centrales de cada unidad experimental, y mediante observación directa se contará el número de hojas por planta y se procederá a registrarlas, con una frecuencia de 15 días (Martínez et al., 2018).

5.8.7. Cobertura del área foliar

Se midió la cobertura del área foliar del cultivo tomando fotografías con un teléfono inteligente con la aplicación llamada CANOPEO (Escobedo & Proaño, 2017), la misma que nos dio el dato en forma de porcentaje para poder registrarlo, esto se realizó a cada unidad experimental con una frecuencia de 15 días.

5.8.8. Índice de área foliar (IAF)

De la parte central de las unidades experimentales se tomaron 2 plantas por cada unidad experimental a los 30 dds con una frecuencia de 15 días, y se registró el área foliar de todas las hojas las plantas muestreadas con el medidor portátil de Área Foliar CI-202 (Alvarado et al., 2020), a partir de las áreas determinadas se realizó un promedio y se considerará la distancia entre hileras y plantas como superficie.

Con los datos obtenidos se calculó el índice de área foliar (IAF) mediante la siguiente fórmula:

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

5.8.9. Clorofila relativa SPAD

Por cada unidad experimental se tomaron 2 plantas de los surcos centrales y se seleccionó las hojas totalmente expandidas en el tercio medio superior de estas, a las cuales se les realizarán 2 mediciones (evitando el contacto con su nervadura) con el clorofilómetro SPAD Minolta-502, por cada uno de los 6 momentos o etapas fenológicas de la escala BBCH (Martínez et al., 2015).

5.9. Metodología para el segundo objetivo

Determinar el efecto de *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno sobre el rendimiento del maíz INIAP 180.

5.9.1. Peso fresco y seco del follaje

A partir de los 90 días se evaluará el porcentaje de materia seca, se procederá a pesar el follaje de 5 plantas por tratamiento para pesarlas en una balanza, luego se las

procederá a poner en una estufa para determinar su peso seco en comparación con el follaje fresco (Robledo et al., 2017). El porcentaje de materia seca del rastrojo (MS%) se expresa como $[100 * \text{peso seco} / \text{peso fresco}]$.

5.9.2. Rendimiento de grano del híbrido INIAP 180

Para determinar el rendimiento agrícola se cosechará por parcela 25 mazorcas, de las cuales se tomarán 5 mazorcas representativas (tamaño medio) por cada tratamiento al azar; se medirá la longitud de la mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por mazorca y por último se procederá a desgranar y pesar las semillas para luego calcular el rendimiento expresado en Kilogramos por hectárea (Robledo et al., 2017).

6. Resultados

6.1. Resultados del primer objetivo:

Describir el crecimiento del maíz usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno.

6.1.1. Altura de la planta

En altura de planta se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos a los 120 después de la siembra (p-valor: 0.001; $p \leq 0,05$), donde el tratamiento MB-2 (*Methylobacterium symbioticum* aplicada en dos momentos V3 – V6) obtuvo el mejor resultado, con una altura de 191,88 cm (Figura 3).

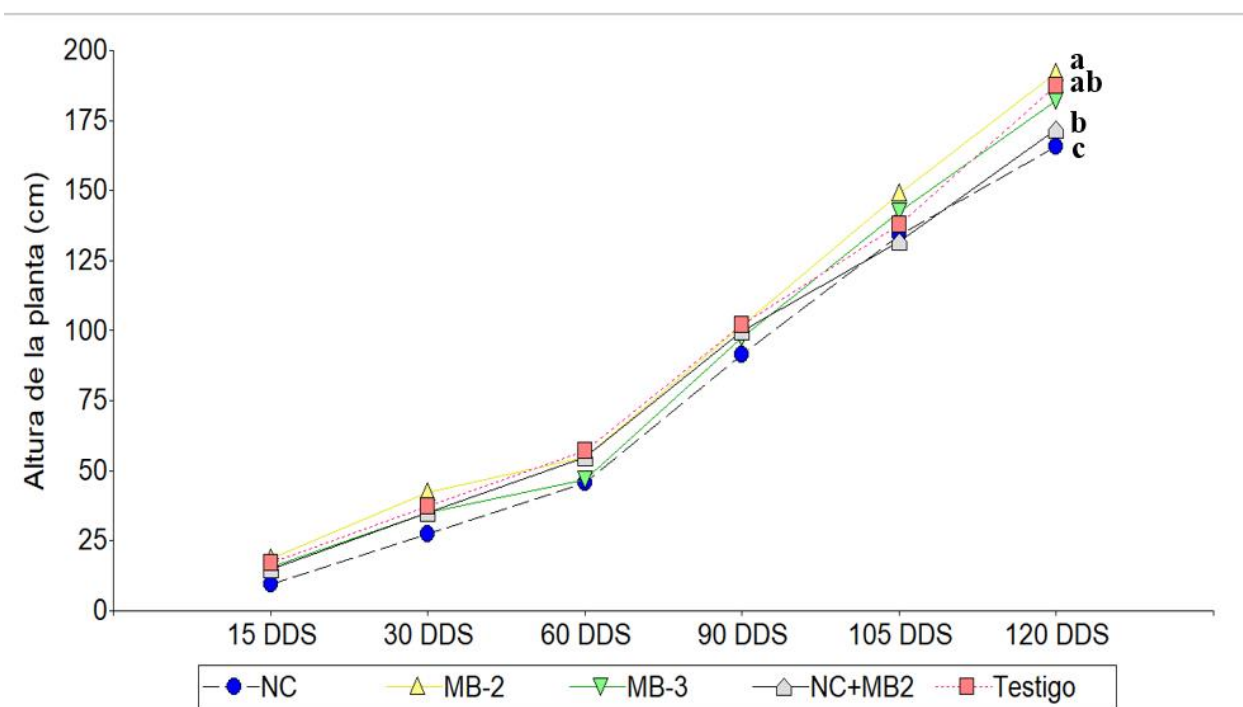


Figura 3. Altura de la planta de maíz a los 15, 30, 60, 90, 105 y 120 DDS con diferentes tratamientos. cada punto es el promedio de tres repeticiones, ni existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos. DDS: días después de la siembra: Letras acorde a Test de Tukey (95%).

6.1.2. Diámetro del tallo

Al analizar los resultados del diámetro del tallo sometidos a diferentes tratamientos desde los 15 DDS a los 120 DDS, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos a los 120 DDS (p-valor: 0,001; $p \leq 0,05$). Los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento MB-3 (*Methylobacterium symbioticum* aplicada en tres momentos V3 – V6- V9) con un tallo de 3,25 cm de diámetro (Figura 4).

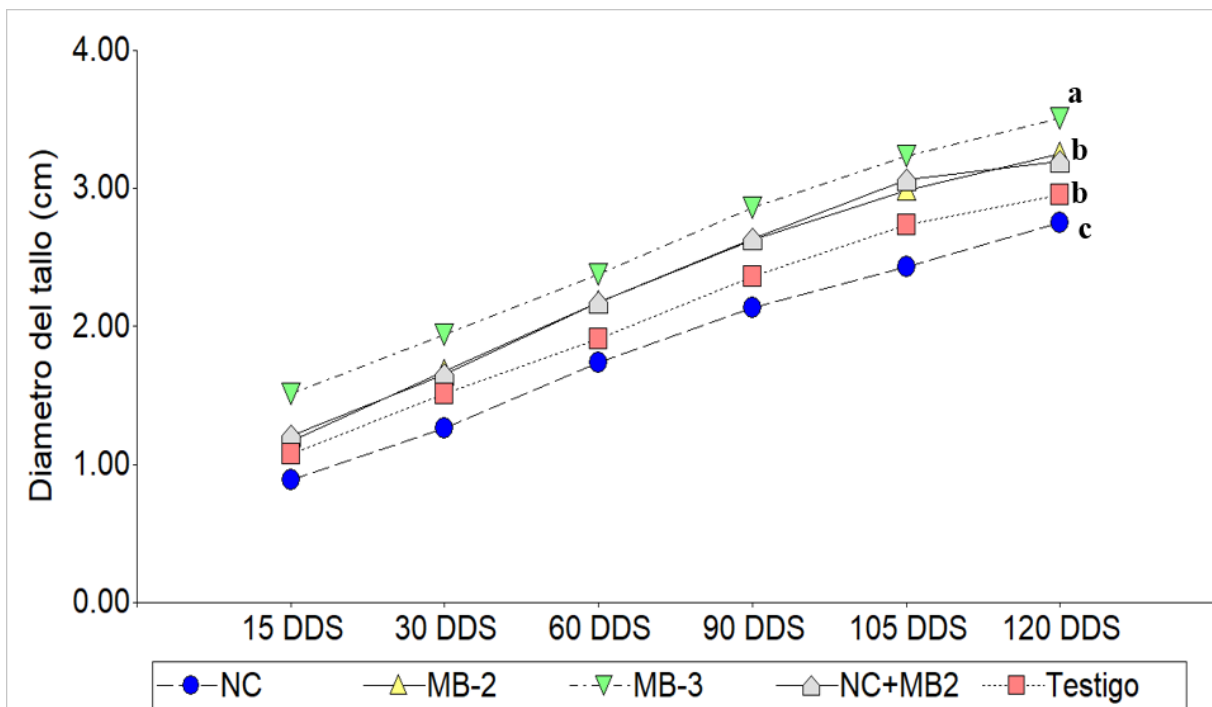


Figura 4. Diámetro del tallo de maíz a los 15, 30, 60, 90, 105 y 120 DDS con diferentes tratamientos. cada punto es el promedio de tres repeticiones. DDS: días después de la siembra si existe diferencia significativa entre los tratamientos; Letras acorde a Test de Tukey (95%).

6.1.3. Numero de hojas

La evaluación de numero de hojas en las plantas de maíz variedad INIAP 180 sometidas a diferentes tratamientos, desde los 15 a 120 DDS, p-valor: 0,001; $p \leq 0,05$ se observa que los

tratamientos con mejores resultados fueron el T4 (NC+MB2) 11,73 y T3 MB-3 con 11,47 en comparación con los demás tratamientos (Figura 5).

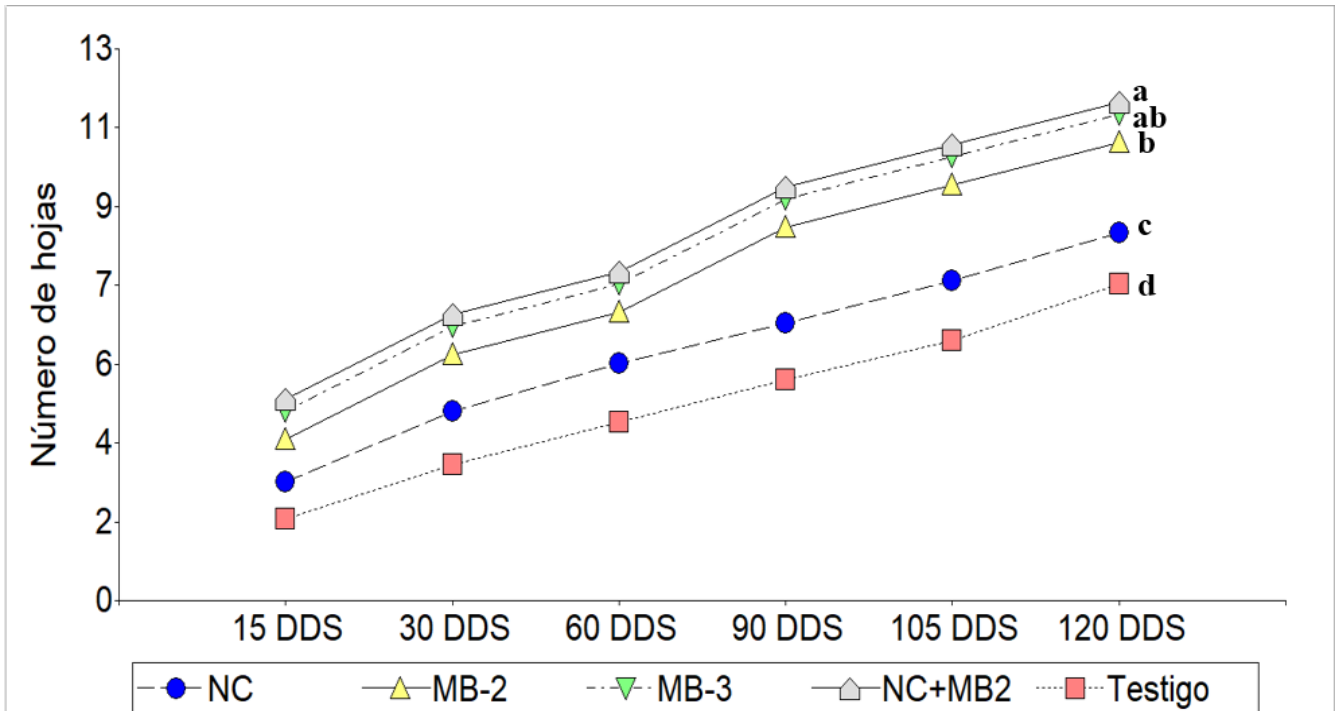


Figura 5. Número de hojas por planta de maíz a los 15, 30, 60, 90, 105 y 120 DDS con diferentes tratamientos. cada punto es el promedio de tres repeticiones. DDS: días después de la siembra si existe diferencia significativa entre los tratamientos; Letras acorde a Test de Tukey (95%).

6.1.4. Cobertura de área foliar

En la figura 6 de cobertura foliar analizada se evidencia alta diferencia significativa ($p = 0,005 < p = 0,05$) el tratamiento T3 MB-3 con 82 % que demostró mejores resultados de cobertura en comparación con los tratamientos T2 MB-2 con 78,67 % de cobertura seguido del T4 (NC+MB2) con 78,33 %. Alcanzando la mejor cobertura el tratamiento con tres aplicaciones de *Methylobacterium*.

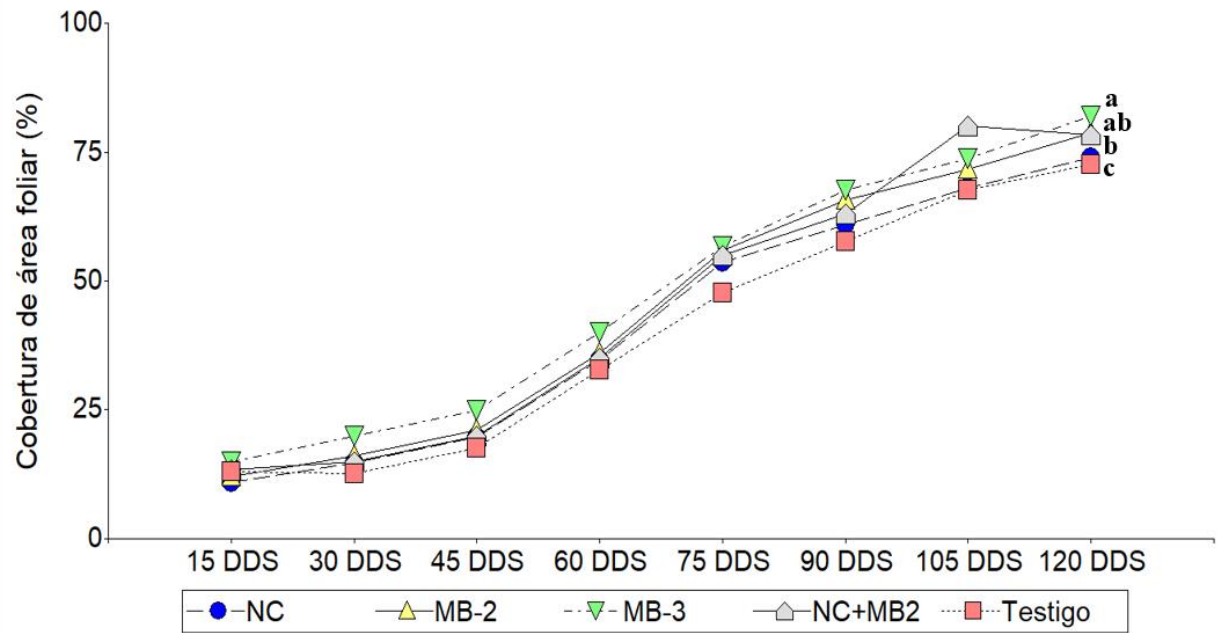


Figura 6. Cobertura de área foliar por planta de maíz a los 15, 30, 60, 90, 105 y 120 DDS con diferentes tratamientos. cada punto es el promedio de tres repeticiones. DDS: días después de la siembra, si existe diferencia significativa entre los tratamientos; Letras acorde a Test de Tukey (95%).

6.1.5. Índice de Área foliar

El índice de área foliar si demostró diferencias estadísticas significativas bajo el tratamiento MB-3 con 3,92 con un p valor =0,001 que demostraron mayor índice de área foliar en cuanto en comparación con los otros tratamientos.

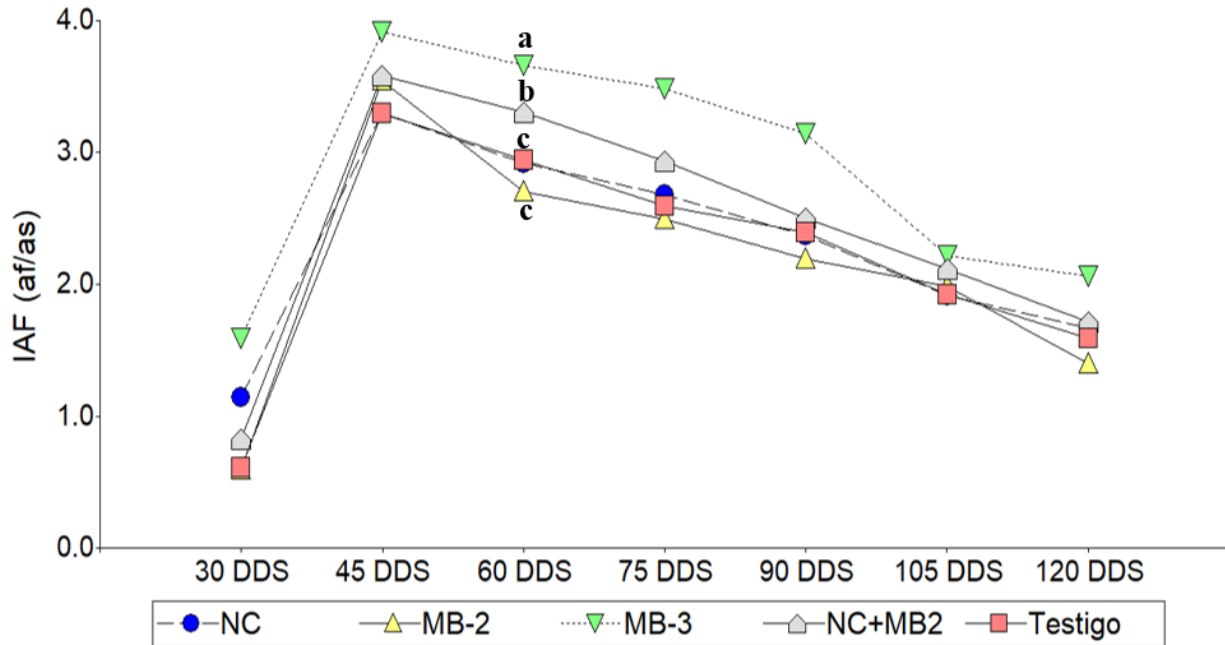


Figura 7. Índice de área foliar de maíz a los 15, 30, 60, 90, 105 y 120 DDS con diferentes tratamientos. cada punto es el promedio de tres repeticiones. DDS: días después de la siembra, si existe diferencia significativa entre los tratamientos; Letras acorde a Test de Tukey (95%).

6.1.6. Índice SPAD

La concentración de clorofila de acuerdo con los resultados obtenidos el T3 MB-3 a los 105 DDS presentaron una concentración relativa de clorofila mayor con un valor de 53 %, mientras que T1, T2, T4 y T5 mostro una concentración de clorofila menor a un valor de 40,67 %.

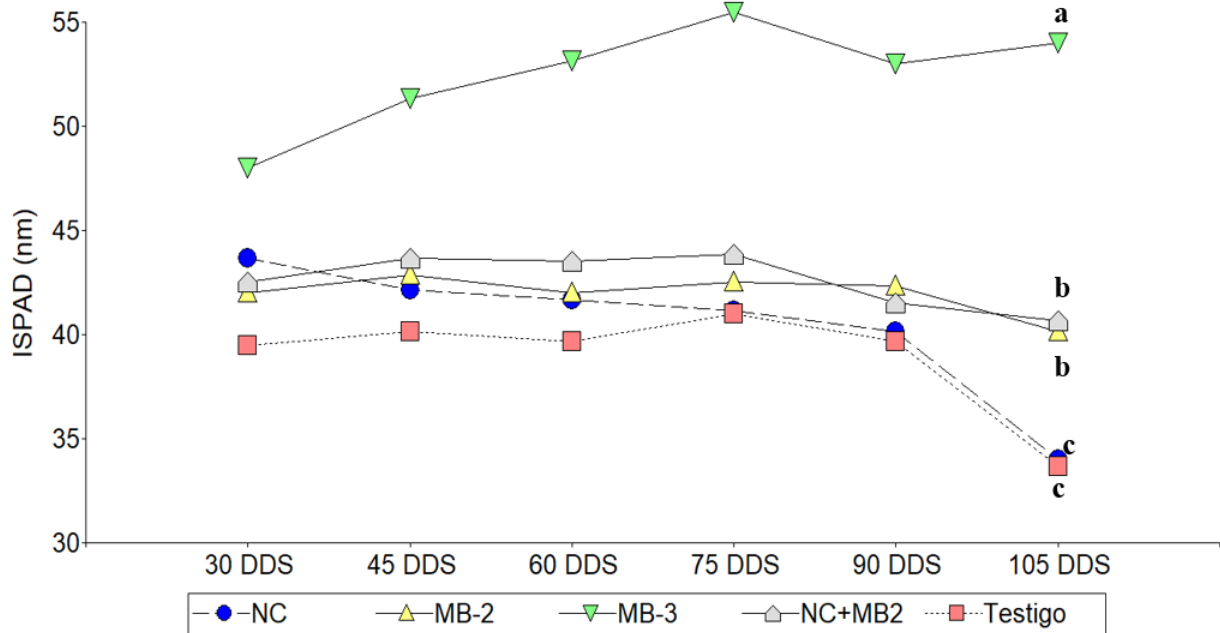


Figura 8. Índice SPAD (Soil Plant Analysis Development) en la hoja de maíz a los 30, 60, 90 y 105 DDS con diferentes tratamientos. cada punto es el promedio de tres repeticiones. DDS: días después de la siembra si existe diferencia significativa entre los tratamientos. Letras acorde al Test de Tukey (95%).

6.1.7. Peso fresco y seco del follaje

La biomasa fresca y seca demostró ser afectada positivamente por el tratamiento (NC+MB-2) el cual si se encontró diferencias estadísticas del resto de tratamientos. El mismo que registró 36,8 g de peso fresco del follaje y 7,58 g de peso seco del follaje en comparación con el tratamiento Control, que tuvo los menores valores para estas variables evaluadas, tal como se presenta en la figura 9.

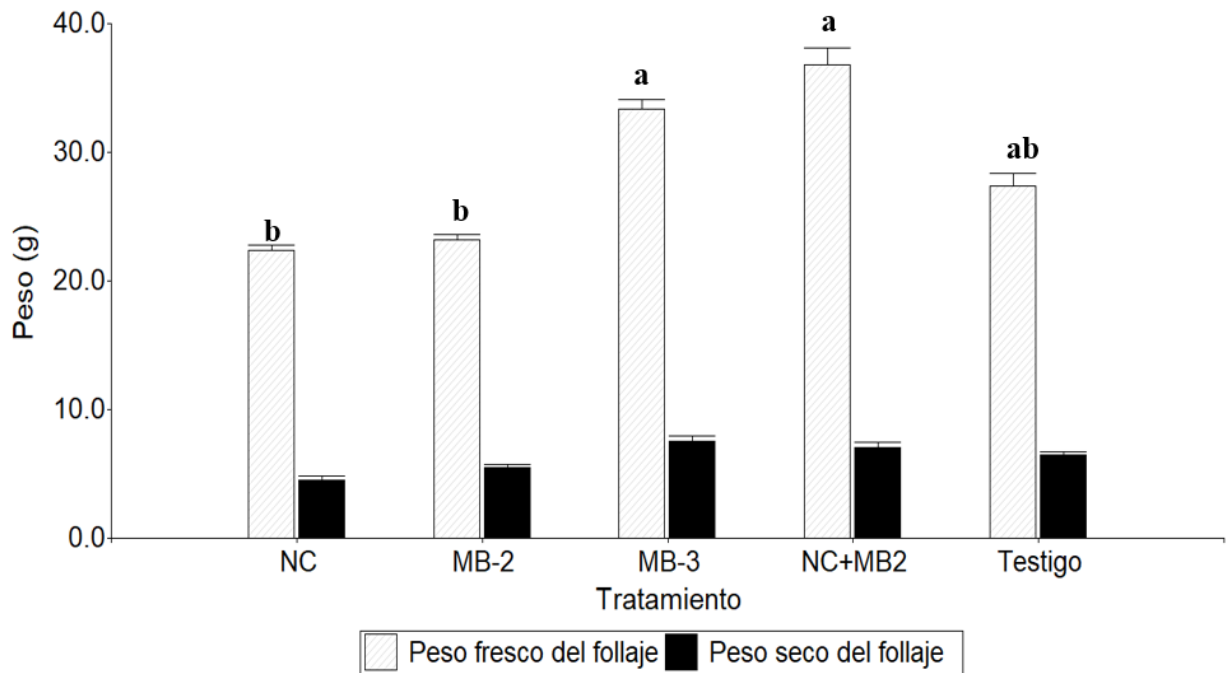


Figura 9. Peso fresco y peso seco del follaje en maíz a 90 DDS con diferentes tratamientos. Las barras sobre las columnas de los tratamientos representan el error estándar de la media, si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

6.2. Resultados del segundo objetivo

Determinar el efecto de *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno sobre el rendimiento del maíz INIAP – 180

6.2.1. Longitud de la mazorca

Los valores de longitud de mazorca para el maíz variedad INIAP 180 evaluados en diferentes unidades experimentales de maíz, en los diferentes tratamientos si se encontró diferencias estadísticas significativas, la mayor longitud de mazorca se registró en los tratamientos T3 MB3 con 13,76 cm esto en comparación con los otros tratamientos

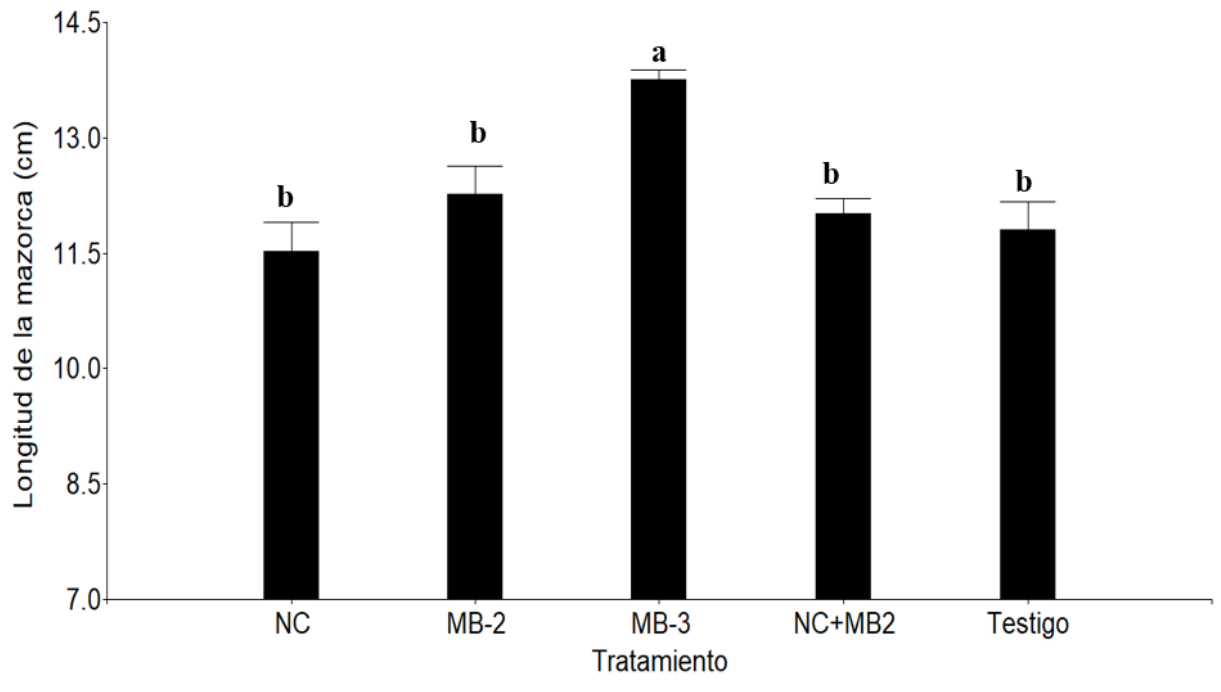


Figura 10. Longitud de la mazorca de maíz a los 120 DDS con diferentes tratamientos. Las barras sobre las columnas de los tratamientos representan el error estándar de la media. si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

6.2.2. Número de hileras por mazorcas

Al analizar el número de hileras por mazorca en el maíz en las diferentes fuentes de nitrógeno se observa que si hay diferencias estadísticas significativas el mayor valor es el de T4 (NC+MB2) 14,80, a diferencia de los otros tratamientos que registraron un menor número de hileras por mazorca de 14,00.

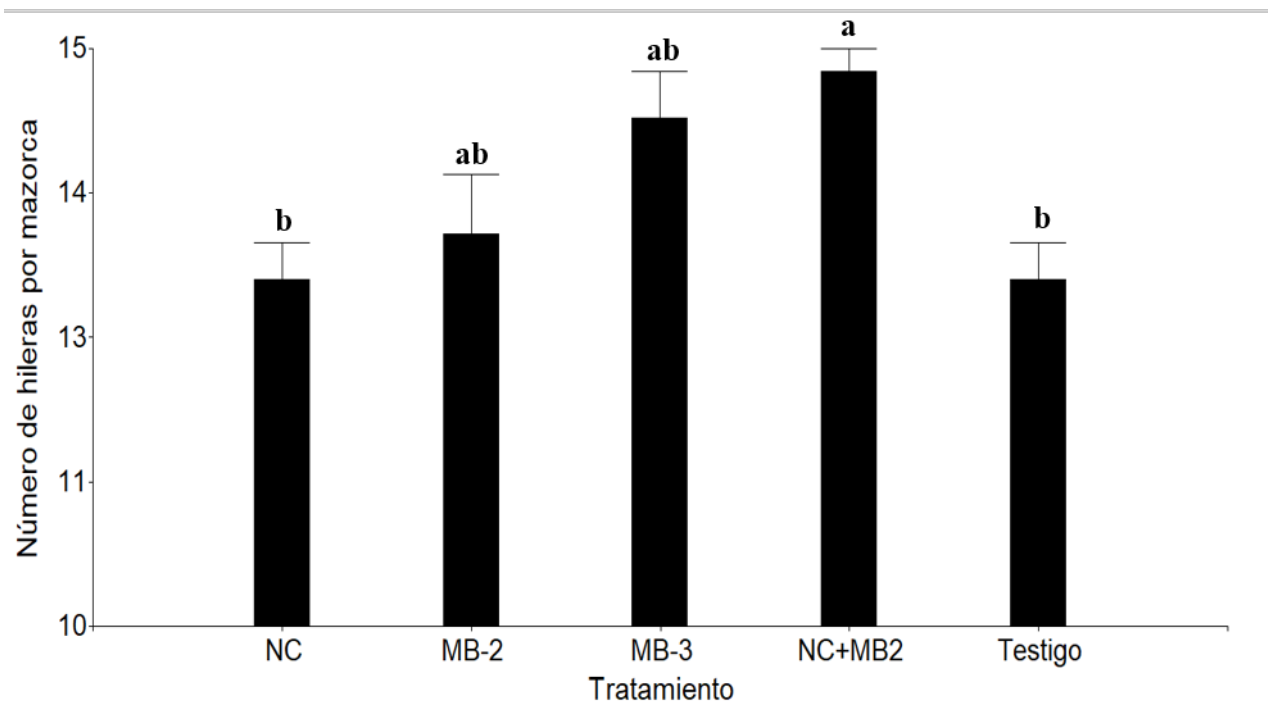


Figura 11. Número de hileras por mazorca de maíz a los 120 DDS con diferentes tratamientos. Las barras sobre las columnas de los tratamientos representan el error estándar de la media. si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

6.2.3. Número de granos por mazorca

Los valores de número de granos por mazorca de acuerdo a los resultados obtenidos el T3 (MB-3) presento un número mayor con 520 granos de granos por mazorca en comparación con los otros tratamientos que obtuvieron un menor número de 487,20 de granos por mazorca.

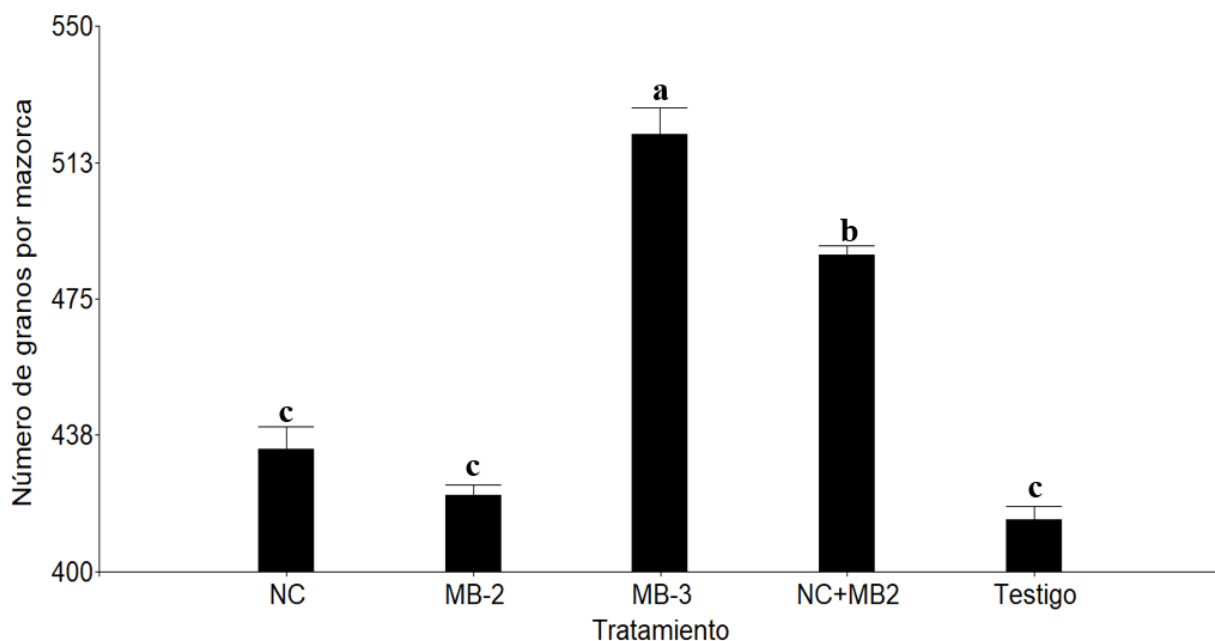


Figura 12. Número de granos por mazorca de maíz a los 120 DDS con diferentes tratamientos. Las barras sobre las columnas de los tratamientos representan el error estándar de la media. si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

6.2.4. Rendimiento kg/ha

Con respecto al rendimiento en el cultivo de maíz en kg/ha en la variedad INIAP 180 bajo los distintos tipos de fuentes de nitrógeno, El T3 MB-3 presento el mayor valor con 7 783,04 kg/ha en comparación con los tratamientos T1, T2, T4 y T5. (NC; MB-2; NC+MB-2 y Testigo) que registraron rendimientos menores a 6 452 kg/ha de rendimiento.

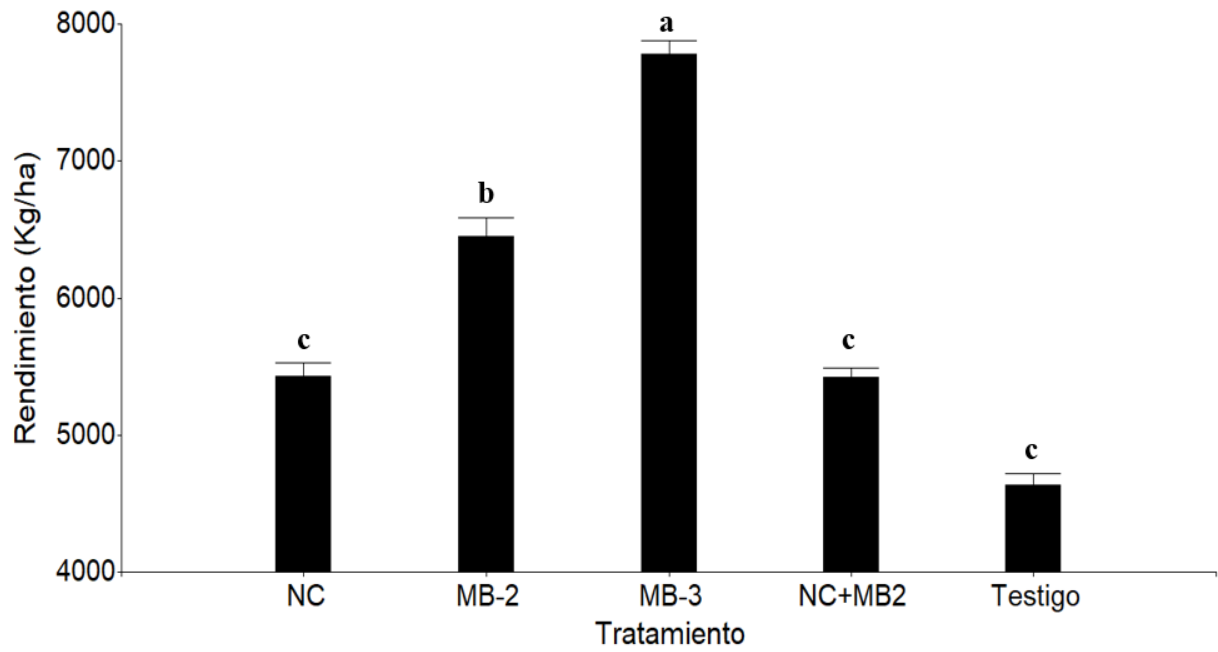


Figura 13. Rendimiento en kg/ha de maíz a los 120 DDS con diferentes tratamientos. Las barras sobre las columnas de los tratamientos representan el error estándar de la media. Si existe diferencia significativa entre los tratamientos

7. Discusión

En lo que concierne a la altura de la planta en la que se obtuvo un mayor valor fue el T2 MB-2 con 2 aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum*, los valores fueron semejantes de acuerdo con (Martínez et al., 2018), quien realizó una investigación en el cultivo de maíz en él se evaluó de tratamientos biofertilización y fertilización química en donde el valor más alto de altura de la planta fue para los tratamientos de biofertilización esto indica que las plantas para mantener un adecuado crecimiento necesita de una microbiota que faciliten la disponibilidad de nutrientes para las plantas sin que estas dependan de fertilizaciones químicas.

El sinergismo con la inoculación de *Methylobacterium symbioticum* provocó el incremento en el crecimiento de las plantas de maíz (altura de planta, hojas por planta, diámetro del tallo, peso fresco y seco de follaje). Esto puede ser explicado por varios estudios que revelaron que la eficiencia de la solubilización de nitrógeno por parte de bacterias es estimulada según la fuente de nitrógeno utilizada, especialmente N amoniacal (Carcaño et al., 2006) además poseer otras funciones benéficas para promover el crecimiento vegetal (Xu et al., 2022). Por lo cual, la cepa utilizada en esta investigación puede favorecer a las plantas, las cuales pueden ser beneficiadas vigorosamente usando la compatibilidad entre microorganismos que refuercen la eficiencia nutricional en los agro ecosistemas (Lévai et al., 2008; Paredes, 2013).

En las variables morfofisiológicas el índice de área foliar y cobertura de área foliar fueron mayor para el tratamiento T3 MB-3 con tres aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum*, esto concuerda con (Rincón et al., 2007) y (García et al., 2020) asegurando que la cobertura del área foliar de una planta manifiesta capacidad de ajustarse a condiciones de mayor radiación. Una mayor superficie foliar ayuda a las plantas a capturar un mayor número de fotones

El mayor contenido de clorofila presentaron las plantas del tratamiento T3 MB-3 con tres

aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum*, lo cual se asemeja a los resultados obtenidos por (Sainz & Cheverría, 1998), en donde fueron tomadas lecturas de clorofila en diferentes estadios fenológicos en el cultivo de maíz y se encontró similitud de contenidos de clorofila con este estudio en las diferentes fases vegetativas cabe recalcar que el contenido de clorofila llega a los valores de 53 % donde la concentraciones de clorofila, en comparación con los de fertilización química, debido a que son controladas por la intensidad lumínica, siendo sintetizada y destruida constantemente por una fotoxidación inducida por la luz, por tal motivo altas irradiancias generan mayor degradación y en consecuencia las plantas de sombra presentan mayor contenido de clorofila.

En el caso de los parámetros fisiológicos del peso de biomasa foliar se encontró que el tratamiento combinado de nitrógeno corregido y 2 aplicaciones de *Methylobacterium symbioticum* fue superior con 36,8 g de biomasa fresca finalmente se asemeja al de (Marlene & Granda, 2015) el cual fue estadísticamente diferente del resto de tratamientos con 35,4 g y finalmente el peso seco que en nuestro estudio dio 7,58 g de peso seco de follaje cerca a los 6,4 g de los tratamientos de inoculación de los tratamientos. En relación con la estimación de la biomasa verde para el caso de inoculación de si existe diferencia estadística entre los tratamientos.

En lo que tiene que ver con las variables productivas como lo es la longitud de la mazorca en la variedad de maíz INAP 180 el tratamiento T3 *Methylobacterium* en 3 momentos (V3, V6, V9) con una longitud promedio de 13,76 cm con un $p=0,01 < p = 0,05$); presentando diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y con el tratamiento testigo.

En lo que concierne al número de hileras por mazorca se obtuvo mayores valores con el tratamiento T4 N corregido + *Methylobacterium* en 2 momentos (V3, V6) con 16,80 hileras por mazorca presentado diferencias estadísticas significativas con $p= 0,0001 < p = 0,05$) con respecto a los otros tratamientos, que presentaron un número menor de hileras por mazorca con valores

inferiores a los 14,40 hileras el estudio presento datos similares a los de (Robledo et al., 2017) quien encontró que en las mazorcas con biofertilización llegaban a tener hasta 16 hileras por mazorca y los otros tratamientos con 14,7 dado un número inferior para los tratamiento que no contaban con biofertilizante.

Finalmente, se encontraron diferencias significativas tanto para el numero de semillas como para el rendimiento obteniendo valores de T1 Nitrógeno corregido, T2 *Methylobacterium* en 2 momentos (V3, V6), T3 *Methylobacterium* en 3 momentos (V3, V6, V9), T4 N corregido + *Methylobacterium* en 2 momentos (V3, V6) y T5 Testigo. T1 5 432,6 kg/ha, T2 6 452,2 kg/ha, T3 7 783,03 kg/ha, T4 5 419,2 kg/ha, T5 4 636,40 kg/ha datos similares a un estudio realizado por (Pérez & Álvarez, 2021) que obtuvo un promedio de 8310 kg/ha en su tratamiento con biofertilización con *Glomus intraradices* y 8279 kg/ha en su tratamiento sin biofertilizante en lo respecto a número de granos por mazorca este estudio tubo un promedio de 469 y 472 granos por mazorca, datos muy similares a los que se presentaron en esta investigación con 520 granos por mazorca que lo presento el tratamiento T3 *Methylobacterium* en 3 momentos (V3, V6, V9) en comparación con los otros tratamientos se encontró diferencias significativas con los otros tratamientos que alcanzaron un número menor a 487,20 de granos por mazorca.

Los resultados del trabajo para los tratamientos con y sin biofertilizante también contrastan con los de (Martínez et al., 2022), quien reportó rendimientos de maíz de 12 369 kg/ha en parcelas biofertilizadas con algas *Ascophyllum nodosum* y de 9 336 kg/ha en el tratamiento testigo, lo que significó una diferencia del 8 %. siendo significativamente diferente entre los tratamientos.

8. Conclusiones

- Las variables de crecimiento altura por planta, hojas por planta, diámetro del tallo, peso fresco y seco de follaje los tratamientos mostraron diferencias estadísticas significativas; los que mayores valores arrojaron fueron el T2 (MB-2 *Methylobacterium* en 2 momentos V3, V6), con alturas de la planta de 191,88 cm de altura. El mayor diámetro de tallo lo presentó el T3 (MB-3 *Methylobacterium* en 3 momentos V3, V6, V9) con 3,51 cm de diámetro de tallo.
- Se mostraron diferencias estadísticas significativas para las variables morfofisiológicas de la cobertura de área foliar, el índice de área foliar demostró tener buena adaptación a las condiciones climáticas en la provincia de Loja.
- El rendimiento fue afectado por la aplicación de *Methylobacterium symbioticum* con esto llegamos a la conclusión de que la aplicación de biofertilizantes para esta variedad de maíz tuvo un impacto favorable para su producción.

9. Recomendaciones

- Manejar adecuadamente el uso de biofertilizante con medidas que no afecten el exceso de aplicaciones y cause reacciones negativas en los resultados.
- Continuar con los estudios de rendimiento para tener datos más precisos sobre la aplicación de tratamientos, tomando mayor número de muestras para determinar la influencia de biofertilizante sobre los análisis bromatológicos, así como parámetros productivos.
- Ampliar las evaluaciones de rendimiento por al menos dos temporadas productivas más para tener datos más concretos sobre la biofertilización con microorganismos que habitan en la filosfera de la planta.

10. Bibliografía

- Abadi, V. A. J. M., Sepehri, M., Rahmani, H. A., Dolatabad, H. K., Shamshiripour, M., & Khatabi, B. (2021). Diversity and abundance of culturable nitrogen-fixing bacteria in the phyllosphere of maize. *Journal of Applied Microbiology*, *131*(2), 898-912. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jam.14975>
- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales*, *30*, 00-00.
- Aguilar, C., Escalante, J., & Aguilar, I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, *33*(1), 51-62.
- Alvarado, E., Garay, J., Estrada, B., Martínez, J., Rojas, A., & Joaquín, S. (2020). Variación morfológica en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de población. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *11*(SPE24), 165-176. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2367>
- Anderson, E., & Cutler, H. C. (1942). Races of *Zea Mays*: I. Their Recognition and Classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, *29*(2), 69-88. <https://doi.org/10.2307/2394331>
- Arrobas, M., Correia, C., & Rodrigues, M. (2024). *Methylobacterium symbioticum* Applied as a Foliar Inoculant Was Little Effective in Enhancing Nitrogen Fixation and Lettuce Dry Matter Yield. *Sustainability*, *16*(11), 4512. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/11/4512>
- Avis, T. J., Gravel, V., Antoun, H., & Tweddell, R. J. (2008). Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, *40*(7), 1733-1740. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.02.013>
- Ayala, A. L. (2013). Evaluacion agronomica de dos hibridos de maiz (*Zea mays* L.) con la aplicacion de cuatro dosis de extracto de algas marinas en el canton La Mana.
- Baghdadi, A., Halim, R. A., Ghasemzadeh, A., Ramlan, M. F., & Sakimin, S. Z. (2018). Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. *PeerJ*, *6*, e5280. <https://doi.org/10.7717/peerj.5280>
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *28*(4), 1327-1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Campesinos, F. H. J. (2002). Manual Agropecuario tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente.
- Carcaño, M., Cerrato, R., Pérez, J., Molina, J., & Bashan, Y. (2006). Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas, sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Klebsiella*

- aisladas de maíz y teocintle. *Terra Latinoamericana*, 24(4).
- 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, 25.
- Caviedes, M. (2003). *INIAP-101: Variedad de maíz blanco precoz*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Maíz, 2003. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2547>
- Cervantes, T. S., Goodman, M. M., Casas, E. D., & Rawlings, J. O. (1978). Use of genetic effects and genotype by environmental interactions for the classification of mexican races of maize *Genetics*, 90(2), 339-348. <https://doi.org/10.1093/genetics/90.2.339>
- Deras, H. (2012). *Guía técnica: el cultivo de maíz*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
- Elizondo, J. (2011). Influencia de la variedad y altura de cosecha sobre el rendimiento y valor nutritivo de maíz para ensilaje. *Agronomía Costarricense*, 35(2), 105-111.
- Escobedo, A., & Proaño, J. (2017). Cobertura vegetal y producción del pasto *Panicum maximum* cv. Tanzania-1 mediante imágenes obtenidas con sensores remotos y mediciones in situ.
- Fernández, F. (2020). *La nueva forma de aportar nitrógeno a los cultivos*. .
- Franche, C., Lindström, K., & Elmerich, C. (2009). Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant and Soil*, 321(1), 35-59. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9833-8>
- Gao, H., Gadlage, M. J., Lafitte, H. R., Lenderts, B., Yang, M., Schroder, M., . . . Meeley, R. (2020). Superior field performance of waxy corn engineered using CRISPR–Cas9. *Nature Biotechnology*, 38(5), 579-581. <https://doi.org/10.1038/s41587-020-0444-0>
- García, H., Flores, H., Khalil, A., Ascencio, R., Tijerina, L., Vásquez, M., & Mancilla, O. (2020). Estimación de la fracción de cobertura de la vegetación en maíz (*Zea mays*) mediante imágenes digitales tomadas por un vehículo aéreo no tripulado (UAV). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4), 399-399.
- Glick, B. R., Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z., Duan, J., & McConkey, B. (2007). Promotion of Plant Growth by Bacterial ACC Deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26(5-6), 227-242. <https://doi.org/10.1080/07352680701572966>
- Gray, M. E., Sappington, T. W., Miller, N. J., Moeser, J., & Bohn, M. O. (2009). Adaptation and Invasiveness of Western Corn Rootworm: Intensifying Research on a Worsening Pest. *Annual Review of Entomology*, 54(1), 303-321. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090434>
- Hernández, J. A. S. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. <http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2009/3/el-origen-yla-diversidad->

del.pdf

- INEC. (2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. .
- Jiménez, J., Malvar, R., Butrón, A., Santiago, R., Samayoa, L., Caicedo, M., & Ordás, B. (2019). Mapping of resistance to corn borers in a MAGIC population of maize. *BMC Plant Biology*, 19(1), 431. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2052-z>
- Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Boom, T. V. d., langelüddeke, P., Stauss, R., Weber, E., & witzemberger, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*, 119(3), 561-601. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>
- Lévai, L., Veres, S., Bákonyi, N., & Gajdos, É. (2008). Can Wood Ash and Bio-fertilizer Play a Role in Organic Agriculture? *Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva*, 70(3), 263-272.
- Li, Y., Shang, J., Zhang, C., Zhang, W., Niu, L., Wang, L., & Zhang, H. (2021). The role of freshwater eutrophication in greenhouse gas emissions: A review. *Science of The Total Environment*, 768, 144582. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144582>
- Maeng, S., Kim, D.-U., Lim, S., Lee, B.-H., Lee, K.-e., Kim, M., . . . Bai, J. (2021). *Methylobacterium radiodurans* sp. nov., a novel radiation-resistant *Methylobacterium*. *Archives of Microbiology*, 203(6), 3435-3442. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02293-8>
- Marlene, A., & Granda, K. (2015). “*Determinación de la coinoculación con hongos micorrízicos y bacterias diazotróficas en maíz bajo invernadero*” Universidad Nacional de Loja].
- Martínez, A., Zamudio, B., Robledo, M., Espinosa, A., Cardoso, J., & Vázquez, M. G. (2022). Rendimiento de híbridos de maíz en respuesta a la fertilización foliar con bioestimulantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2782>
- Martínez, J., Galantini, J. A., & Landriscini, M. R. (2015). Diagnóstico de fertilidad nitrogenada en el sudoeste bonaerense mediante el uso de un clorofilómetro en trigo. *Ciencia del suelo*, 33(1), 0-0.
- Martínez, L., Aguilar, C., Carcaño, M., Galdámez, J., Morales, J., Martínez, F., . . . Gómez, E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 026-037. <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>
- Maúre, E. d. R., Terauchi, G., Ishizaka, J., Clinton, N., & DeWitt, M. (2021). Globally consistent assessment of coastal eutrophication. *Nature Communications*, 12(1), 6142. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26391-9>
- Ochsner, A. M., Sonntag, F., Buchhaupt, M., Schrader, J., & Vorholt, J. A. (2015). *Methylobacterium extorquens*: methylotrophy and biotechnological applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(2), 517-534. <https://doi.org/10.1007/s00253-014->

- Palberg, D., Kisiała, A., Jorge, G. L., & Emery, N. (2022). A survey of *Methylobacterium* species and strains reveals widespread production and varying profiles of cytokinin phytohormones. *BMC Microbiology*, 22(1), 49. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02454-9>
- Paredes, M. C. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas.
- Pérez, Y., & Álvarez, J. (2021). Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz en parcelas con y sin cobertura vegetal. *Idesia (Arica)*, 39, 29-38. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292021000400029&nrm=iso
- Rincón, Á., Ligarreto, G., & Sanjuanelo, D. (2007). Growth of corn and grasses (*Brachiaria* sp.) established in monoculture and associated with acid soils of the Piedemont Plains of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 264-272.
- Robledo, M., Zavala, J., Lugo, H., Ortiz, R., Montiel, N., Macías, M., . . . Yáñez, B. (2017). Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los valles altos de México. *Revista Terra Latinoamericana*, 35(1), 65-72.
- Romero, T., Tamayo, L., Morales, M., Aparicio, J., Pérez, V. H., Peralta, M., & Cuervo, J. (2022). Growth and Yield of Purple Kculli Corn Plants under Different Fertilization Schemes. *Journal of Fungi*, 8(5).
- Rosales, S., Sández, C., Bañuelos, B., & Angulo, C. (2017). Corn-based vaccines: current status and prospects. *Planta*, 245(5), 875-888. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2680-1>
- Sainz, R., & Cheverría, E. (1998). Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Rev. Fac. Agron., La Plata*. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15628/Documento_completo__.pdf?sequence=1
- SIPA. (2021). Cifras Agroproductivas. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Tadeo Robledo, M., García Zavala, J. J., Alcántar Lugo, H. J., Lobato Ortiz, R., Gómez Montiel, N. O., Sierra Macías, M., . . . Martínez Yáñez, B. (2017). Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México. *Terra Latinoamericana*, 35(1), 65-72.
- Torres, R., Bernabé, A., Carmona, F., Martínez, J., & Fernández, F. (2024). 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>
- Valente, F., Panozzo, A., Bozzolin, F., Barion, G., Bolla, P. K., Bertin, V., . . . Vamerali, T. (2024).

- Growth, Photosynthesis and Yield Responses of Common Wheat to Foliar Application of *Methylobacterium symbioticum* under Decreasing Chemical Nitrogen Fertilization. *Agriculture*, 14(10), 1670. <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/10/1670>
- Xu, N., Zhao, Q., Zhang, Z., Zhang, Q., Wang, Y., Qin, G., . . . Qian, H. (2022). Phyllosphere Microorganisms: Sources, Drivers, and Their Interactions with Plant Hosts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(16), 4860-4870. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01113>
- Yan, Y., Yang, J., Dou, Y., Chen, M., Ping, S., Peng, J., . . . Jin, Q. (2008). Nitrogen fixation island and rhizosphere competence traits in the genome of root-associated *Pseudomonas stutzeri* A1501. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(21), 7564-7569. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801093105>
- Yang, G.-P., Debellé, F., Savagnac, A., Ferro, M., Schiltz, O., Maillet, F., . . . Promé, J.-C. (1999). Structure of the *Mesorhizobium huakuii* and *Rhizobium galegae* Nod factors: a cluster of phylogenetically related legumes are nodulated by rhizobia producing Nod factors with α,β -unsaturated N-acyl substitutions. *Molecular Microbiology*, 34(2), 227-237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.1999.01582.x>
- Yzarra, W. J., & López, F. M. (2017). Manual de observaciones fenológicas.

11. Anexos

Evidencias de campo

Anexo 1. Evidencias fotográficas realizadas en campo



Preparación del suelo para la siembra



Levantamiento de camas para cultivo



Crecimiento del cultivo



Medición de concentración de clorofila



Medición de variable altura de la planta de maíz



Aplicación de biofertilizante



Limpeza y mantenimiento del cultivo

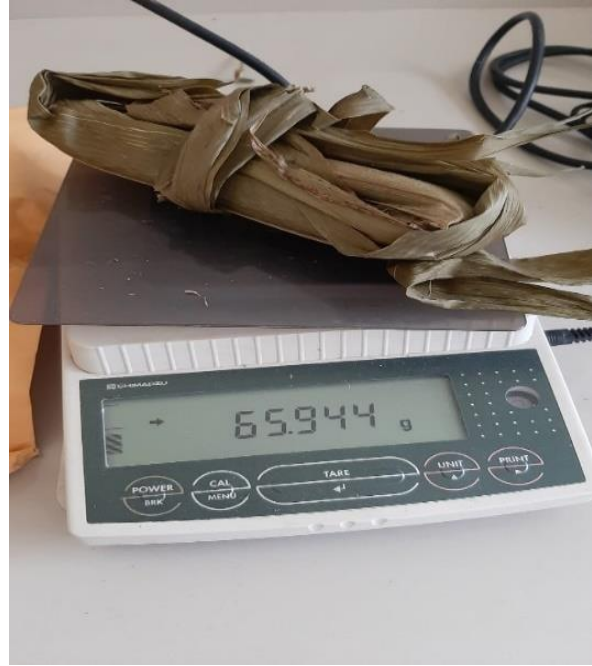


Cosecha de maíz var. INIAP 180

Anexo 2. Evidencias fotográficas realizadas en laboratorio




Preparación de pesajes para peso fresco y seco de follaje




Secado de las muestras del follaje Peso y toma de datos de muestras de follaje del cultivo de maíz

Anexo 3. Análisis de suelo realizado en la Estación Experimental Santa Catalina.

MC-LASPA-2201-01



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
 Tlfs. (02) 3007284 / (02)2504240



INFORME DE ENSAYO No: 22-0210

NOMBRE DEL CLIENTE:	Cordero Gaona Elisa Mishel	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	16/03/2022
PETICIONARIO:	Cordero Gaona Elisa Mishel	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	14:00
EMPRESA/INSTITUCIÓN:	Cordero Gaona Elisa Mishel	FECHA DE ANÁLISIS:	21/03/2022
DIRECCIÓN:	La Argelia	FECHA DE EMISIÓN:	25/03/2022
		ANÁLISIS SOLICITADO:	CIC

Nº muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo	
22-0557	0,06	2,59	0,43	0,23	3,31	34,22	9,67	Wagner Oviedo, Angel Uchuari, Elisa Cordero, Lote 1, Muestra

RESPONSABLES DEL INFORME

 Escanea el código QR para:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY

LABORATORISTA

 Escanea el código QR para:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

MC-LASPA-2201-01



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1, S/N Cutuglagua.
 Tels. (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio.dsa@inap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 22-0210

NOMBRE DEL CLIENTE: Cordero Gaona Elisa Mishel
 PETICIONARIO: Cordero Gaona Elisa Mishel
 EMPRESAINSTITUCIÓN: Cordero Gaona Elisa Mishel
 DIRECCIÓN: La Argelia

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 16/03/2022
 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14:00
 FECHA DE ANÁLISIS: 21/03/2022
 FECHA DE EMISIÓN: 25/03/2022
 ANÁLISIS SOLICITADO: S4 + CIC

16/03/2022
 14:00
 21/03/2022
 25/03/2022
 S4 + CIC

Análisis	Ph	N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg		Ca+Mg/K		Σ Bases		MO		CO ²		Textura (%)			IDENTIFICACIÓN			
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Arena	Limo		Arcilla	Clase Textural	
22-0557	5,81	Me	Ac	55	M	22	A	7,8	B	0,31	B	0,05	B	2,41	M	0,42	M	0,9	B	5,4	A	323	A	16,3	A	5,72	7,90	53,12	2,88	0,3	B					41	41	18	Franco	Wagner Oviado, Angel Uchuari, Elisa Cordero, Lote 1, Muestra 1

Análisis	Al ³⁺	Al ⁺	Na ⁺	C.E. *	N. Total*	N-NO3	K H2O*	P H2O*	C*	pH KCl*	IDENTIFICACION

OBSERVACIONES:

METODOLOGIA USADA	
pH =	Suelto: Agua (1:2,5) P K Ca Mg = Olan Modificado
Σ B =	Fofato de Calcio Cu Fe Mn Zn = Olan Modificado
	B =

* Ensayos no solicitados por el cliente

pH		Elemento	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo	
LAc = Lig. Acido	LA = Lig. Alcalino	M = Medio	
PH = Phos. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto	
RC = Requiere Cal	T = Tono (Bero)		

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Clorometo de Potasio
M.O. =	Titulación Nessler

N/HLA y Na		C.E.		M.O y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	S = Salino	S = Bajo	
M = Medio	LS = Lig Salino	MS = Muy Salino	M = Medio	A = Alto	
T = Tono					

JOSE ALONSO
 LUCERO
 MALATAY
 LABORATORISTA

IVAN RODRIGO
 SAMANIEGO
 MALATAY
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 26 Via Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7099 Yaguachi - Guayas - Ecuador
 Teléfono: 042724260 - 042724119 e-mail: labusuelos.eeo@inap.gob.ec

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL SAE
N°OAE LE C 11-007

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA	
Nombre :	LILIANA ELIZABETH ORDONEZ MEDINA	Nombre :	ESTACION EXPERIMENTAL ARG	Informe No. :	00065
Dirección :	SECTOR MORASPAMBA	Provincia :	LOJA	Responsable Muestreo :	Cliente
Ciudad :	LOJA	Cantón :	LOJA	Fecha Muestreo :	17/03/2023
Teléfono :	NE	Parroquia :	LOJA	Fecha Ingreso :	20/03/2023
Fax :	NE	Ubicación :	SECTOR MORASPAMBA	Condiciones Ambientales :	T°C: 24.8 %H: 57.1
				Factura No. :	9612
				Fecha Análisis :	27/03/2023
				Fecha Emisión :	27/03/2023
				Fecha Impresión :	29/03/2023
				Cultivo Actual :	VACIO

N° Laborat.	Identificación del Lote	pH	ug/ml																								
			* NH 4	* P	K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	Cu	* Fe	* Mn	* B	* Cl													
77641	LOTE 1 SECTOR MORASPAM	6,4	LAc	12	B	29	A	74	B	1819	A	169	A	11	B	3,1	M	5,8	A	206	A	14,0	M	0,75	B		

Interpretación		pH	
NH ₄ , P, K, Ca, Mg, S	BIAC = May Acido	N	= Neutro
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	AC = Acido	L	= Lig. Alcalino
	Med = Med. Acido	M	= Med. Alcalino
	LAC = Lig. Acido	AL	= Alcalino
	A = Alto	PH	= Phos. Neutro
		RC	= Requiere Cal

Determinación	Metodología	Extracción
NH 4, P	Colorimétrica	Olan
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica	pH 8,5
B	Turbidimetría	Fofato de Ca
	Colorimétrica	Monobásico
Cl	Volumétrica	Pasta Saturada
pH	Potenciométrica	Suelto agua (1:2,5)

Niveles de Referencia Óptimos	
Medida (ug/ml)	
NH 4	30 - 80
P	10 - 20
K	78 - 198
Ca	200 - 800
Mg	40.0 - 80
Zn	3.0 - 7.0
Fe	20 - 40
Mn	9 - 18
B	1.0 - 2.0
Cl	0 - 0

NE = No entregado

«LC = Menor al Límite de Cuantificación»
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al SAE.
 Las opiniones, interpretaciones, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 ** Ensayo subcontratado
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad
 Los datos marcados con cursiva y subrayados son proporcionados por el cliente

[Firma]
 Responsable Técnico del Laboratorio

[Firma]
 Mg. Diana Acosta J.



ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
 "DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"
 LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador
 Teléfono: 042724280 - 042724119 e-mail: labsuelos.eels@iniap.gob.ec

LABORATORIO DE ENSAYO
 ACREDITADO POR EL SAE
 N° OAE LE C 11-007

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA	
Nombre :	LILIANA ELIZABETH ORDÓÑEZ MEDINA	Nombre :	ESTACIÓN EXPERIMENTAL ARG	Informe No. :	00065
Dirección :	SECTOR MORASPAMBA	Provincia :	LOJA	Responsable Muestreo :	Cliente
Ciudad :	LOJA	Cantón :	LOJA	Fecha Muestreo :	17/03/2023
Teléfono :	NE	Parroquia :	LOJA	Fecha Ingreso :	20/03/2023
Fax :	NE	Ubicación :	SECTOR MORASPAMBA	Condiciones Ambientales :	T°C:24.8 %H:57.1
				Factura No. :	9612
				Fecha Análisis :	27/03/2023
				Fecha Emisión :	27/03/2023
				Fecha Impresión :	29/03/2023
				Cultivo Actual :	VACÍO

N° Laborat.	Identificación	* Textura (%)			* Clase Textural	meq/100ml			mS/cm	(*)	meq/100ml			Ca	Mg	Ca+Mg							
		Arenal	Limo	Arcilla		* AI+H	* AI	* Na			* M.O.	K	* Ca				* Mg	Σ Bases	Mg	K	K		
77641	LOTE 1, SECTOR MORASPAMBA	32	48	20	Franco				1.92	M	0.19	B	9.10	A	1.39	A	10.68	6.54	B	7.33	B	55.26	B

Alta Al. Na	Mediocre	C.E.
NI = Adecuado	NS = No Salino	C.E. Conductividad Eléctrica
LI = Ligero Tóxico	LS = Lig. Salino	M.O. Materia Orgánica
T = Tóxico	S = Salino	D.C. Capacidad de Intercambio Catiónico
	MS = Muy Salino	

M.O.	Walkley Black	Distornado de K
OC	No	Asfalto de Anicón
C.E.	Extracto de pasta saturada	Closure de Bato
		Agua

Lig. Tóxico meq/100ml	Lig. Salino (SDS)	Medio	
		Meq/K	Meq/100ml
AI+H 0.50 - 1.0	C.E. 2.0 - 3.0	Ca/Mg	0.0 - 0.0
AI 0.50 - 1.0	Meq/K	Mg/K	0.0 - 0.0
Na 1.0 - 2.0	M.O. 1.0 - 2.0	Ca+Mg/K	12.0 - 30.0
		Ng	0 - 1

NE = No entregado

*LC = Menor al Límite de Cuantificación
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al SAE.
 Las opiniones, interpretaciones, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 ** Ensayo subcontratado.
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad.
 Los datos marcados con cursiva y subrayados son proporcionados por el cliente.

[Firma]
 Responsable Técnico del Laboratorio
 Sra. Diana Acosta J.



ESTACIÓN EXPERIMENTAL LITORAL SUR
 LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 26 vía Durán Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador
 Teléfono: 042724119 e-mail: labsuelos.eels@iniap.gob.ec

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
 POR EL SAE
 N° OAE LE C 11 - 007

ANEXO INFORME DE ANALISIS DE SUELOS 00065

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA	
Nombre :	LILIANA ELIZABETH ORDÓÑEZ MEDINA	Nombre :	ESTACIÓN EXPERIMENTAL ARGELIA	Informe No. :	00065
Dirección :	SECTOR MORASPAMBA	Provincia :	LOJA	Responsable Muestreo :	Cliente
Ciudad :	LOJA	Cantón :	LOJA	Fecha Muestreo :	17/03/2023
Teléfono :	NE	Parroquia :	LOJA	Fecha Ingreso :	20/03/2023
Fax :	NE	Ubicación :	SECTOR MORASPAMBA	Condiciones Ambientales :	T°C:24.8 %H:57.1
				Factura No. :	9612
				Fecha Análisis :	27/03/2023
				Fecha Emisión :	27/03/2023
				Fecha Impresión :	29/03/2023
				Cultivo Actual :	VACÍO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS EN ANÁLISIS DE SUELOS				
Determinación	U (k=2)	Procedimiento de Ensayo	Método de Referencia	Técnica
pH	± 0,1	PEE-LS-07	Método EPA 150.2 (1982)	Electrométrica
Potasio	± 14% rango < 20 µg/ml	PEE-LS-08	EPA 258.1 (1974) Metodología Unificada, Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador, Catálogo Iniap 1. 2001	Absorción Atómica
	± 4% rango ≥ 20 µg/ml			
Cobre	± 6%	PEE-LS-08	Metodología Unificada, Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador, Catálogo Iniap 1. 2001	

NOTA: La incertidumbre de los resultados está a disposición del cliente cuando así lo requiera.

ABREVIATURAS		
pH= Potencial de Hidrógeno	S = Azufre	Cl = Cloro
N = Nitrógeno	Zn = Zinc	AI+H = Acidez Libre
P = Fósforo	Cu = Cobre	AI = Aluminio
K = Potasio	Fe = Hierro	Na = Sodio
Ca = Calcio	Mn = Manganeso	C.E= Conductividad Eléctrica
Mg = Magnesio	B = Boro	M.O= Materia Orgánica

Anexo 4. Calculo para fertilización en el cultivo de maíz

Requerimientos del Cultivo			
maiz			
Nutriente	Requerimiento	Analisis	Faltante
N	188	92,40	95,60
P	34	21,56	12,44
K	162	8,96	153,04
Ca		431,87	-431,87
Mg		45,72	-45,72
Mn		14,60	-14,60
Fe		289,41	-289,41
Cu		4,84	-4,84

N	95,60	*	100 kg	Urea	=	48,12	Urea
			46 kg	N			
P	12,44	*	100 kg	Roca fosforica	=	3,73	Roca Fosforica
			30 kg	P			
K	153,04	*	100 kg	Sulfato de Potasio	=	76,52	Sulfato de Potasio
			50 kg	K			

Dosis de Fertilizante				
Fertilizante	Kg/ha	Numero de Plantas	Por planta/kg	Por planta/G
Urea	48,12	1200	0,040098	4,010
Roca Fosforica	3,73	3000	0,001244	0,124
Sulfato de Potasio	76,52	3000	0,025507	2,551

CERTIFICADO DEL RESUMEN

Yo, **Maholy Katherine Morocho Merino**, portadora de la cedula de Identidad N°:1104677131. Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Idioma Inglés. Certifico la traducción al idioma inglés el resumen del Trabajo de Titulación denominada: "**Evaluación del crecimiento y rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) usando *Methylobacterium symbioticum* como fuente fijadora de nitrógeno en el sector la Argelia del cantón Loja**", perteneciente al señor **Holger Ismael Cruz Ormaza**, esta corresponde al texto original en español.

A la parte interesada muy atentamente,



Maholy Katherine Morocho Merino

Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Idioma Inglés
Registro N° 1008-2016-1695982 SENEYCYT.